

ACCORDO DI PROGRAMMA
MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO - ENEA
SULLA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2015

INDICE

PREMESSA	3
AREA GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA CON BASSE EMISSIONI DI CARBONIO	7
PROGETTO B.1.1 BIOENERGIA	7
PROGETTO B.1.2 RICERCA SU TECNOLOGIE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE	30
PROGETTO B.1.5 ENERGIA ELETTRICA DAL MARE	49
PROGETTO B.2 CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO ₂ PRODOTTA DALL'UTILIZZO DI COMBUSTIBILI FOSSILI	64
PROGETTO B.3.1 SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE E COLLABORAZIONE AI PROGRAMMI INTERNAZIONALI PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE.....	109
PROGETTO B.3.2 ATTIVITÀ DI FISICA DELLA FUSIONE COMPLEMENTARI A ITER	152
AREA TRASMISSIONE E DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA	165
PROGETTO C.5 SISTEMI DI ACCUMULO DI ENERGIA PER IL SISTEMA ELETTRICO	165
AREA EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI	184
PROGETTO D.1 TECNOLOGIE PER COSTRUIRE GLI EDIFICI DEL FUTURO.....	184
PROGETTO D.2 STUDI SULLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PARCO ESISTENTE DI EDIFICI PUBBLICI MIRATA A CONSEGUIRE IL RAGGIUNGIMENTO DI EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO (NZEB)	205
PROGETTO D.3 PROCESSI E MACCHINARI INDUSTRIALI.....	228
PROGETTO D.4 IMPIANTI DI CONVERSIONE DI ENERGIA DI PICCOLA TAGLIA	255
PROGETTO D.5 INNOVAZIONE TECNOLOGICA, FUNZIONALE E GESTIONALE NELLA ILLUMINAZIONE PUBBLICA ED IN AMBIENTI CONFINATI	274
PROGETTO D.7 SVILUPPO DI UN MODELLO INTEGRATO DI SMART DISTRICT URBANO	287
PROGETTO D.8 MOBILITÀ ELETTRICA SOSTENIBILE	304

PREMESSA

Le attività di ricerca hanno come riferimento principale il Piano Triennale 2015-2017 e il Piano Operativo Annuale (POA) per l'anno 2015 per la Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale del Ministero dello Sviluppo Economico, che prevede un finanziamento fino a 26,5 milioni di euro per le attività affidate a ENEA, così suddiviso:

- 6,5 milioni di euro per lo svolgimento delle attività relative al "Broader Approach" del progetto internazionale sulla fusione nucleare ITER;
- 3 milioni di euro per lo svolgimento con Sotacarbo SpA di attività presso il Polo tecnologico del Sulcis, di cui al Protocollo Sulcis, per attività inerenti le bioenergie, la cattura e sequestro della CO₂ e studi e sperimentazioni per gli edifici a energia quasi zero;
- 17 milioni di euro per lo svolgimento di attività inerenti la bioenergia, il solare fotovoltaico piano, il solare termodinamico a concentrazione ad alta temperatura, l'energia elettrica dal mare, la cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo di combustibili fossili, la fissione nucleare, i materiali e le tecnologie per l'accumulo di energia, gli edifici intelligenti, gli edifici a energia quasi zero (NZEB), i processi e i macchinari industriali, gli impianti di conversione di energia di piccola taglia, l'illuminazione, le smart cities e communities e la mobilità elettrica. Per tali attività è prevista la partecipazione da parte dei principali Istituti universitari nazionali, per una quota non inferiore al 20% del finanziamento.

Il presente **Piano Annuale di Realizzazione 2015**, articolato in 14 progetti, prevede attività per 25,5 milioni di euro. I Progetti sono inseriti in tre Aree prioritarie di intervento, con durata delle attività da ottobre 2015 a settembre 2016:

Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio

- Bioenergia
- Ricerca su tecnologie fotovoltaiche innovative
- Energia elettrica dal mare
- Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'uso di combustibili fossili
- Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione
- Attività di fisica della fusione complementari a ITER

Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

- Sistemi di accumulo di energia per il sistema elettrico

Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

- Tecnologie per costruire gli edifici del futuro
- Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (nZEB)
- Processi e macchinari industriali
- Impianti di conversione di energia di piccola taglia
- Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nella illuminazione pubblica ed in ambienti confinati
- Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano
- Mobilità elettrica sostenibile

I preventivi economici attività dei progetti sono riassunti nella tabella che segue, ripartiti per le voci di spesa definite nel documento “Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili” approvato con delibera dell’Autorità per l’Energia Elettrica, il Gas e il Sistema Idrico n. 19 del 24 gennaio 2013. Si sottolinea in particolare che l’importo previsto per la voce “strumentazioni e attrezzature” rappresenta la quota ammissibile in base ai criteri di ammortamento e non già l’intero costo necessario per gli acquisti.

**Accordo di Programma MiSE- ENEA
Costo del PAR 2015 per principali voci (k€)**

AREA	PROGETTO		Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)								
				Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	Sotacarbo	TOTALE
Generazione do energia elettrica con basse emissioni di carbonio	B.1.1	Bioenergia	15890	576	345	25	78	20	36	220	400	1700
		<i>Subtotale Parte A (ENEA)</i>	<i>14640</i>	<i>536</i>	<i>321</i>	<i>22</i>	<i>75</i>	<i>0</i>	<i>26</i>	<i>220</i>	<i>0</i>	<i>1200</i>
		<i>Subtotale Parte B (Polo Tecnologico del Sulcis)</i>	<i>1250</i>	<i>40</i>	<i>24</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>20</i>	<i>10</i>	<i>0</i>	<i>400</i>	<i>500</i>
	B.1.2	Ricerca su tecnologie totovoltaiche innovative	31900	1110	666	124	185	0	15	500	0	2600
	B.1.5	Energia elettrica dal mare	5450	209	124	54	4	4	5	100	0	500
	B.2	Cattura e sequestro della CO ₂ prodotta dall'uso di combustibili fossili	17479	615,2	369,1	65,5	123,5	100	26,7	200	1500	3000
		<i>Subtotale Parte A (ENEA)</i>	<i>12049</i>	<i>426,8</i>	<i>255,9</i>	<i>25,5</i>	<i>88,5</i>	<i>0</i>	<i>3,3</i>	<i>200</i>	<i>0</i>	<i>1000</i>
		<i>Subtotale Parte B (Polo Tecnologico del Sulcis)</i>	<i>5430</i>	<i>188,4</i>	<i>113,2</i>	<i>40,0</i>	<i>35,0</i>	<i>100</i>	<i>23,4</i>	<i>0</i>	<i>1500</i>	<i>2000</i>
	B.3.1	Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione	9900	336,5	201,5	230	197	190	45	300	0	1500
	B.3.2	Attività di fisica della fusione complementari a ITER	22280	825	494	4935	12	195	39	0	0	6500
<i>Subtotale Area B</i>			102899	3672	2200	5434	600	509	167	1320	1900	15800
Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica	C.5	Sistemi di accumulo di energia per il sistema elettrico	9765	360	216	40	18	0	6	160	0	800
<i>Subtotale Area C</i>			9765	360	216	40	18	0	6	160	0	800

**Accordo di Programma MiSE- ENEA
Costo del PAR 2015 per principali voci (k€)**

AREA	PROGETTO		Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)									
				Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	Sotacarbo	TOTALE	
Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazioni con altri vettori energetici	D.1	Tecnologie per costruire gli edifici del futuro	32500	1044	623	59	45	35	34	460	0	2300	
	D.2	Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (nZEB)		8319	296,6	178,9	3,5	7	80	14	120	300	1000
			<i>Subtotale Parte A (ENEA)</i>	4894	174,6	104,9	3,5	5	80	12	120	0	500
			<i>Subtotale Parte B (Polo Tecnologico del Sulcis)</i>	3425	122,0	74,0	0,0	2	0	2	0	300	500
	D.3	Processi e macchinari industriali	32750	1179	706	28,5	62,5	0	24	500	0	2500	
	D.4	Utilizzo impianti di conversione di energia di piccola taglia	6881	263,5	158,1	39,3	16,2	0,0	3,0	120	0	600	
	D.5	Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nella illuminazione pubblica ed in ambienti confinati	12500	457	274	18	34	10	7	200	0	1000	
	D.7	Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano	10035	351,3	210,8	0,9	29	37	11	160	0	800	
	D.8	Mobilità elettrica sostenibile	8200	324	193	0	38	0	5	140	0	700	
	<i>Subtotale Area D</i>		111185	3915,4	2343,8	149,2	231,7	162,0	98,0	1700	300	8900	
	TOTALE		223849	7947,1	4759,4	5622,7	849,2	671,0	270,7	3180	2200	25500	

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Con il termine “bioenergia” si intende, come è noto, la produzione - diretta o sotto forma di combustibili solidi, liquidi e gassosi - di energia rinnovabile (elettrica, termica e/o meccanica) dalle biomasse.

Per quel che riguarda più in particolare la produzione di elettricità, oggetto delle attività svolte nell’ambito della Ricerca di Sistema Elettrico, sono state prese in considerazione come possibili materie prime biomasse di diversa tipologia, disponibili a livello locale e non utilizzabili a fini alimentari, come la biomassa legnosa proveniente da coltivazioni arboree a cicli brevi (SRF), da interventi di manutenzione forestale e dall’industria di lavorazione del legno, i residui e reflui di produzioni agricole, allevamenti zootecnici, lavorazioni agroindustriali e la frazione organica dei rifiuti urbani. Tali biomasse possono essere convertite in energia in impianti di taglia media e piccola, mediante la combustione diretta o la gassificazione di quelle a basso contenuto di umidità o la digestione anaerobica (DA) di quelle fermentescibili.

La produzione di elettricità mediante la combustione diretta di biomasse legnose si basa su tecnologie consolidate e ampiamente diffuse, ma comunque suscettibili di miglioramento, soprattutto per quel che riguarda, per gli impianti di taglia medio-piccola, i rendimenti di conversione e l’impatto ambientale dovuto al particolato e agli inquinanti organici presenti nei fumi. Da questo punto di vista, la gassificazione - che converte le biomasse in un biocombustibile gassoso, noto come syngas - presenta diversi vantaggi, in termini di efficienza energetica e di qualità delle emissioni, che la rendono particolarmente interessante per applicazioni su piccola-media scala, finalizzate alla produzione decentrata di elettricità e calore, ma necessita ancora di ulteriori attività di ricerca e sviluppo tecnologico per aumentarne l’affidabilità e la flessibilità di impiego di diverse tipologie di alimentazione.

La produzione di bioenergia con tecnologie che consentono di trasformare le biomasse in biocombustibili gassosi, come il biogas prodotto dagli impianti di digestione anaerobica o il syngas ottenuto dalla gassificazione delle biomasse lignocellulosiche, rappresenta in questo contesto un’opzione particolarmente interessante in quanto questi combustibili possono essere utilizzati in impianti di piccola taglia distribuiti sul territorio non solo presso i siti di produzione, ma anche, dopo adeguato trattamento che ne consenta l’immissione nelle esistenti reti di distribuzione del gas naturale o in serbatoi di stoccaggio, per alimentare sistemi cogenerativi delocalizzati, sulla base delle effettive esigenze energetiche delle utenze finali.

Il biometano, indipendentemente dalla sua provenienza da processi biologici di DA o dalla conversione catalitica del syngas, è un prodotto che presenta enormi vantaggi in un’ottica di sviluppo sostenibile: è una fonte di energia rinnovabile programmabile, permette una decentralizzazione di produzione e un conseguente sviluppo dell’economia locale, offre un’alta flessibilità di utilizzo, sia in sistemi stazionari che per autotrazione, chiude il ciclo sostenibile dello sfruttamento a fini energetici di sottoprodotti e rifiuti organici di diversa origine e natura e, non trascurabile, la possibilità di utilizzare infrastrutture di distribuzione e tecnologie di conversione disponibili, consolidate e adatte anche a soluzioni di taglie medio-piccole.

L’affermazione sul mercato di questo prodotto richiede da un lato l’ottimizzazione dei processi di conversione della biomassa, per aumentare la resa e la quota di metano prodotta, dall’altro lo sviluppo di sistemi di clean-up ed upgrading che consentano di ottenere il gas della qualità necessaria, minimizzando le emissioni nocive per la salute e per l’ambiente, efficienti, affidabili e di facile gestione.

Descrizione del prodotto dell’attività

L’attività proposta segue le indicazioni del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca di Sistema Elettrico emesso dal Ministero dello Sviluppo Economico e tiene conto delle priorità indicate dalla Direzione Generale per il mercato elettrico, le rinnovabili e l’efficienza energetica, il nucleare dello stesso Ministero,

per cui si svolgerà solo nella Prima Annualità (PAR2015). In particolare il progetto Bioenergia prevede lo sviluppo di processi finalizzati alla valorizzazione energetica di biomasse derivanti da filiere corte locali mediante la generazione di energia elettrica e/o la produzione di biocombustibili gassosi, su dispositivi e impianti pilota, ed alla riduzione dei livelli di emissioni gassose di particolati fini e di altri inquinanti organici prodotte da impianti di combustione in modo da ottenere una serie di “prodotti” con caratteristiche tali da poter essere presi a modello da operatori industriali del settore per future applicazioni commerciali. Il Piano prevede inoltre attività da eseguire presso il Polo Tecnologico del Sulcis, come dall’accordo tra il MiSE, la Regione Sardegna e l’ENEA siglato in data 8 agosto 2014. In particolare, le attività proposte riguarderanno le seguenti linee di attività:

1. Tecnologie per la produzione diretta di energia elettrica attraverso la combustione di biomasse.
2. Tecnologie per la gassificazione delle biomasse e l’upgrading del syngas a biometano di sintesi (bio-SNG).
3. Sistemi di co-produzione flessibile e programmabile di elettricità e biometano da processi avanzati di digestione anaerobica.

I prodotti più importanti che si otterranno, con specifico riferimento alle linee di attività sopra descritte, sono i seguenti:

1. Dati sulle caratteristiche termofluidodinamiche delle miscele ternarie di sali fusi, unitamente alle prove di resistenza alla corrosione degli acciai.
2. Progettazione di un circuito termico (scambiatori fumi-acqua, fumi-aria comburente e dissipatore acqua-aria) da circa 200 kW, asservito allo smaltimento dell’energia generata dalla combustione delle biomasse e trasportata dai sali fusi nel relativo ciclo.
3. Realizzazione di un dispositivo filtrante innovativo per l’abbattimento del particolato fine, del CO e dei COV presenti nei fumi, basati su *schiume ceramiche a celle aperte*.
4. Un impianto automatizzato per la generazione di energia elettrica dalla gassificazione di biomasse e/o di miscele biomasse-carbone, in collaborazione con Sotacarbo.
5. Un reattore catalitico per l’ossidazione dei tar presenti nel syngas, inseribile su diverse tipologie di gassificatori.
6. Un processo integrato per la produzione di biometano di sintesi (bio-SNG) costituito da un impianto di metanazione accoppiato con un gassificatore a letto fluido bollente.
7. Un processo di pretrattamento biologico delle biomasse, basato sull’impiego di funghi anaerobici ruminali per facilitare la degradazione di substrati ad elevato contenuto di materiale lignocellulosico, con individuazione di metodologie per la produzione massiva di inoculi dei suddetti microrganismi.
8. Un sistema di upgrading del biogas a biometano mediante assorbimento della CO₂ con ammine complesse in fase organica, con rigenerazione a bassa temperatura.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell’attività

Le tecnologie basate sulla combustione delle biomasse presentano ancora, come si è detto, problemi da risolvere, sia dal punto di vista ambientale che di efficienza energetica, per cui è necessario esplorare soluzioni innovative per aumentare l’efficienza complessiva del sistema caldaia-generatore e per ridurre le emissioni di particolato fine e di composti organici volatili.

Per lo sviluppo di caldaie a sali fusi, sono stati effettuati studi sul possibile utilizzo di questo vettore energetico in caldaie a combustibile fossile in associazione con sistemi di riscaldamento solare ad alta temperatura per impianti di produzione di energia elettrica di grande potenza mediante cicli combinati o come vettore termico in processi chimici, mentre non sono note attività riguardanti l’associazione di combustori a biomassa con caldaie a sali fusi, soprattutto in una fascia di potenza medio-bassa compatibile con la generazione-cogenerazione elettrica distribuita.

Gli impianti a biomassa di taglia medio-grande, sia per la generazione elettrica che per il teleriscaldamento, dispongono di sistemi efficaci di controllo della combustione e di abbattimento delle emissioni sia del particolato fine carbonioso che dei composti organici gassosi, che ne mantengono il livello al camino sotto i vigenti limiti di legge. Tali sistemi sono comunque piuttosto costosi e la loro incidenza sui costi finali di produzione dell’energia è abbastanza elevata, e lo sarà prevedibilmente ancora di più man mano che i

suddetti limiti di emissione diverranno più restrittivi, soprattutto per quanto riguarda i limiti di emissione di particolati di dimensioni molto ridotte ($PM < 2,5 \mu m$).

Per quanto riguarda la produzione di biometano da syngas (BioSNG), non esistono attualmente esempi di impianti funzionanti a livello nazionale, mentre sono in corso attività di ricerca finalizzate da un lato all'ottimizzazione del processo di gassificazione, in termini di resa e composizione del syngas maggiormente idonea alla successiva conversione in biometano, e dall'altro alla definizione di operatività e performance del processo di conversione catalitica con sistemi ingegnerizzati di diversa taglia e tipologia.

Infine, per quanto riguarda la produzione di biometano da upgrading del biogas, attualmente la tecnologia di upgrading più largamente impiegata è la WS (Water Scrubbing), seguita dalla PSA (pressure swing adsorption), dalla separazione con membrane e dall'assorbimento chimico con ammine in soluzione acquosa. Le aziende con tecnologie già mature e collaudate in impianti di biogas e biometano sono quelle tedesche, (BTS Biogas, WELTEK, Schmack) essendo la Germania il paese europeo in cui la politica governativa ha maggiormente incentivato la produzione di biogas e biometano: in Germania sono presenti oltre 160 impianti di upgrading; seguono, ben distanziati, la Svezia, gli U.S.A., il Regno Unito, i Paesi Bassi e la Svizzera.

Diverse aziende italiane sono presenti nel panorama degli impianti a biogas e tutte prevedono nel prossimo futuro di ampliare gli impianti con sistemi di upgrading, passaggio necessario per rendere gli impianti economicamente sostenibili in assenza di incentivi statali: IES_Biogas, BTS Biogas, Ladurner, Envitec, UTS.

Studi tecnico-economici hanno mostrato che con le attuali tecnologie di upgrading la fattibilità tecnico-economica è garantita solo per gli impianti con flussi di biogas maggiori di $250 \text{ Nm}^3/\text{h}$, e che le tecnologie di upgrading attualmente in uso sono confrontabili sia da un punto di vista economico che di fattibilità tecnica.

IL PROGETTO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Le attività ENEA sulla valorizzazione energetica delle biomasse per il triennio 2012-2014 della Ricerca di Sistema Elettrico hanno avuto come principali risultati:

- Lo sviluppo, mediante un circuito sperimentale del volume di circa 50 L, di un processo di digestione anaerobica a doppio stadio, utilizzando come substrato reflui dell'industria casearia. In queste condizioni, è stato possibile dimostrare che è possibile dimezzare i tempi di produzione del biogas ed aumentare del 35% la resa energetica complessiva del processo rispetto alla configurazione convenzionale ad un solo stadio.
- La dimostrazione della produzione di biogas da colture di topinambur, una specie perenne in grado di accumulare grandi quantità di zuccheri e di crescere su terreni marginali non utilizzabili per le tradizionali colture alimentari mediante l'esecuzione di una campagna sperimentale su un impianto pilota da 2 m^3 .
- La dimostrazione, su scala di laboratorio, della validità di un pretrattamento biologico basato sull'utilizzazione di funghi ruminanti insieme ai microrganismi responsabili della fermentazione anaerobica, che ha permesso di produrre biogas da un substrato ricco di cellulosa come la paglia, con rese in metano aumentate fino al 68% rispetto a quanto prodotto da un processo convenzionale.
- La sperimentazione di processi semplificati e a basso costo per la produzione di microalghe in connessione a impianti di biogas, sfruttando le capacità fertilizzanti di un sottoprodotto della digestione anaerobica, denominato "digestato liquido" e utilizzando la biomassa così prodotta per alimentare il digestore, mediante un'operazione di riciclo di nutrienti. Diverse specie di microalghe sono state testate per la loro capacità di produrre biogas, che oscilla da valori prossimi a 290 a circa 640 mL/g SV.
- La verifica di processi di gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW) di biomasse ad elevato contenuto idrico per la produzione di syngas con caratteristiche chimico-fisiche tali da renderlo idoneo per applicazioni energetiche, con la modellazione termodinamica, il confronto delle prestazioni del processo con differenti biomasse nonché l'analisi sperimentale su un impianto bench-scale, progettato e realizzato presso il C.R. ENEA Trisaia.

- La rimozione dei contaminati presenti nel biogas, in particolare H₂S, individuando e confrontando diverse tecnologie chimico-fisiche, basate sull'utilizzo di carboni attivi (processo di adsorbimento) e di ossidi metallici (ossidazione catalitica), e un processo biologico di fotosintesi anossigenica, realizzata in un apposito dispositivo di filtrazione del biogas illuminato con lampade LED a determinate lunghezze d'onda.
- La realizzazione, presso il C.R. ENEA Trisaia, di un impianto pilota per la separazione della CO₂ dal metano, della capacità di trattamento di circa 350 Nm³/h di biogas, dotato di moduli commerciali a membrane polimeriche PEEK, al fine di verificarne le prestazioni e ricavare i parametri caratteristici di processo per le valutazioni tecnico economiche.
- Lo studio e lo sviluppo di un processo di upgrading basato sull'impiego di ammine complesse (AMP) in un solvente organico protico, e realizzazione di un apparato sperimentale per trattare un flusso di biogas di circa 120 L/h prodotto da un digestore anaerobico, che ha permesso di evidenziarne la fattibilità e di effettuare una stima del costo energetico, confrontandolo con l'assorbimento con ammine in soluzione acquosa.
- Lo studio di processi di separazione della CO₂ dal metano mediante la formazione/dissociazione di gas clatrati, che ha consentito di ottenere una miscela con un contenuto in metano pari all'80%. Nel corso degli ultimi due anni, è stato possibile, anche grazie all'impiego di specifici promotori della formazione di idrati, ridurre le pressioni da circa 80 bar a 30 bar, limitando i consumi energetici e aprendo la prospettiva dello sviluppo di un futuro processo continuo.
- Lo studio e lo sviluppo del processo di purificazione e di metanazione del syngas prodotto dalla gassificazione di biomasse lignocellulosiche, con la realizzazione dell'impianto pilota BIOSNG presso i laboratori ENEA del C.R. Trisaia, con un'attività sperimentale rivolta all'aggiustamento della composizione del syngas mediante assorbimento della CO₂ prodotta dalla reazione di water gas shift (WSG), con lo sviluppo di specifici sorbenti (idrotalciti), e l'incremento delle rese di conversione in metano con l'impiego di catalizzatori a base di nichel su precursori Mg/Al più resistenti alla disattivazione, anch'essi sviluppati nell'ambito della ricerca.
- Lo studio di caldaie a sali fusi ad alta temperatura alimentate con biomassa lignocellulosica per impianti di produzione di energia elettrica e co/trigenerazione di piccola-media taglia basati su cicli termici con vapore d'acqua o con nuovi fluidi operanti ad un livello termico superiore a quelli attualmente in uso, lo sviluppo e l'implementazione di uno strumento di calcolo (COGEGNO) per l'analisi energetica ed economica di sistemi cogenerativi basati su caldaie a sali fusi, e di sistemi di generazione con fluidi motori convenzionali e non, come ad esempio il tetracloruro di titanio (TiCl₄), con valutazione delle proprietà termodinamiche.
- Lo studio di alcuni fluidi vettore potenzialmente interessanti, quali una miscela ternaria di sali contenente calcio nitrato, una con nitrito di sodio (HITECH® salt), ed una con nitrato di litio, con l'esecuzione di prove di corrosione di lunga durata (8.000 ore) di materiali utilizzabili per la realizzazione delle parti delle caldaie a contatto con tali fluidi, eseguite su vari provini di acciai, che hanno evidenziato che l'acciaio austenitico presenta in generale uno strato protettivo più stabile.
- Lo studio della rimozione del particolato fine dalle emissioni gassose della combustione delle biomasse solide, con la caratterizzazione e la verifica sperimentale di filtri ceramici porosi tipo "wall-flow". Le attività sperimentali hanno evidenziato una elevata efficienza di abbattimento (> 92%) del particolato ad opera di filtri in carburo di silicio catalizzati con ferrite di rame.
- La progettazione e la realizzazione, in collaborazione con la Società Sotacarbo S.p.A., di una serie di modifiche dell'impianto di gassificazione updraft da 5 MWt del Centro di Ricerche Sotacarbo di Carbonia, al fine di renderne continuo il funzionamento e ottimizzare il processo per la gassificazione di biomasse, tra cui il sistema di caricamento automatico del combustibile ed un nuovo vent a valle del lavaggio del syngas, e la verifica del funzionamento del gassificatore in continuo e della stabilità del processo mediante l'esecuzione di test di lunga durata, che hanno permesso la definizione dei parametri operativi di gassificazione e di pulizia del syngas dai tar.
- La progettazione e la realizzazione di un reattore secondario di reforming catalitico ossidativo, installato sull'impianto pilota di gassificazione GESSYCA del C.R. ENEA Casaccia, che sarà utilizzato per valutare l'efficacia di questo tipo di dispositivi per la conversione del tar prodotto dalla gassificazione di biomasse.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale dell'attività è la messa a punto e la dimostrazione su scala pilota significativa di sistemi per la valorizzazione energetica delle biomasse, sia mediante la produzione di biogas o syngas, da utilizzare per la co-generazione di elettricità e calore in impianti decentralizzati di piccola-media taglia o per l'immissione come biometano nella rete nazionale di distribuzione del gas, sia attraverso lo sviluppo di sistemi di cogenerazione ad elevato rendimento basati su dispositivi innovativi per utilizzare sali fusi come vettori energetici. Inoltre, proseguiranno gli studi per la realizzazione di dispositivi innovativi in grado di ridurre i livelli di emissioni gassose di particolati fini e di altri inquinanti organici prodotte da impianti di combustione di piccola-media taglia, individuando nuovi sistemi di abbattimento basati su processi di rimozione catalitici.

L'obiettivo sarà perseguito approfondendo e portando a termine alcune linee di ricerca oggetto di attività nel corso del precedente Piano Triennale che hanno dato risultati promettenti e ritenuti sufficientemente affidabili da permettere di ottenere processi e dispositivi da poter essere trasferibili agli operatori industriali del settore per future applicazioni commerciali.

Tale considerazione è alla base della decisione di non proseguire le attività relative, ad esempio alla produzione di microalghe che, allo stato attuale della tecnologia, è risultata troppo costosa per poter pensare a colture realizzate al solo fine di produrre energia sotto forma di biogas, anche ricorrendo a tecniche di coltivazione estremamente semplificate, o alla gassificazione di biomasse umide con acqua in condizioni supercritiche, di cui va approfondita la conoscenza sui meccanismi di base del relativo processo.

Ragionamenti analoghi hanno portato ad escludere dalla presente proposta anche l'eventuale prosecuzione di attività sulla rimozione dell' H_2S contenuto nel biogas mediante dispositivi basati su processi di ossidazione catalitica, che richiedono temperature di funzionamento troppo elevate per poter pensare di utilizzare il calore di recupero dai cogeneratori a biogas, o sulla fotosintesi anossigenica, che ha dato risultati molto promettenti, ma che necessita di ulteriori indagini prima di poter pensare ad uno scale-up significativo, o ancora sulla separazione CO_2/CH_4 mediante la formazione di gas idrati, di cui vanno ancora chiariti aspetti fondamentali relativamente alle cinetiche di reazione prima di procedere alla progettazione e allo sviluppo di un processo continuo, condizione indispensabile per poter utilizzare in concreto questa tecnologia.

Ovviamente, le ricerche sui suddetti temi non saranno abbandonate, ma si cercherà di proseguirle in ambiti più pertinenti, come ad esempio, per quel che riguarda le microalghe, attività legate al concetto di "bioraffineria" o, nel caso delle altre tecnologie precedentemente citate, programmi nazionali o europei caratterizzati da una forte componente di ricerca "esplorativa".

Descrizione dell'attività a termine

Sulla base dei risultati ottenuti in precedenza e di quanto reso disponibile presso l'ENEA anche nell'ambito di altri programmi di ricerca svolti negli ultimi anni, le attività saranno indirizzate a:

- Sviluppare tecnologie innovative per produzione di energia elettrica attraverso la combustione di biomasse, mediante:
 - lo studio sulla stabilità e sulle caratteristiche termofluidodinamiche delle miscele ternarie di sali fusi, unitamente alle prove di resistenza alla corrosione degli acciai, da utilizzare per la progettazione di un circuito termico (scambiatori fumi-acqua, fumi-aria comburente e dissipatore acqua-aria) asservito allo smaltimento dell'energia generata dalla combustione delle biomasse e trasportata dai sali;
 - La realizzazione di dispositivi filtranti innovativi per l'abbattimento del particolato fine presente nei fumi e dei relativi sistemi di rigenerazione, per cui si intende continuare la sperimentazione con sistemi filtranti, sempre catalizzati con ferrite di rame, ma modificando la tipologia dei filtri da utilizzare. I nuovi filtri saranno basati su *schiume ceramiche a celle aperte*, che sfruttano un meccanismo di filtrazione del tipo "deep bed".
- Sviluppare tecnologie per la gassificazione delle biomasse e l'upgrading del syngas a biometano di sintesi (bio-SNG) mediante:

- l'incremento dei livelli di integrazione e di controllo dei processi di gassificazione, al fine di renderli più affidabili e meno impattanti, con prove di lunga durata su un impianto pilota di gassificazione in funzione presso il Polo Tecnologico del Sulcis, e lo sviluppo di un processo ossidativo per la rimozione dei tar su un impianto di gassificazione presente nel Centro Ricerche della Casaccia;
 - un processo di upgrading del syngas a bio-SNG, in modo da ottimizzare la reazione di metanazione e le prestazioni dei relativi catalizzatori in condizioni simili a quelle di un impianto industriale, con syngas prodotto con campagne sperimentali sul gassificatore a letto fluido bollente a ricircolazione interna (ICFBF) da 1 MWt operante con O₂ e vapor d'acqua, completo di sistemi di pulizia del syngas dai tar ed altri contaminanti, operante nel Centro Ricerche ENEA della Trisaia.
- Sviluppare nuovi sistemi di co-produzione flessibile e programmabile di elettricità e biometano da processi avanzati di gestione anaerobica mediante:
- il pretrattamento biologico basato sull'impiego di funghi anaerobici ruminali di substrati ad elevato contenuto di materiale lignocellulosico, per facilitarne la degradazione ed incrementare la resa ed il contenuto di metano nel biogas e la sua qualità;
 - un processo di separazione selettiva della CO₂ basati sull'impiego della 2-ammino-2-metil-1-propanolo (AMP) in soluzione organica con rigenerazione a bassa temperatura, con l'obiettivo di arrivare alla progettazione di un prototipo in grado di trattare alcuni m³/h di biogas da installare a valle di un impianto industriale di gestione anaerobica (DA).

L'attività relativa allo sviluppo delle caldaie a sali fusi prevede la prosecuzione e l'estensione dello studio delle caratteristiche termofluidodinamiche delle miscele ternarie di sali fusi, unitamente alle prove di resistenza alla corrosione degli acciai da utilizzare per la realizzazione delle parti della caldaia a diretto contatto con questi fluidi. Parallelamente verranno condotte le necessarie analisi termo-strutturali sulle apparecchiature di scambio termico (scambiatore fumi-sali e sali-acqua) preliminari alla progettazione delle apparecchiature stesse. Inoltre, saranno definiti i parametri progettuali per la realizzazione del circuito termico (scambiatori fumi-acqua, fumi-aria comburente e dissipatore acqua-aria) asservito allo smaltimento dell'energia generata dalla combustione delle biomasse e trasportata dai sali fusi nel relativo ciclo. Al completamento dell'attività verranno definite le caratteristiche progettuali e tecnologiche di tutti gli apparati ed i componenti dell'impianto costituito da sistema di alimentazione del combustore a biomassa e dei cicli termici associati.

Per quanto riguarda i dispositivi catalitici per il trattamento dei fumi di combustione delle biomasse, le attività sperimentali finora condotte hanno dimostrato un'elevata efficienza di abbattimento del particolato dei filtri catalitici in carburo di silicio catalizzati con ferrite di rame, in configurazione wall-flow; purtroppo sono state riscontrate notevoli problematiche derivanti dalle eccessive perdite di carico e dalle conseguenti troppo frequenti fasi di rigenerazione, per cui si intende continuare la sperimentazione con sistemi filtranti sempre catalizzati con ferrite di rame, ma modificando la tipologia dei filtri da utilizzare, basati su schiume ceramiche a celle aperte.

Le attività sulla gassificazione delle biomasse prevedono in primo luogo la prosecuzione delle attività sperimentali avviate nel precedente PAR e relative al Polo Tecnologico del Sulcis, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione di biomasse e di trattamento del syngas prodotto, con l'obiettivo finale di verificare la possibilità di utilizzare impianti di gassificazione concepiti originariamente per l'utilizzo di carbone, come il gassificatore a letto fisso updraft da 5 MWt presente nel Centro Ricerche Sotacarbo, con un'alimentazione di sola biomassa. Le attività saranno svolte prevalentemente presso il Centro Ricerche Sotacarbo di Carbonia, con il supporto tecnico e scientifico dell'ENEA. Nel dettaglio, si procederà all'approfondimento dei processi di gassificazione delle biomasse finalizzati alla generazione elettrica, con riferimento specifico allo sviluppo di sistemi di misura-controllo e di componenti innovativi che assicurino un funzionamento stabile e continuo degli impianti.

Un aspetto che sarà oggetto di particolare attenzione è quello della qualità del syngas che, se prodotto dalla gassificazione di biomasse, necessita dello sviluppo di nuovi componenti e metodi innovativi per la purificazione dai tar. In tale ambito, saranno ottimizzati i sistemi di analisi del syngas per determinare le concentrazioni di tar e di polveri presenti, in modo da poter definire le modifiche necessarie per purificarlo da questi contaminanti, ed eseguiti test sperimentali su un reattore secondario di reforming catalitico ossidativo collocato in serie al gassificatore sull'impianto GESSYCA presso il Centro Ricerche della Casaccia.

Le attività finalizzate allo sviluppo del processo di upgrading del syngas a bioSNG saranno svolte presso il Centro ENEA della Trisaia, e saranno finalizzate alla validazione alla scala di impianto pilota della tecnologia sviluppata nel corso degli anni precedenti. Saranno effettuate prove sull'impianto pilota BIOSNG, alimentato con il syngas reale proveniente dal gassificatore O₂/vapore a letto fluido a ricircolazione interna (ICFBF). Queste prove permetteranno di ottimizzare le condizioni di reazione e di selezionare, fra quelli sviluppati negli anni precedenti, i catalizzatori in grado di assicurare le migliori prestazioni, sia in termini di affidabilità che di rese di conversione. Le prove sperimentali sull'impianto BIOSNG forniranno i dati necessari per il dimensionamento e la progettazione di un impianto pilota da collocare a valle del gassificatore a letto fluido (ICFBF) da 1 MWt, completo di sistemi di pulizia del syngas dai tar ed altri contaminanti, operante nel Centro della Trisaia.

Per quel che riguarda infine le attività relative allo sviluppo di nuovi sistemi di co-produzione flessibile e programmabile di elettricità e biometano da processi avanzati di digestione anaerobica, sarà studiato un processo di pretrattamento biologico delle biomasse, basato sull'impiego di funghi anaerobici ruminali per facilitare la degradazione di substrati ad elevato contenuto di materiale lignocellulosico, anche nella prospettiva della diffusione degli impianti di produzione di biometano, non trascurando la possibilità di effettuare un "retrofitting" degli impianti di biogas esistenti, incrementando la produzione di metano rispetto a quanto si ottiene con la tecnologia convenzionale. Saranno effettuate prove per valutare l'effetto del pretrattamento biologico basato sull'impiego di funghi anaerobici ruminali sulla degradazione di substrati reali ad elevato contenuto di materiale lignocellulosico, con prove di biometanazione con un processo convenzionale, i cui risultati, in termini di produzione e composizione del biogas, saranno messi a confronto con quelli ottenuti dopo aver inoculato il fermentatore con i suddetti microrganismi.

Le attività relative allo sviluppo di sistemi di upgrading del biogas in biometano, efficienti, di facile utilizzo ed economici, che possano implementare gli attuali impianti di produzione di biogas o essere installati sui nuovi impianti, saranno focalizzate sulla tecnologia della rimozione della CO₂ mediante reazione chimica con ammina AMP in soluzione di glicol etilenico e n-propanolo, in un sistema a due stadi. Questa tecnologia sarà ottimizzata dal punto di vista del processo e migliorata rispetto ai risultati ottenuti nel corso del precedente PAR, con l'obiettivo di arrivare ad un sistema completamente automatizzato in grado di gestire, in funzione della qualità del biogas, i cicli di assorbimento e rigenerazione.

Principali risultati previsti

Il progetto Bioenergia è previsto solo per la prima annualità. Si riporta di seguito un elenco dei prodotti più importanti che si prevede di ottenere, con specifico riferimento alle linee di attività descritte più avanti nella parte relativa alla pianificazione annuale delle attività.

a. Tecnologie per la produzione diretta di energia elettrica attraverso la combustione di biomasse

- Dati sulla stabilità e sulle caratteristiche termofluidodinamiche delle miscele ternarie di sali fusi, unitamente alle prove di resistenza alla corrosione degli acciai. Parametri progettuali da utilizzare nella costruzione di scambiatori fumi-Sali e Sali-Fluido di processo
- Dispositivo di filtrazione catalitica per l'abbattimento del particolato fine, CO e COV contenuti nei fumi di combustione di biomasse.

b. Tecnologie per la gassificazione delle biomasse e l'upgrading del syngas a biometano di sintesi

- Upgrading di un impianto di gassificazione di biomasse e/o miscele biomasse-carbone per la generazione di energia elettrica.
- Reattore catalitico per l'ossidazione dei tar presenti nel syngas prodotto dalla gassificazione di biomasse.
- Processo di upgrading a bio-SNG costituito da un impianto di metanazione da syngas prodotto con il gassificatore a letto fluido bollente a ricircolazione interna (ICFBF).

c. Nuovi sistemi di co-produzione flessibile e programmabile di elettricità e biometano

- Processo per il pretrattamento biologico di substrati ad elevato contenuto di materiale lignocellulosico basato sull'impiego di funghi anaerobici ruminali per avere una elevata efficienza di conversione della biomassa in metano.

- Processo di upgrading del biogas a biometano mediante separazione selettiva della CO₂ basato sull'impiego della 2-ammino-2-metil-1-propanolo (AMP) in miscela di glicol etilenico-isopropanolo, con rigenerazione a bassa temperatura.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Le attività svolte da parte del CNR nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico su tematiche connesse con la produzione di elettricità da biomasse hanno riguardato, nel corso dei precedenti Piani Triennali, la valutazione ed utilizzazione dei biocombustibili ottenuti da residui o scarti agricoli di scarso valore intrinseco e di alghe per l'applicazione in impianti di cogenerazione basati su microturbine, e non sussistono pertanto punti di contatto e/o possibili sovrapposizioni con le ricerche svolte da ENEA.

Per quanto riguarda il progetto Bioenergie di Ricerca sul Sistema Energetico S.p.A., saranno svolte attività finalizzate alla ricerca di soluzioni innovative sulle tecnologie per la combustione diretta di biomasse residuali (impianti di piccola taglia), mentre proseguiranno quelle relative alle emissioni da impianti di combustione a biomasse, sia sotto il profilo dell'impegno nella normazione tecnica nazionale e internazionale che delle sperimentazioni su circuiti sperimentali realizzati negli anni precedenti, in collaborazione con potenziali stakeholder. Saranno inoltre svolte attività di tipo più "sistemico" sulla produzione di elettricità da rifiuti, lavorando sul fronte della normazione tecnica nazionale e internazionale, delle attività della Task 36 "Solid Waste" dell'IEA Bioenergy Implementing Agreement, ma anche nella direzione di una connotazione e analisi a tutto tondo del sistema nazionale Waste-to-Energy.

Su tutte queste attività non sussistono punti di contatto con quanto svolto da ENEA, mentre (come confermato dai contatti diretti intercorsi fra gli esperti ENEA ed RSE S.p.A. coinvolti nella Ricerca di Sistema Elettrico) è emerso una complementarità di azione in materia di sistemi per l'upgrading del biogas a biometano basati sulla rimozione selettiva della CO₂ tramite assorbimento chimico con ammine. Nello specifico, la ricerca condotta da ENEA ha riguardato l'utilizzazione di ammine complesse in soluzione organica, mentre RSE S.p.A. ha focalizzato le proprie attività sull'impiego di ammine immobilizzate su un supporto solido poroso (dietanolammina impregnata ad umido su pellet sferici di allumina).

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Le attività previste nel progetto "Bioenergia" hanno la finalità di promuovere lo sviluppo di conoscenze e tecnologie che consentano di cogliere al meglio tali opportunità per la generazione distribuita di energia in sistemi di piccola e piccolissima scala, o per la produzione di biometano adatto ad essere immesso nella rete nazionale di distribuzione del gas naturale, e che, per la loro collocazione e dimensioni contenute presentano maggiori possibilità di valorizzare il calore disponibile sia per il riscaldamento degli ambienti e altri usi termici, che per la produzione di freddo

Il progetto, inoltre, intende definire tecnologie e/o processi di conversione della biomassa che consentano di ampliare la gamma di biomasse utilizzabili, migliorando le rese ed i tempi dei processi di trasformazione, oltre a ridurre l'impatto ambientale delle emissioni gassose. In tale modo è possibile ridurre i costi della produzione energetica e, in prospettiva, il peso degli incentivi. Ciò potrebbe essere perseguito con:

1. miglioramenti ed integrazioni dei sistemi di produzione di energia elettrica, puntando sugli incrementi delle efficienze e sul trattamento dei fumi con nuovi sistemi filtranti a secco, catalizzati, in grado di ridurre le emissioni di particolato fine, di eliminare i composti organici volatili ed il monossido di carbonio, anche in considerazione che il Regolamento CE n° 2015/1189 del 28 aprile 2015, riguardante i requisiti per la progettazione eco-compatibile di caldaie alimentate a combustibili solidi, impone dal 1° gennaio 2020 limiti stagionali di emissioni di PM pari a 40 mg/m³ e 60 mg/m³ rispettivamente per caldaie ad alimentazione automatica e manuale. Poter disporre di dispositivi in grado di raggiungere livelli emissivi dei fumi molto bassi potrà rendere l'utilizzo delle bioenergie più ampio ed essere maggiormente accettato per i minori impatti ambientali e sulla salute, con effetti positivi anche su altre tipologie di impianti energetici che utilizzano le biomasse.
2. tecnologie che utilizzano fluidi vettori meno pericolosi degli oli diatermici, generalmente utilizzati per la produzione di elettricità negli impianti di taglia medio-piccola, abbiano costi inferiori, si degradino meno

facilmente ed in prodotti non infiammabili, operino a temperature più elevate, ma a pressione praticamente atmosferica, con minori pericoli di incendi e rischi per la salute e per l'ambiente, in quanto, in caso di perdita non sono infiammabili, solidificano velocemente, non si decompongono in sostanze tossiche e non inquinano i terreni. Valutazioni preliminari indicano fattibili incrementi di efficienza elettrica dell'ordine di 4-5% per impianti di taglia inferiore al MWe, e di poter aumentare, grazie alla minore pericolosità, il numero di installazioni co-trigenerative in ambito civile e terziario, come ad esempio complessi scolastici e ospedalieri, centri commerciali, ecc.;

3. puntare sulla trasformazione delle biomasse solide in biocombustibili gassosi di elevata qualità e contenuto energetico, facilmente ed economicamente trasportabili sfruttando le reti di distribuzione presenti, con maggiore possibilità di impiego distribuito, con costi di installazione e di gestione inferiori per la minore taglia dei genset necessaria a parità di energia elettrica prodotta, e conseguente maggiore facilità ed economicità delle manutenzioni ordinarie e straordinarie. In tal modo è possibile prevedere la diffusione di migliaia di sistemi di piccola e piccolissima taglia, quali motori, celle a combustibile e pompe di calore, a livello domestico, condominiale o di piccola comunità, collegate in piccole reti locali di distribuzione del calore, con efficienze energetiche complessive elevate (85-90%) e con possibilità di usufruire di meccanismi di compensazione per l'uso di fonti rinnovabili e/o di tecnologie ad alta efficienza;
4. ampliare la gamma delle materie prime per la produzione di bioenergia, operando sui processi al fine di incrementare la produzione di biogas in termini di efficienza e di ridurre i tempi necessari alla trasformazione, in modo da rendere più produttivi gli impianti esistenti e/o diminuire i costi di realizzazione dei nuovi impianti e di approvvigionamento della materia prima. Considerato che la presenza della frazione lignocellulosica attualmente limita la conversione della sostanza organica in biogas al 50-60% con tempi di permanenza nei reattori di digestione anaerobica di 35-40 giorni, si può stimare un incremento della resa di conversione fino al 75% con tempi di reazione ridotti a 25-30 giorni, per cui complessivamente si può ottenere un aumento dell'efficienza degli impianti dell'ordine del 25-30%;
5. nel caso della gassificazione, le attività volgono al raggiungimento di un livello di affidabilità e di automazione superiore rispetto alle tecnologie attuali e ad ottenere un syngas di standard qualitativi elevati, sia in termini energetici che in contenuto di inquinanti, anche grazie a dispositivi specifici per la trasformazione dei tar in prodotti che aumentano la resa energetica e riducono la produzione di inquinanti dalle sezioni di trattamento del syngas.

La concomitanza degli effetti delle azioni sopra descritte potrebbe portare ad una riduzione dei costi di produzione di energia elettrica da biomasse di piccola-media taglia dell'ordine del 20-25% rispetto a quelli attuali. Questo comporterebbe la possibilità di ridurre proporzionalmente gli incentivi sulla produzione di energia di queste tipologie di impianti, con conseguente benefici sul peso della bolletta elettrica per l'utente finale. Considerando che per biomasse solide e biogas il costo complessivo degli incentivi è superiore ai 2100 M€/a (fonte GSE), anche ipotizzando solo il 10% del suddetto valore si hanno costi di 210 M€/a, per cui i potenziali vantaggi complessivi potrebbero arrivare a 40-50 M€/a.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

Le attività ENEA sulla produzione di energia elettrica da biomasse previste nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2015 della Ricerca di Sistema Elettrico sono suddivise in due specifiche parti:

- Parte A, relativa alle attività afferenti alla sola ENEA, per la maggior parte implementazione di ricerche avviate nelle annualità precedenti.
- Parte B, relativa alle attività svolte nell'ambito dell'Accordo MiSE/Regione Autonoma della Sardegna/ENEA/Sotacarbo per lo sviluppo del Polo Tecnologico del Sulcis.

PARTE A: ATTIVITÀ ENEA

Le attività relative alla Parte A si articolano in tre diverse linee di ricerca ed una linea specifica per le attività di comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e partecipazione a gruppi di lavoro e organismi internazionali, suddivise a loro volta in subtask come riportato di seguito.

a. Tecnologie per la produzione diretta di energia elettrica attraverso la combustione di biomasse

a.1 Caratterizzazione termo-fluidodinamica di miscele ternarie di sali fusi e progettazione di un sistema innovativo caldaia-scambiatore di calore a sali fusi

L'attività relativa allo sviluppo delle caldaie a sali fusi prevede la prosecuzione dello studio sulla stabilità e sulle caratteristiche termofluidodinamiche delle miscele ternarie di sali fusi nei laboratori ENEA, unitamente alle prove comparative di resistenza alla corrosione tra un acciaio inox ed un acciaio a basso costo, da utilizzare per la realizzazione delle parti della caldaia a diretto contatto con questi fluidi. In particolare sarà approfondito lo stato dell'arte e investigato il sistema ternario Na/K/Ca/NO₃, con lo scopo di definire un'eventuale miscela ternaria con proprietà più utili rispetto alla formulazione precedentemente utilizzata (Ca(NO₃)₂/NaNO₃/KNO₃ 42,2:15,3:42,5% in peso). I parametri che saranno considerati sono l'abbassamento del punto di fusione e della viscosità dinamica, ed il possibile rallentamento della cinetica di decomposizione.

Parallelamente verranno condotti i necessari test termofluidodinamici con i sali fusi sul circuito sperimentale MOSE (Molten Salt Experiences) dell'ENEA per la verifica preliminare del comportamento termofisico dei sali in condizioni dinamiche e lo studio dello scambio termico tra un fluido caldo (miscela di fumi di combustione di GPL e aria falsa) e miscela di sali fusi binaria (solar salts) e ternaria (Hitec XL), per determinare i parametri termofluidodinamici di scambio termico più critici, utili per la progettazione delle apparecchiature stesse.

Inoltre l'ENEA si avvarrà della collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata per le attività relative all'analisi termica e all'analisi strutturale degli scambiatori fumi-sali fusi e sali fusi-acqua, che possiede esperienza specifica sulle suddette tipologie di analisi applicate a sistemi di scambio termico. Inoltre, l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata definirà i parametri progettuali per la realizzazione del circuito asservito allo smaltimento dell'energia generata dalla combustione delle biomasse e trasportata dai sali fusi nel relativo ciclo.

A completamento dell'attività verranno definite le caratteristiche progettuali e tecnologiche di tutti gli apparati ed i componenti dell'impianto costituito dal sistema di alimentazione del combustore a biomassa e dei cicli termici associati. Questa attività sarà svolta in collaborazione con il Dipartimento di Meccanica, Matematica e Management del Politecnico di Bari.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico sulla caratterizzazione delle proprietà termofisiche e sulle prove di corrosione sugli acciai delle miscele di sali fusi.
- Rapporto Tecnico sulle analisi termiche e strutturali preliminari relative agli scambiatori a sali fusi e definizione delle specifiche progettuali (Università di Roma Tor Vergata).
- Progetto del ciclo termico relativo allo smaltimento del calore acquisito dal circuito a sali fusi e delle specifiche delle parti rimanenti dell'impianto (Politecnico di Bari).

Principali collaborazioni: Università di Roma Tor Vergata - Dipartimento Ingegneria Industriale; Politecnico di Bari, Dipartimento di Meccanica, Matematica e Management

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Dispositivi filtranti catalitici per il trattamento dei fumi di combustione delle biomasse

Saranno testati presso l'impianto prove dell'ENEA presente nel CR Saluggia i campioni di filtri basati su schiume ceramiche a celle aperte in carburo di silicio ed allumina, con differenti porosità, per definirne efficienza di abbattimento del particolato e perdite di carico. Tali filtri sfruttano un meccanismo di filtrazione del tipo "deep bed", in cui non si ha la formazione del tipico "cake" di particolato, che è stato il principale responsabile delle elevate perdite di carico dei sistemi "Wall Flow" finora testati.

I test sperimentali effettuati da ENEA evidenzieranno se le perdite di carico siano o meno compatibili con la caldaia a biomassa e definiranno le efficienze di filtrazione da parte di entrambi i filtri.

A valle di questi risultati, sarà progettato, dimensionato e realizzato un sistema filtrante in geometria radiale capace di trattare tutta la corrente dei fumi prodotta dalla caldaia a biomassa (circa 75 m³/h), con il filtro "deep bed", che presenta le migliori performance.

Nel caso di riscontri positivi di comportamento di tali filtri, questi potranno essere attivati con i catalizzatori a base di ferrite di rame sviluppati nel corso delle annualità precedenti, al fine di individuare quello che presenta il miglior rapporto tra efficienza di filtrazione e perdite di carico.

La progettazione e la realizzazione dei filtri sarà fatta dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Salerno, che si occuperà in particolare dello studio e dello sviluppo dei filtri strutturati e effettuerà la caratterizzazione dei filtri con tecniche di microscopia SEM-EDS, XRD, densità e porosimetria, termogravimetria TGA/DTA.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico sulla sperimentazione dei dispositivi catalitici per la rimozione del particolato fine dalle emissioni gassose della combustione di biomassa solida
- Rapporto Tecnico sulle modalità di preparazione e la caratterizzazione, prima e dopo l'uso, dei dispositivi catalitici per la rimozione del particolato fine dalle emissioni gassose (Università di Salerno)

Principali collaborazioni: Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Industriale

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Tecnologie per la gassificazione delle biomasse e l'upgrading del syngas a biometano di sintesi

Ottimizzazione del processo di produzione di biometano a partire da syngas e definizione dei parametri progettuali per un impianto pilota di metanazione di taglia pre-industriale

Saranno effettuate campagne sperimentali sul gassificatore a letto fluido bollente a ricircolazione interna (ICFBF) da 1 MWt, completo di sistemi di pulizia del syngas dai tar ed altri contaminanti, operante nel Centro Ricerche ENEA della Trisaia. Le prove permetteranno di caratterizzare il processo di gassificazione utilizzando O₂ e vapor d'acqua al fine di ottenere un syngas con composizione e caratteristiche adatte al successivo processo di metanazione. Parte del syngas prodotto, adeguatamente purificato, verrà compresso a circa 50 bar e stoccato in bombole per essere utilizzato come alimentazione nell'impianto BIOSNG per le prove di metanazione. Queste prove permetteranno di ottimizzare le condizioni di reazione e di selezionare, fra quelli sviluppati negli anni precedenti, i catalizzatori in grado di assicurare le migliori prestazioni, sia in termini di affidabilità che di rese di conversione. Inoltre le prove forniranno i dati necessari per il dimensionamento preliminare di un impianto pilota di metanazione da collocare a valle del gassificatore ICFBF.

Le attività saranno svolte in stretta collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Industriale, dell'Informazione e di Economia dell'Università dell'Aquila e con il Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari" dell'Università di Bologna. L'Università dell'Aquila provvederà alla produzione e fornitura dei campioni di sorbenti (idrotalciti di Mg/Al impregnate con K₂CO₃ e di Mg/Al/Ca) di SEWGS (Sorption Enhanced Water Gas Shift), utilizzati nell'apposito reattore dell'impianto BIOSNG per incrementare il contenuto in H₂ e bilanciare il rapporto H₂/CO nel syngas con la simultanea captazione della CO₂, mentre l'Università di Bologna si occuperà dei catalizzatori di metanazione al nichel su precursore Mg/Al, che saranno forniti con una granulometria tale da assicurare il corretto riempimento del relativo reattore.

I catalizzatori verranno testati per verificarne le prestazioni rispetto ai parametri di processo di maggior rilievo, quali pressione, temperatura e contenuto di umidità del syngas in alimentazione. Particolare attenzione verrà dedicata agli effetti della presenza di eventuali contaminanti residui, sulle loro prestazioni e sulla funzionalità nel tempo. Per avere una più completa descrizione del processo e del comportamento dei materiali utilizzati, su tutti i catalizzatori impiegati nelle prove sperimentali saranno condotte le necessarie caratterizzazioni, chimiche e morfologiche (granulometria, porosimetria, SEM/EDX, analisi in

temperatura programmata TPR/TPO, XRD, spettrometria Raman con microscopia) prima e dopo il loro impiego.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico sull'upgrading a biometano mediante l'utilizzo dell'impianto BIOSNG.
- Rapporto Tecnico sulla fornitura e caratterizzazione pre e post test dei sorbenti SEWGS (a cura di UnivAQ).
- Rapporto Tecnico sulla fornitura e caratterizzazione pre e post test dei catalizzatori di metanazione (a cura di UniBO).

Principali collaborazioni: Università dell'Aquila - Dipartimento di Ingegneria Industriale, dell'Informazione e di Economia; Università di Bologna - Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari".

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Nuovi sistemi di co-produzione flessibile e programmabile di elettricità e biometano

c.1 Processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano

Nell'ambito del PAR 2015 si procederà alla verifica sperimentale della produzione di biogas a più elevato contenuto in metano da un processo alimentato con una biomassa caratterizzata da un contenuto significativo di materiale lignocellulosico.

La fase iniziale delle attività prevede l'esecuzione di test con l'alimentazione presa come riferimento su circuiti di laboratorio e/o impianti pilota. Parallelamente, saranno effettuate prove di lunga durata per valutare l'effetto del pretrattamento biologico basato sull'impiego di funghi anaerobici ruminanti sulla degradazione dei substrati sopra citati, verificare la scalabilità e la replicabilità dei risultati ottenuti nel corso di precedenti prove di digestione anaerobica di paglia di grano, utilizzando colture pure costituite da un pool batterico selezionato, denominato F210, e da ceppi di funghi ruminanti, oltre che un tradizionale inoculo metanigeno. A tal fine, lo stesso substrato sarà utilizzato in reattori di laboratorio, anche di volume 10 volte superiori a quelli usati nella scorsa annualità.

Verranno analizzate sia configurazioni impiantistiche in cui le colture pure e miste cooperano durante le diverse fasi di trasformazione biochimica del substrato lignocellulosico, sia configurazioni impiantistiche in due fasi distinte, poste in serie, dove l'azione idrolitica e fermentativa delle colture pure è distinta da quella delle colture miste non selezionate (inoculo metanigeno).

Per questa specifica attività l'ENEA continuerà ad avvalersi della collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (DICEA) dell'Università di Napoli "Federico II", per la definizione dei parametri operativi di processo da utilizzare per lo scale up del trattamento biologico con i funghi anaerobici ruminanti coadiuvati da un pool batterico selezionato, entrambi già adoperati con successo per accelerare l'idrolisi di substrati lignocellulosici.

Inoltre, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche dell'Università della Tuscia, saranno sviluppati e validati saggi enzimatici per la determinazione rapida della concentrazione e dell'attività dei funghi anaerobici ruminanti nei substrati in fermentazione e metodologie per la produzione massiva di inoculi dei suddetti microrganismi.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico sui risultati sperimentali della produzione di biogas da trattamenti di biomasse ad elevato contenuto di componente lignocellulosico e/o biopolimeri
- Rapporto Tecnico sulle attività e sui risultati dei saggi enzimatici per la determinazione rapida della concentrazione e dell'attività dei funghi anaerobici ruminanti e metodologie per la produzione massiva di inoculi
- Rapporto Tecnico sull'effetto del pretrattamento biologico di substrati ad elevato contenuto di materiale lignocellulosico mediante aggiunta di funghi anaerobici ruminanti.

Principali collaborazioni: Università di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (DICEA); Università della Tuscia - Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.2 Nuovi sistemi per la rimozione selettiva della CO₂ dal biogas basati sull'impiego di ammine in fase organica

L'attività della presente annualità sarà indirizzata a verificare l'idoneità di utilizzare una miscela 3 molare di AMP (2-amino 2-metil-1 propanolo) in soluzione di glicol etilenico-propanolo 1:1 in volume quale abbattitore del contenuto di CO₂ in biogas e del programma di simulazione del processo, i cui coefficienti sono stati definiti con i dati sperimentali determinati con i test della scorsa annualità, che hanno riguardato esclusivamente il processo di assorbimento, portato avanti fino alla saturazione allo scopo di determinare il massimo volume di CO₂ assorbito per litro di soluzione.

Nella presente annualità saranno effettuati i test in cui la medesima soluzione, sarà utilizzata in più cicli ripetuti di assorbimento e desorbimento, in condizioni diverse tra loro per aver modo di individuare l'effetto delle condizioni operative sulle prestazioni. Con tali test si potranno verificare e/o definire i coefficienti e le proprietà fisiche e chimiche ancora indeterminate nel processo di assorbimento chimico della CO₂ da parte della soluzione AMP-glicol etilenico-propanolo utilizzati nella simulazione e di verificare le assunzioni su cui questa è basata.

L'attività sperimentale, condotta presso i laboratori del C.R. Casaccia, sarà quindi indirizzata verso l'ottimizzazione dei parametri operativi, l'integrazione delle fasi di assorbimento/ rigenerazione e sulla verifica dell'efficienza del sistema. Con il suddetto modello matematico sarà simulato il processo di upgrading e dimensionato un impianto pilota con una capacità di trattamento dell'ordine di alcuni Nm³/h di biogas prodotto in un digestore funzionante presso un'azienda agro-zootecnica del Lazio.

Una volta ottimizzato il sistema si calcolerà il fabbisogno energetico del sistema, quindi si effettuerà la progettazione di processo di un impianto prototipo pilota di quella taglia. Questa attività sarà svolta in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente della Sapienza Università di Roma, che collaborerà anche alla fase sperimentale preliminare.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico sui risultati sperimentali delle prove di rimozione della CO₂ dal biogas con un processo di assorbimento/desorbimento con soluzioni di AMP in una miscela di glicol etilenico e isopropanolo.
- Progetto di un impianto prototipo su scala pilota per l'upgrading del biogas con AMP in fase organica.

Principali collaborazioni: Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

d.1 Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali

Nel corso del PAR 2015 saranno svolte azioni di supporto tecnico-scientifico ai Ministeri e alle Pubbliche Amministrazioni per la valutazione di iniziative e/o una migliore definizione del quadro nazionale di riferimento nel settore specifico della bioenergia e proseguiranno le attività connesse con la presenza dell'ENEA sulle tematiche del presente progetto nell'Implementing Agreement dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) sulla Bioenergia e nella European Energy Research Alliance (EERA), con scambio di informazioni sui programmi internazionali nel settore e studi e analisi su temi di comune interesse.

d.2 Comunicazione e diffusione dei risultati

Le attività descritte nel PAR 2015 e svolte durante l'annualità, ed i relativi risultati, saranno oggetto di apposite comunicazioni alla comunità scientifica tramite pubblicazioni su riviste specializzate e partecipazioni a convegni nazionali ed internazionali, e agli operatori del settore interessati mediante comunicazioni dirette a sensibilizzarli sulla tematica e a coinvolgerli direttamente nello sviluppo e messa a punto di prototipi di impianti e dispositivi con caratteristiche tali da poter essere presi a modello per future applicazioni commerciali.

Tutti i documenti che descrivono in dettaglio le attività svolte ed i risultati ottenuti saranno resi pubblici tramite il sito web ENEA nelle pagine dedicate alla Ricerca di Sistema Elettrico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulle attività di comunicazione e diffusione degli obiettivi oggetto dell'AdP, dei risultati ottenuti e delle prospettive di sviluppo e applicazione degli stessi per gli utenti finali e per le aziende interessate alla realizzazione dei potenziali prodotti

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

PARTE B: POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

Le attività di cui si prevede lo svolgimento nell'ambito dell'Accordo MiSE/Regione Autonoma della Sardegna/ENEA/Sotacarbo per lo sviluppo del Polo Tecnologico del Sulcis riguardano in particolare lo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione di biomasse e di trattamento del syngas prodotto, con l'obiettivo finale di verificare la possibilità di utilizzare impianti di gassificazione concepiti originariamente per il solo utilizzo di carbone, come il gassificatore a letto fisso updraft da 5 MWt presente nel Centro Ricerche Sotacarbo, con un'alimentazione con la sola biomassa o, in prospettiva, mista biomassa-carbone.

Le attività saranno svolte prevalentemente presso il Centro Ricerche Sotacarbo di Carbonia, con il supporto e la collaborazione tecnica e scientifica dell'ENEA e si articoleranno in tre sottobiettivi, di cui solo l'ultimo, quello riguardante l'attività sulle tecnologie avanzate di gassificazione e abbattimento dei tar, verrà in parte svolto presso l'impianto GESSYCA del C.R. ENEA Casaccia.

B.1 Attività Sotacarbo

a.1 Progetto e realizzazione di modifiche migliorative dell'impianto Sotacarbo

Nell'ambito del presente task si prevede di apportare ulteriori modifiche all'impianto dimostrativo per poterne migliorare l'esercizio e ottimizzare la fase di sperimentazione. In particolare, in tale ambito, si effettueranno le seguenti attività:

1. Ottimizzazione del sistema di caricamento automatico del combustibile. Nella precedente annualità è stato progettato e realizzato un sistema di caricamento automatico e pesatura elettronica del combustibile. Durante l'annualità in corso si procederà a testare e migliorare il sistema suddetto al fine di eliminare le problematiche di impaccamento del combustibile in ingresso al gassificatore riscontrate durante i test eseguiti in passato.
2. Ottimizzazione del sistema di adduzione aria di processo al gassificatore. Nella precedente annualità sono state effettuate modifiche alle linee di adduzione dell'aria e installate delle valvole a comando manuale che hanno reso più stabile il processo di gassificazione durante le fasi di avviamento e di funzionamento in regime stazionario del gassificatore. Durante l'annualità in corso saranno remotizzati i comandi delle suddette valvole e automatizzate le procedure di impostazione delle portate di aria.
3. Implementazione dei sistemi di misura dei principali parametri di processo. Per ottimizzare il controllo dei principali parametri di processo è stata prevista l'integrazione della strumentazione esistente con sensoristica addizionale.
4. Riprogettazione del sistema di abbattimento degli inquinanti presenti nel syngas, migliorando e ottimizzando il sistema già presente. A seguito delle precedenti sperimentazioni, si è evidenziata la necessità di integrare il sistema attualmente presente (scrubber). Nel corso della presente annualità saranno individuati i parametri necessari e si procederà al dimensionamento di un'integrazione al sistema attuale di pulizia del syngas, al fine di migliorare la qualità del gas prodotto dalla gassificazione di biomasse.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico sulle attività di progettazione e di realizzazione delle modifiche e migliorie dell'impianto dimostrativo di gassificazione Sotacarbo

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Sperimentazione del processo di gassificazione presso l'impianto Sotacarbo

Sulla base dell'esperienza maturata nella passata annualità, degli studi di processo e di una prima caratterizzazione del syngas, saranno ottimizzate le procedure operative sia per la fase di sperimentazione, sia per la successiva fase di esercizio per la generazione elettrica in continuo. Saranno effettuati test sperimentali di lunga durata per un totale di almeno 200 ore, al fine di pervenire ad una prima caratterizzazione dell'impianto in fase di funzionamento in regime stazionario. Le sperimentazioni avranno come obiettivo quello di eseguire dei test di lunga durata che permettano di raggiungere i seguenti risultati:

- verificare il funzionamento del gassificatore in continuo;
- verificare la stabilità del processo;
- analizzare il syngas ottenuto per determinare i parametri di progettazione dei sistemi di pulizia del syngas e di produzione di energia elettrica da immettere in rete.

Si evidenzia il fatto che, per poter effettuare campagne sperimentali continuative di lunga durata sarà necessario disporre di personale tecnico esterno in grado di operare insieme a quello di Sotacarbo in turni distribuiti 24 ore su 24 nelle giornate in cui l'impianto di gassificazione è operativo.

Saranno effettuate prove sperimentali di lunga durata, al fine di pervenire alla caratterizzazione dell'impianto in fase di funzionamento in regime stazionario. A valle delle prove sarà effettuata l'analisi dei dati con la valutazione dei principali parametri del processo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico relativo alle attività svolte sulla sperimentazione di processo

Durata: gennaio 2016 - settembre 2016

B.2 Attività ENEA

b. Tecnologie avanzate di gassificazione e abbattimento del tar

L'ENEA collaborerà nei vari interventi di implementazione e di modifiche all'impianto Dimostrativo Sotacarbo, per poterne migliorare l'esercizio e ottimizzerà la fase di sperimentazione. Inoltre parteciperà alla sperimentazione dei processi di gassificazione di biomasse sul suddetto impianto. Sulla base dell'esperienza maturata, collaborerà con Sotacarbo nell'ottimizzare le procedure operative per la fase di start up, per la sperimentazione di processo in continuo e per lo shut down, per arrivare alla caratterizzazione dell'impianto in regime stazionario. In questa fase si prevede di dare seguito alle attività avviate nel precedente PAR, al fine di ottenere un più approfondito sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione della biomassa.

L'obiettivo è riuscire a purificare il syngas dal suo contenuto in tar, per cui saranno eseguiti test sperimentali sul reattore secondario di reforming catalitico ossidativo realizzato nel corso del precedente PAR e collocato in serie al gassificatore. Il processo di reforming ossidativo verrà studiato utilizzando sia un riempimento inerte che composti di tipo basico. Si prevede in quest'ambito di affidare uno specifico contratto al Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali della Sapienza Università di Roma (DICMA) che, avendo progettato e sperimentato in scala da laboratorio il processo di reforming catalitico ossidativo, affiancherà l'ENEA anche nella sperimentazione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico "Attività di sperimentazione dei processi di gassificazione c/o impianto GESSYCA".
- Rapporto Tecnico "Progetto e supporto alla sperimentazione di un reattore di reforming ossidativo e di conversione del tar" (DICMA).

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

Parte A: Attività ENEA

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a	Tecnologie per la produzione diretta di energia elettrica attraverso la combustione di biomasse													
	a.1 Caratterizzazione termo-fluidodinamica di miscele ternarie di sali fusi e progettazione di un sistema innovativo caldaia-scambiatore di calore a sali fusi													
	a.2 Dispositivi filtranti catalitici per il trattamento dei fumi di combustione delle biomasse													
b	Tecnologie per la gassificazione delle biomasse e l'upgrading del syngas a biometano di sintesi													
	Ottimizzazione del processo di produzione di biometano a partire da syngas e definizione dei parametri progettuali per un impianto pilota di metanazione di taglia pre-industriale													
c	Nuovi sistemi di co-produzione flessibile e programmabile di elettricità e biometano													
	c.1 Processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano													
	c.2 Nuovi sistemi per la rimozione selettiva della CO ₂ dal biogas basati sull'impiego di ammine in fase organica o altre tipologie di fluidi chimici													
d	Comunicazione e diffusione dei risultati													
	d.1 Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali													
	d.2 Comunicazione e diffusione dei risultati													

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Sotacarbo

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a.1	Progetto e realizzazione di modifiche migliorative dell'impianto Sotacarbo													
a.2	Sperimentazione del processo di gassificazione presso l'impianto Sotacarbo													

ENEA

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
b	Tecnologie avanzate di gassificazione e abbattimento del tar													

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Tecnologie per la produzione diretta di energia elettrica attraverso la combustione di biomasse									
	<i>a.1 Caratterizzazione termo-fluidodinamica di miscele ternarie di sali fusi e progettazione di un sistema innovativo caldaia-scambiatore di calore a sali fusi</i>	2000	73	44	0	3	0	4	55	179
	<i>a.2 Dispositivi filtranti catalitici per il trattamento dei fumi di combustione delle biomasse</i>	1850	67	41	9	5	0	5	25	152
	<i>Subtotale obiettivo a</i>	3850	140	85	9	8	0	9	80	331
b	Tecnologie per la gassificazione delle biomasse e l'upgrading del syngas a biometano di sintesi									
	<i>Ottimizzazione del processo di produzione di biometano a partire da syngas e definizione dei parametri progettuali per un impianto pilota di metanazione di taglia pre-industriale</i>	4500	165	99	6	5	0	1	60	336
c	Nuovi sistemi di co-produzione flessibile e programmabile di elettricità e biometano									
	<i>c.1 Processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano</i>	2300	84	50	2	5	0	1	55	197
	<i>c.2 Nuovi sistemi per la rimozione selettiva della CO₂ dal biogas basati sull'impiego di ammine in fase organica o altre tipologie di fluidi chimici</i>	2340	86	51	5	5	0	1	25	173
	<i>Subtotale obiettivo c</i>	4640	170	101	7	10	0	2	80	370
d	Comunicazione e diffusione dei risultati									
	<i>d.1 Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali</i>	650	24	14	0	49	0	12	0	99
	<i>d.2 Comunicazione e diffusione dei risultati</i>	1000	37	22	0	3	0	2	0	64
	<i>Subtotale obiettivo d</i>	1650	61	36	0	52	0	14	0	163
	TOTALE	14640	536	321	22	75	0	26	220	1200

- * in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds
- (A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente
- (B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento; include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità
- (C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione
- (D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti
- (E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione
- (U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri, pari a 36,6 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Ripartizione spese attività SOTACARBO

Ob.	Denominazione obiettivi	Ore di personale Sotacarbo	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a.1	Progetto e realizzazione di modifiche migliorative dell'impianto Sotacarbo	1400	35	21	139	0	0	3	0	198
a.2	Sperimentazione del processo di gassificazione presso l'impianto Sotacarbo	3000	80	48	0	45	25	4	0	202
TOTALE		4400	115	69	139	45	25	7	0	400

Ripartizione spese attività ENEA

Ob.	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
b	Tecnologie avanzate di gassificazione e abbattimento del tar	1250	40	24	3	3	20	10	0	100
TOTALE		1250	40	24	3	3	20	10	0	100

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento; include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie e con Sotacarbo. Il dettaglio delle spese di Sotacarbo è riportato nella tabella sottostante

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri, pari a 32 €/h . Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature da utilizzare e/o acquisire e stima dei relativi costi

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.2	Strumento di misura per emissioni di particolato + accessori	28.687	5.737	Misura particolato linea fumi
a.2	Forno a microonde Whirpool mod. JC 216	267	53	Prove di laboratorio per rigenerazione filtri catalitici
a.2	Pompe da vuoto Eduars RV3	2.196	439	Aspirazione e convogliamento fumi
a.2	Termocamera OPTRIS	6.536	1.307	Visualizzazione profili di temperatura componenti linea trattamento fumi
a.2	Sistema riscaldamento a microonde	5.999	1.200	Rigenerazione filtri catalitici linea trattamento fumi
b	Sistema compressione syngas a 30 bar certificato ATEX	30.500	6.100	Sistema di compressione del syngas per l'impianto BIOSNG
c.1	Misuratore portatile multiparametro e fotometro da banco Hanna	3.382	676	Caratterizzazione colture microbiche
c.1	Bilancia ARW PCB 350-3 con pesiera classe M1	369	74	Peso substrati da trattare
c.1	Frigoriferi e congelatori per scarti agrozootecnici	2.701	540	Conservazione substrati da caratterizzare e trattare
c.1	Ossimetro HI 442 e accessori	3.519	704	Monitoraggio processi di digestione anaerobica
c.2	Stazione sottocappa e analizzatore gas ambientale	2.180	436	Apparato di sicurezza per linea trattamento biogas
c.2	Motore elettrico protezione IP56 per tritatore	232	46	Macinazione substrato da alimentare al digestore
c.2	Accessori per spettrofotometro Specular Reflectance	2.161	432	Misura contenuto H ₂ S nel biogas per valutazione efficacia sistemi di clean-up
c.2	Analizzatore portatile biogas	11.344	2.269	Caratterizzazione biogas CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S
c.2	Materiale inventariabile per linea biogas	7.120	1.425	Linea pulizia biogas
c.2	Scambiatore di calore liquido-liquido a piastre	1.464	293	Rigenerazione soluzione amminica di upgrading biogas
c.2	PE 1667 – Compressor gas cooler type ACC 402	4.585	917	Stoccaggio in bombole biogas trattato

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili; in grassetto le attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

SOTACARBO

Ob.	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015(€)*	Uso attrezzatura
a.1	Loop strumentali per la misura della portata del syngas	7.000	7.000	Implementazione del sistema di misura dell'impianto dimostrativo
a.1	N. 4 strumenti per la misura di pressione del syngas e dell'aria comburente	3.000	3.000	Implementazione del sistema di misura dell'impianto dimostrativo
a.1	Acquisto nuovi piatti griglia	15.000	15.000	Sistema scarico ceneri
a.1	Acquisto bulloneria per alta temperatura	5.000	5.000	Sistema scarico ceneri
a.1	Progettazione sistema pulizia syngas (sistema di lavaggio e sistema di filtrazione)	20.000	20.000	Sistema pulizia syngas
a.1	Sostituzione scrubber	60.000	60.000	Sistema pulizia syngas
a.1	Sistema di dosaggio	11.000	11.000	Adeguamento sistema di caricamento biomassa
a.1	Modifica tubazioni di collegamento tramoggia-gassificatore	14.000	14.000	Adeguamento sistema di caricamento biomassa
a.1	Integrazione sensoristica del sistema di caricamento	4.000	4.000	Adeguamento sistema di caricamento biomassa

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

ENEA

Ob.	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
b	Soffiante per impianto GESSYCA	3.000	3.000	Linea trattamento syngas

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.2	Componentistica per linea trattamento fumi (raccorderia in acciaio inox, tubi in silicone, sigillanti, ecc.)	2.000
a.2	Materiale di consumo per prove con caldaia a pellet (pellet, gas tecnici, ecc.)	2.000
b	Componentistica, valvolame e piping per impianto BIOSNG e gassificatori	2.000
b	Catalizzatori commerciali, gas tecnici, standard per analisi, biomassa, combustibili	3.000
c.1	Reattivi per analisi chimico-biologiche	3.000
c.1	Materiale di consumo per colture microbiche	2.000
c.2	Gas tecnici per prove di assorbimento CO ₂ da biogas simulato con soluzioni amminiche	2.000
c.2	Materiali consumabili per gestione e implementazione apparati sperimentali per upgrading biogas	3.000
d.1	Iscrizione IEA Bioenergy Agreement Task 32, 33, 42	42.000
d.1	IEA Bioenergy Implementing Agreement	7.000
d.2	Iscrizione congressi	3.000

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

SOTACARBO

Ob.	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.2	GPL per torcia ossidativa	10.000
a.2	Cippato di legna, carbone vegetale e combustibili fossili	15.000
a.2	Azoto	5.000
a.2	Smaltimento reflui	6.000
a.2	Gas tecnici e per calibrazione per laboratorio analisi	4.000
a.2	Reagenti per laboratorio	3.000
a.2	Consumabili e standard per laboratorio	2.000

ENEA

Ob.	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
b	Materiale di consumo per le prove su impianto GESSYCA (ricambi strumentazione)	3.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Parte A: Attività ENEA

Non sono previsti costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze e/o brevetti.

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Per la parte relativa alle attività di Sotacarbo sono previsti costi per il supporto di personale tecnico per la gestione dell'attività di sperimentazione H24 di lunga durata mediante specifici contratti con società, in modo da poter coprire il conseguente picco di lavoro necessario a garantire la continuità dei test sull'impianto Sotacarbo da 5 MWt, per un importo stimato di 25.000 €, mentre non sono previsti costi per acquisizione di competenze e/o brevetti.

Per la parte ENEA relativa alle attività da svolgere per il Polo Tecnologico del Sulcis, è previsto un contratto con la Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente (DICMA), per il supporto alla sperimentazione e all'analisi dei dati di processo ottenuti con il reattore di reforming ossidativo e conversione del tar installato sull'impianto pilota GESSYCA del C.R. ENEA Casaccia, per un costo stimabile in 20.000 €. La scelta è stata fatta in quanto il Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente (DICMA) vanta una lunga e consolidata esperienza in materia di valorizzazione energetica delle biomasse, con particolare riferimento alla gassificazione, ai processi per il trattamento di gas di sintesi ed al loro utilizzo, e risulta detentore di un processo brevettato per il trattamento del syngas relativo alla purificazione del tar. Inoltre ha già svolto, insieme ad ENEA, attività di progetto e sperimentazione in scala da laboratorio del processo di reforming catalitico ossidativo.

4) Attività previste per le Università cobeneficarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Cobeneficiario - Oggetto dell'accordo / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Industriale Analisi termiche e strutturali preliminari relative agli scambiatori a sali fusi e definizione delle specifiche progettuali per i bandi di gara. <i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo Sistemi Energetici del Dipartimento di Ingegneria Industriale si occupa da oltre vent'anni di tecnologie avanzate per la generazione di energia elettrica, meccanica e termica, collaborando con Enti primari, pubblici e privati, nel settore energetico e partecipando a progetti di ricerca finalizzati ad incrementare le prestazioni e a ridurre l'impatto ambientale dei sistemi energetici.	30
a.1	Politecnico di Bari, Dipartimento di Meccanica, Matematica e Management Progetto del ciclo termico relativo allo smaltimento del calore acquisito dal circuito a sali fusi e delle specifiche delle parti rimanenti dell'impianto per i bandi di gara e per la preparazione dei documenti per l'iter autorizzativo. <i>Motivazioni della scelta:</i> L'attività di ricerca del Dipartimento è sempre stata rivolta al settore dell'energia con particolare attenzione al miglioramento dell'efficienza degli impianti di conversione e alle fonti di energia rinnovabile, in particolare sui cicli innovativi ad elevata efficienza e relativi sistemi di combustione, sulla dinamica, controllo e diagnostica di impianti con turbina a gas e a ciclo combinato e sui sistemi di combustione.	25
a.2	Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Industriale Sviluppo, realizzazione e verifica sperimentale di filtri catalitici strutturati, approfondendo quanto studiato nelle precedenti annualità, con screening e la caratterizzazione dei supporti ceramici, con tecniche di microscopia SEM-EDS, XRD, densità e porosimetria, termogravimetria TGA/DTA. <i>Motivazioni della scelta:</i> Lunga e consolidata esperienza nella preparazione e caratterizzazione chimico fisica e sulla cinetica dei catalizzatori, ampliata nel corso degli anni in maniera specifica sui filtri catalitici per l'abbattimento di particolato carbonioso e sull'applicazione delle microonde per la rigenerazione di filtri catalitici.	25
b	Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari" Preparazione e fornitura all'ENEA di quantitativi di catalizzatori di metanazione del tipo Ni/Mg/Al in un rapporto ottimizzato adeguati per l'esecuzione di prove sperimentali di lunga durata sull'impianto BIOSNG. Su tutti i catalizzatori saranno effettuate caratterizzazioni chimiche e morfologiche (granulometria, porosimetria, SEM/EDX, analisi in temperatura programmata TPR/TPO, XRD, spettrometria Raman con microscopia) prima e dopo il loro impiego. <i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Chimica Industriale possiede una lunga e comprovata esperienza nella preparazione di catalizzatori innovativi di metanazione da impiegare nella conversione in metano del syngas prodotto dalla gassificazione di biomassa. I laboratori sono attrezzati con la necessaria strumentazione per la sintesi e la caratterizzazione pre e post test di nuovi materiali catalitici e dispongono, tra gli altri, di uno strumento di spettrometria Raman con microscopia ottica e di uno strumento esclusivo di microscopia elettronica a scansione equipaggiato con sonda Raman.	30

Ob.	Cobeneficiario - Oggetto dell'accordo / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
b	<p>Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia Preparazione e fornitura all'ENEA dei sorbenti risultati più promettenti nella scorsa annualità sotto forma di pellet granulari e testati presso i propri laboratori, per la sperimentazione sull'impianto BIOSNG alimentato con syngas reale. Al fine di avere una più completa descrizione della fenomenologia dei processi in atto, su tutti i materiali testati saranno condotte le necessarie caratterizzazioni, chimiche e morfologiche (SEM-EDX, XRF, XRD, FTIR, TGA-DTA, BET-BJH) prima e dopo il loro impiego.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> La attività di ricerca svolta da diversi anni presso il Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia dell'Università dell'Aquila hanno riguardato i sistemi di abbattimento di gas acidi presenti nel syngas prodotto da sistemi di gassificazione di biomasse lignocellulosiche. Sono stati affrontati in particolare lo studio e la sperimentazione della cattura del biossido di carbonio da miscele gassose tramite sorbenti attivi a temperature di 300-400 °C, con la progettazione e realizzazione di un micro-reattore a letto fisso per effettuare cicli di adsorbimento e desorbimento di CO₂.</p>	30
c.1	<p>Università di Napoli "Federico II", Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (DICEA) Prove di fermentazione di biomassa lignocellulosica, validazione del modello matematico riguardante la cinetica della digestione anaerobica di materiale lignocellulosico sviluppato nel precedente PAR, definizione dei parametri di processo per lo scale up tecnologico.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Ing. Civile Edile ed Ambientale è da anni impegnato in attività di ricerca e modellizzazione dei processi anaerobici per la produzione di biogas da varie matrici.</p>	20
c.1	<p>Università della Tuscia, Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche Sviluppo e validazione di saggi enzimatici per la determinazione rapida della concentrazione e dell'attività dei funghi anaerobici ruminale nei substrati in fermentazione e metodologie per la produzione massiva di inoculi dei suddetti microrganismi.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche, che collabora con ENEA da diverse annualità, è da molti anni impegnato in attività sul pretrattamento biologico di biomasse lignocellulosiche e possiede una notevole esperienza nell'individuazione, selezione e coltura di microrganismi idrolitici.</p>	35
c.2	<p>Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente (DICMA) Valutazione dei bilanci di materia ed energia e dei costi di un impianto compatto e automatizzato di upgrading del biogas con ammine in fase organica, supporto alla sperimentazione sull'impianto, progettazione di un sistema da installare e testare in un impianto di DA industriale.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Nelle attività sull'upgrading del biogas a biometano mediante assorbimento della CO₂ con ammine in fase organica, il DICMA ha effettuato studi e sperimentazioni sul tipo di ammina e di solvente organico da utilizzare, e sulla cinetica del processo, oltre a valutazioni di tipo tecnico-economico e comparazioni fra le diverse tecnologie di upgrading commerciali e in sviluppo.</p>	25

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Parti A e B

Non risultano progetti europei in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o sovrapponibili a quelle del presente PAR con il coinvolgimento delle unità di ricerca partecipanti al progetto.

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a.1	<ul style="list-style-type: none"> - Completamento dello studio della stabilità di due miscele ternarie di sali fusi contenenti rispettivamente nitrato di calcio e nitrato di litio. - Estensione della durata delle prove di corrosione di materiali in sali fusi, eseguite su provini di acciai ferritici ed austenitici in miscele di nitrati NaLiK per 4.000 ore a 550 °C e a 590 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prove di corrosione degli acciai a contatto con le miscele ternarie di sali fusi. - Individuazione di un generatore di fumi caldi a biomassa, con un'architettura tale da consentire l'interfacciamento con un sistema di accumulo termico a sali fusi. - Progettazione del sistema di accumulo termico a sali fusi.

Ob.	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a.2	<ul style="list-style-type: none"> - Valutazione e confronto di differenti sistemi di abbattimento delle emissioni prodotte dalla combustione di biomassa solida mediante prove sperimentali in scala di laboratorio di filtri catalitici tipo wall-flow, con la dimostrazione di una elevata efficienza di abbattimento del particolato ad opera dei filtri catalitici in carburo di silicio e ferrite di rame. - Verifica della possibile rigenerazione dei filtri, con svolgimento di prove sperimentali per la valutazione della durata e dell'efficienza di rigenerazione dei filtri in funzione del tempo e dell'efficacia di abbattimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizzazione e sperimentazione di sistemi filtranti costituiti da schiume ceramiche a celle aperte, al fine di individuare quello che presenta il miglior rapporto tra efficienza di filtrazione e perdite di carico. - Valutazione dell'affidabilità e delle prestazioni nel tempo dei filtri a schiume ceramiche a celle aperte dopo cicli successivi di utilizzo e rigenerazione.
b	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppo e sperimentazione sull'impianto pilota BIOSNG del C.R. ENEA Trisaia, integrato con una sezione per la cattura di CO₂ da corrente di processo ad alta temperatura, di un processo per la conversione in SNG di syngas reale prodotto da un impianto prototipale di gassificazione a letto fluido ricircolante ossigeno-vapore. 	<ul style="list-style-type: none"> - Validazione del processo di upgrading del syngas a biometano sull'impianto pilota BIOSNG, alimentato con syngas reale, e ottimizzazione delle condizioni di processo. - Definizione dei parametri progettuali di un impianto di metanazione a valle del gassificatore ICBFB da 1 MWt.
c.1	<ul style="list-style-type: none"> - Verifica sperimentale della produzione di biogas da substrati lignocellulosici e chitinosi mediante l'impiego di funghi anaerobici ruminali. - Verifica sperimentale di processi di DA a doppio stadio su impianto pilota in scala laboratorio in grado di operare in continuo, alimentato da reflui dell'industria casearia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verifica sperimentale su circuiti di laboratorio di un processo di DA in grado di trattare una biomassa caratterizzata da un contenuto significativo di materiale lignocellulosico. - Verifica sperimentale dell'efficacia del pretrattamento biologico di substrati ad elevato contenuto di materiali lignocellulosici con funghi anaerobici ruminali e da un pool microbico. - Definizione dei parametri operativi per la progettazione di un impianto dimostrativo da poter collocare presso un sito industriale.
c.2	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppo e sperimentazione del processo di upgrading del biogas con ammine in fase organica, sia con prove a livello di laboratorio con biogas simulati, sia avviando una sperimentazione con biogas reale su un sistema semicontinuo, costituito da due reattori in parallelo operanti alternativamente in assorbimento e rigenerazione, con una capacità di trattamento di circa 120 NL/h di biogas 	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione e validazione del processo sull'apparato sperimentale realizzato nel corso dell'annualità precedente, con automatizzazione del funzionamento. - Progettazione di sistema di upgrading del biogas mediante assorbimento della CO₂ con ammine in fase organica.

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Sotacarbo

Ob.	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a.1	<ul style="list-style-type: none"> - Riprogettazione e modifica di alcune parti dell'impianto dimostrativo di gassificazione da 5 MWt della Sotacarbo per la gestione in continuo dello stesso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione del sistema di caricamento della biomassa e di quello di adduzione aria di processo al gassificatore. - Implementazione dei sistemi di misura dei principali parametri di processo. - Adeguamento del sistema di abbattimento degli inquinanti presenti nel syngas e definizione dei parametri necessari per migliorare la qualità del syngas prodotto.
a.2	<ul style="list-style-type: none"> - Verifica del funzionamento del gassificatore in continuo e della stabilità del processo mediante esecuzione di test di lunga durata. - Verifica dei parametri operativi dei sistemi di produzione e pulizia del syngas da gassificazione di biomassa 	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione delle procedure operative sia per la fase di sperimentazione che per la successiva fase di esercizio per la generazione elettrica - Verifica del funzionamento del gassificatore in continuo e della stabilità del processo; - Definizione dei parametri di progettazione dei sistemi di pulizia del syngas e di produzione di energia elettrica.

ENEA

Ob.	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
b	<ul style="list-style-type: none"> - Realizzazione e installazione, presso l'impianto GESSYCA del C.R. ENEA Casaccia, di un dispositivo di abbattimento del tar mediante reforming ossidativo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definizione dei parametri operativi per la pulizia del syngas dal tar con l'esecuzione di test di abbattimento del tar mediante reforming ossidativo.

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Il Parlamento europeo con una direttiva del 2009 ha promosso l'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili come una delle misure necessarie per ridurre le emissioni di gas serra del 20% per il 2020 e del 60-80% per il 2050. Il Consiglio Europeo sulle Energie Rinnovabili nel 2014 ha indicato come target il raggiungimento di almeno il 27% di energia prodotta da fonti rinnovabili nell'Unione Europea per il 2030. Il fotovoltaico (FV) tra le fonti rinnovabili rappresenta un'opzione tecnologica chiave per favorire la transizione verso un'energia "decarbonizzata": la fonte solare è abbondante e non può essere monopolizzata da singole Nazioni. Negli ultimi anni si è assistito ad un evidente incremento del mercato fotovoltaico: nel 2015 sono stati installati nuovi impianti FV per una potenza pari a circa 50 GWp, portando a circa 227 GWp la capacità FV totale installata al mondo. È importante anche sottolineare che più del 60% della capacità totale di fotovoltaico operante al mondo è stata installata negli ultimi 3 anni.

La maggior parte dei moduli FV presenti in commercio sono realizzati con celle fabbricate su wafer di silicio cristallino. La tecnologia alla base dei processi utilizzati è decisamente matura e quindi non sono prevedibili per i moduli rilevanti miglioramenti in termini di prestazioni e di competitività economica. Partendo da queste considerazioni appare evidente la necessità di spingere la ricerca nel settore fotovoltaico per realizzare dispositivi caratterizzati da prestazioni sensibilmente migliori rispetto a quelle dei prodotti attualmente disponibili sul mercato e capaci quindi di attrarre il sistema produttivo. Il concetto di alta efficienza presuppone l'utilizzo di una cella solare a multigiunzione realizzata cioè da due o più giunzioni collegate in serie ognuna delle quali assorba una regione spettrale della radiazione solare. In questo modo è possibile sfruttare al meglio la luce incidente sul dispositivo, consentendo un potenziale incremento di efficienza. Ovviamente la realizzazione di due o più giunzioni che coinvolgono materiali differenti può complicare in maniera critica il processo di realizzazione, impedendo di ottenere gli sperati miglioramenti in termini di efficienza. La struttura tandem, nella quale cioè ci si limiti a due sole giunzioni in serie, è ritenuta il giusto compromesso per ottenere alte efficienze con processi interessanti dal punto di vista industriale. In particolare è stata recentemente avanzata l'idea di realizzare celle ad alta efficienza a struttura tandem nelle quali la cella posteriore sia realizzata in silicio cristallino, mentre quella anteriore sia realizzata con un materiale a film sottile ad alta gap di energia potenzialmente adatto alla fabbricazione di dispositivi ad alta efficienza. In tal modo è prevista in linea teorica la possibilità di ottenere dispositivi caratterizzati da efficienze ben maggiori del 30%, andando oltre la barriera del 33% imposta dalla termodinamica ai dispositivi basati su una singola giunzione. Questa idea presuppone lo studio di opportuni materiali semiconduttori e lo sviluppo di celle in c-Si ad alta efficienza realizzate con tecnologia differente rispetto a quella tipicamente utilizzata dall'industria FV. L'attività di ricerca avrà quindi l'obiettivo di sviluppare celle a eterogiunzione a-Si/c-Si che possano essere utilizzate come componente posteriore di un dispositivo tandem ad altissima efficienza. Per quanto riguarda i film sottili assorbitori da utilizzare per la componente anteriore della cella, si prevede di sviluppare film policristallini di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) e film a base di perovskiti, potendo utilizzare quest'ultima classe di materiali anche in configurazione a singola giunzione grazie alle grandi potenzialità mostrate dal materiale.

Parallelamente alle attività sullo sviluppo di celle ad alta efficienza, nell'ottica di incrementare l'efficienza e la producibilità dei sistemi fotovoltaici, risulta interessante studiare e sviluppare metodologie e tool per la progettazione ottimizzata di convertitori SMPPT (Smart Maximum Power Point Tracking). L'attività proposta ha l'obiettivo di sviluppare un tool di progettazione ottimizzata e studiare dispositivi attivi basati su materiali e tecnologie innovativi per convertitori SMPPT, che contribuiscano al conseguimento di soluzioni caratterizzate da migliori prestazioni (maggiore producibilità ed affidabilità) e dall'erogazione di servizi (presenza congiunta di funzionalità aggiuntive).

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Il mercato dei moduli fotovoltaici è attualmente dominato da prodotti realizzati con la consolidata tecnologia del silicio cristallino in cui la cella, generalmente realizzata a partire da un wafer di silicio di tipo p, è realizzata creando lo strato n (emitter) attraverso un processo di diffusione termica del fosforo, a temperature superiori a 800°C. La maggior parte dei moduli è attualmente prodotto in Asia, con la Cina che da sola ne realizza circa il 67%. Nella classifica mondiale dei produttori di moduli per l'anno 2015 i primi cinque posti sono occupati da produttori cinesi (Trina Solar, Canadian Solar, Jinko Solar, JA Solar, Hanwha-QCells) con capacità produttive annue al di sopra di 3GWp. Per quanto riguarda le caratteristiche dei principali prodotti disponibili, le efficienze dei moduli commerciali spaziano su un ampio intervallo che va da circa 12% a 21%, con moduli in silicio monocristallino che presentano efficienze comprese tra 14% e 21% e moduli policristallini nell'intervallo 12% - 18%. Sebbene questi dispositivi garantiscano elevata affidabilità nel tempo, le tecnologie di realizzazione siano largamente consolidate ed i volumi di produzione abbiano ridotto drasticamente il costo finale dei prodotti, è necessario introdurre nelle linee di produzione dei concetti innovativi che consentano di ottenere moduli FV con efficienze mediamente ben più elevate di quelle attuali. Questo avrebbe l'effetto immediato di ridurre il costo dell'energia prodotta, inoltre andrebbe nella direzione richiesta per realizzare il concetto di edifici a consumo energetico nullo. Infatti a causa delle ovvie limitazioni in termini di superfici disponibili per l'installazione di pannelli fotovoltaici, avere a disposizione prodotti più efficienti, che possano sfruttare al massimo le zone disponibili degli edifici, può incrementare il potenziale di energia producibile dal singolo edificio. In questo contesto quindi lo sviluppo di nuovi film sottili utilizzati in combinazione con celle ad alta efficienza in silicio cristallino è potenzialmente determinante per l'affermarsi di una innovativa tecnologia FV. Accanto poi allo sviluppo di celle innovative, lo sviluppo di tecnologie e soluzioni avanzate di componenti e sistema potrà consentire una riduzione dei costi dell'energia grazie all'incremento dell'efficienza sia di generazione che di gestione (produzione-consumo) dell'energia, favorendo l'utilizzo della tecnologia solare fotovoltaica in vari contesti (edifici residenziali, distretti energetici).

Per quanto riguarda lo stato dell'arte della tecnologia FV, le celle a eterogiunzioni a-Si/c-Si presentano il record mondiale di efficienza tra le tecnologie FV operanti a 1 sole. La Panasonic all'inizio del 2014 ha infatti ottenuto una cella da 144 cm² con efficienza pari a 25,6% su wafer di tipo n con entrambi i contatti realizzati sulla superficie non illuminata della cella. L'utilizzo dei wafer di tipo n garantisce una migliore qualità del materiale e quindi efficienze di conversione fotovoltaica anche superiori al 20% in produzione, tuttavia il silicio drogato di tipo p è ancora il più diffuso in ambito fotovoltaico ed ha raggiunto prezzi molto bassi (17 \$/Kg) dovuti essenzialmente ad un crescente volume di produzione, difficilmente raggiungibile dal silicio di tipo n in tempi ristretti. Sul silicio di tipo p le attuali efficienze delle celle fotovoltaiche al livello di produzione presentano valori inferiori al 18%. Una ricerca condotta sul miglioramento delle efficienze di eterogiunzioni su wafer di tipo p trova quindi una valida motivazione per l'impatto che questo tipo di struttura può avere in termini di produzione industriale. La ricerca in tale ambito deve lavorare sia all'ottimizzazione dei materiali utilizzati per realizzare l'intero dispositivo (film sottili di silicio, ossido trasparente e conduttore e contatti metallici), sia allo sviluppo di strategie di ottimizzazione dell'assorbimento della luce con l'intento di ridurre al massimo lo spessore dei wafer di silicio.

Per quanto riguarda lo sviluppo di film sottili policristallini di Cu₂ZnSnS₄ (CZTS), tale ricerca ha l'obiettivo di superare il problema della scarsa disponibilità di indio contenuto nei moduli in CIGS (Copper Indium-Gallium Selenide) attualmente in produzione che presentano efficienze superiori al 13%, mentre il record su celle di piccola area appartiene al Centre for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW) di Stoccarda che nel 2016 ha realizzato una cella con efficienza del 22,6%. Il CZTS ha infatti la stessa struttura cristallografica del CIS (CuInSe₂) con la differenza che l'indio è sostituito dalla coppia zinco-stagno ed il selenio è sostituito dallo zolfo: l'utilizzo dello zolfo porta ad un aumento della energia di gap da 1 eV a circa 1,5 eV. A livello di laboratorio l'efficienza massima delle celle in CZTS è pari al 9,4% ottenuto dalla Toyota Central R&D Labs nel 2015. Usando un materiale con una gap minore, ottenuto sostituendo parte dello zolfo con il selenio (Cu₂ZnSn(S,Se)₄ con E_g=1,12 eV), la IBM ha ottenuto nel 2013 un'efficienza del 12,6%. Recentemente, in vista dell'utilizzo del CZTS in celle tandem realizzate con una cella posteriore in silicio, è stato proposto di sviluppare film di CZTS con una parziale sostituzione dello stagno con il silicio per aumentarne la gap e per

renderlo quindi più adatto allo scopo: a tale ricerca è dedicato un progetto europeo H2020-RIA (SWING) coordinato dall'IMEC (Belgio).

La tecnologia basata su celle a base di alogenuri organometallici perovskitici ha pesantemente attratto l'interesse del mondo della ricerca FV. Le perovskiti sono materiali descritti dalla formula ABX_3 , dove X è un anione, mentre A e B sono cationi di differenti dimensioni. Nei materiali di maggior interesse attuale il catione A è costituito dal metilammonio ($CH_3NH_3^+$), quello B dal piombo (Pb) e l'anione X è un alogeno, generalmente iodio, sebbene bromo e cloro siano anche comunemente utilizzati. Quindi il composto archetipale è $CH_3NH_3PbI_3$, con un interesse rivolto anche agli alogenuri misti $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ e $CH_3NH_3PbI_{3-x}Br_x$. Nel corso del 2013 il gruppo di Gratzel (EPFL –Svizzera) e di Snaith (Università di Oxford) hanno mostrato efficienze superiori al 15%, utilizzando differenti architetture di cella e metodi di preparazione del materiale. Nel 2015 il gruppo del Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT) ha ottenuto un valore record certificato di efficienza sul dispositivo pari al 22,1% su un'area molto piccola (circa $0,05\text{ cm}^2$), mentre su un'area di circa 1 cm^2 è stato misurato un valore di efficienza del 19,7%, con una tensione di circuito aperto pari a 1,1 V. Gli alti valori di Voc ottenibili dalle celle a base di perovskite le rendono particolarmente interessanti in vista del loro utilizzo in celle tandem ad alta efficienza.

Per quanto riguarda lo stato dell'arte dei sistemi BoS (Balance of System), l'architettura prevalentemente utilizzata è quella ad inverter centralizzato costituita da array di generatori fotovoltaici connessi in parallelo. Tali array sono, poi, collegati all'inverter (convertitore DC-AC) che effettua sia l'inseguimento del punto di massima potenza, Maximum Power Point (MPP), sia la conversione DC-AC. La funzione di Maximum Power Point Tracking (MPPT) viene, in tal caso, effettuata sulla corrente e sulla tensione dell'intero impianto fotovoltaico. Ciò significa che la presenza di ombre, mismatching o malfunzionamenti, anche solo su un numero esiguo di moduli/generatori fotovoltaici, può incidere significativamente sul rendimento energetico dell'intero impianto. E' evidente allora che la configurazione "centralizzata" risulta vantaggiosa e massicciamente utilizzata per la sua semplicità e per i costi contenuti, ma, di contro, può risultare poco performante. Si è, quindi, passati negli ultimi anni a configurazioni di tipo distribuito che prevedono la presenza di un convertitore DC-DC dedicato (DMPPT - Distributed Maximum Power Point Tracking) ad ogni singolo pannello o a coppie di moduli. In tal caso, il dispositivo effettua "a bordo" del modulo fotovoltaico, istante per istante, la variazione dell'impedenza in modo da ottenere il massimo trasferimento di potenza al carico, all'inverter di impianto o ad un micro-inverter di modulo collocato a valle del pannello stesso. In letteratura sono state proposte diverse soluzioni topologiche di convertitori DC-DC, utilizzabili come "stadio di potenza" per sistemi DMPPT. Le soluzioni commerciali implementano prevalentemente topologie di tipo boost, buck-boost. Anche dal punto di vista delle strategie di controllo per l'inseguimento del MPP diversi sono gli algoritmi proposti in letteratura. In dettaglio, gli algoritmi "Perturba et Observa" e "Conduttanza Incrementale" rappresentano le soluzioni più promettenti e maggiormente utilizzate in ambito industriale per complessità, numero di sensori richiesti, velocità di convergenza, costo, efficienza e affidabilità. D'altra parte, la diffusione e l'impiego di controllori digitali negli ultimi anni hanno consentito di ridurre la complessità dei circuiti di controllo e di implementare varianti più accurate degli algoritmi MPPT.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

L'attività svolta nei precedenti piani triennali ha riguardato lo sviluppo di celle solari a film sottili inorganici a base di silicio e di film policristallini di Cu_2ZnSnS_4 (CZTS), lo sviluppo di celle fotovoltaiche organiche e nella precedente annualità è stata avviata una linea di ricerca sullo sviluppo di celle a base di perovskite. Nella scorsa annualità (PAR 2014), sulla base delle indicazioni definite dal Piano Operativo Annuale (POA) 2014 che ha indicato la necessità di sviluppare tecnologie FV in grado di incrementare in maniera significativa le attuali efficienze di conversione dei prodotti commerciali, mantenendo bassi i costi dei materiali e dei processi, si è deciso di focalizzare le attività relative allo sviluppo di celle FV a base di silicio sulla sola eterogiunzione a-Si/c-Si, in quanto ritenuta l'architettura più promettente per migliorare le prestazioni dei prodotti FV attuali nel breve/medio termine, di continuare lo sviluppo di celle a base di CZTS e di dare inizio ad un'attività sullo sviluppo di celle a base di alogenuri organometallici perovskitici. Si è deciso invece di

interrompere nell'ambito della ricerca di sistema elettrico lo sviluppo delle celle polimeriche e delle multigiunzioni a film sottile di silicio in quanto, sebbene ritenute entrambe di rilevante interesse nella ricerca mondiale sul fotovoltaico, non possono assicurare nel breve termine i richiesti incrementi in termini di prestazioni di dispositivo.

Nel seguito sono riportati i risultati principali ottenuti sulle diverse tematiche di ricerca.

Nell'ambito delle attività di ricerca svolte sulle celle solari a film sottile di silicio, portata avanti nelle prime due annualità del precedente triennio, sono stati sviluppati materiali innovativi e appropriate architetture di dispositivo per celle tandem micromorfe, realizzate cioè con una cella anteriore in silicio amorfo e una posteriore in silicio microcristallino, ottenendo dispositivi con efficienza massima pari a 11,6%. In particolare sono stati sviluppati film drogati a base di ossido di silicio sia di tipo p che di tipo n che hanno consentito di ridurre le perdite ottiche parassite in tali strati grazie alla maggiore trasparenza rispetto ai film di silicio drogato generalmente utilizzati nelle celle e di migliorare il light management nel dispositivo. E' stato, inoltre, studiato uno strato assorbitore innovativo ad alta gap di energia a base di ossido di silicio amorfo idrogenato che ha consentito di ottenere una tensione massima di circuito aperto superiore a 1 V in celle solari a singola giunzione p-i-n.

Per quanto riguarda le strategie per ottenere un efficace intrappolamento della radiazione solare nel dispositivo, sviluppate nell'ambito del silicio ma estendibili più in generale alle celle solari a film sottile, è stato messo a punto un modello numerico per la progettazione di riflettori posteriori per celle solari a film sottile di silicio, testandolo su celle realizzate su substrati nanostrutturati. Sono state, infine, indagate differenti tecniche, Aluminum Induced Texture, Reactive Ion Etching e attacco chimico, per realizzare vetri testurizzati su cui depositare film di ossido trasparente e conduttore (TCO) mediante sputtering o CVD. I trattamenti sono risultati promettenti al fine di sviluppare elettrodi frontali ad alta efficacia di scattering ottico da utilizzare come substrati nell'industria del fotovoltaico a film sottile.

La ricerca condotta sullo sviluppo di celle solari a eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer di tipo p svolta nell'intero triennio ha consentito di ottenere dispositivi caratterizzati da efficienza massima pari al 18% su area attiva. Tale risultato è stato ottenuto lavorando all'ottimizzazione del contatto frontale, dello strato a film sottile di silicio amorfo intrinseco utilizzato per passivare il wafer di silicio e dei layer drogati a film sottile di silicio. Per quanto riguarda il contatto frontale, sono state ottimizzate le proprietà del TCO e si è lavorato all'ottimizzazione del contatto TCO/Ag serigrafico. Per quel che concerne la passivazione della superficie del c-Si, è stato condotto uno studio sistematico delle proprietà passivanti di film sottili di silicio amorfo idrogenato depositati mediante PECVD/VHF PECVD in varie condizioni di processo. In alternativa allo strato intrinseco in silicio amorfo si è anche condotto uno studio preliminare sulla passivazione con il più trasparente ossido di silicio amorfo ottenuto in vari regimi di crescita. E' stato inoltre valutato l'effetto sul dispositivo dei layer drogati sia di tipo n che di tipo p, valutando film a base di silicio o di ossido di silicio depositati in fase amorfa o microcristallina.

Nell'ambito dello sviluppo di celle solari a film sottile di CZTS svolto nell'intero triennio, è stato messo a punto un processo di fabbricazione basato sul co-sputtering che ha consentito di ottenere dispositivi con efficienza massima di conversione pari al 6,4% su area attiva. Sono state esplorate diverse strade per aumentare l'efficienza dei dispositivi indagando l'influenza della stechiometria del CZTS e di vari parametri di processo sulle prestazioni finali delle celle solari. In questo modo sono stati individuati i problemi più importanti su cui concentrare le future sperimentazioni per migliorare l'efficienza delle celle. Sono stati anche condotti studi sullo sviluppo di tecniche di deposizione del CZTS da fase liquida, utilizzando opportune soluzioni o sospensioni. E' iniziato, infine, uno studio di materiali per celle solari tandem CZTS/c-Si. In particolare si è cercato di valutare quali materiali possano essere utilizzati per la costruzione della giunzione tunnel necessaria a connettere le due celle. Il lavoro, in fase preliminare, ha indagato alcune possibilità: il drogaggio di tipo p del CZTS, l'utilizzo di uno strato di MoO_3 o di uno strato di NiO.

Le attività di ricerca sulle celle fotovoltaiche organiche svolte nelle prime due annualità dell'accordo hanno avuto l'obiettivo di migliorare le prestazioni dei dispositivi, indagando la possibilità di ampliare lo spettro della radiazione solare efficacemente utilizzato dai dispositivi e migliorando il trasporto elettrico delle cariche. Per quanto riguarda il primo approccio sono stati sviluppati strati luminescenti in grado di convertire lunghezze d'onda a più alta energia, non efficientemente assorbite dal materiale attivo, in fotoni di energia compresa nell'intervallo spettrale di assorbimento delle celle organiche. Sono state sviluppate

differenti tipologie di materiali da applicare esternamente al cuore del dispositivo o come strati intermedi tra il contatto frontale e lo strato assorbitore della cella. Quest'ultima soluzione ha consentito di ottenere dispositivi sui quali è stata misurata un'efficienza di conversione superiore all'8%. Sono stati condotti, inoltre, studi sullo sviluppo di nanocompositi a base di copolimeri a blocchi nanostrutturati da utilizzare come matrice per l'infiltrazione selettiva di molecole organiche attive in modo da sfruttare al meglio le potenzialità dei materiali assorbitori.

Nella precedente annualità si è dato inizio ad una ricerca sullo sviluppo di nuovi materiali assorbitori a base di perovskiti. Sono state messe a punto le tecniche di preparazione del materiale ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) e sono stati sviluppati strati trasportatori di elettroni. Test preliminari di fabbricazione del dispositivo eseguiti utilizzando differenti architetture hanno consentito di ottenere efficienze pari al 6,5%.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale del programma è la messa a punto di tecnologie avanzate nel campo del fotovoltaico mediante:

- lo sviluppo di celle solari ad alta efficienza con struttura tandem, nelle quali cioè il dispositivo è ottenuto da due giunzioni collegate in serie ognuna delle quali assorbe una regione spettrale della radiazione solare. In particolare la cella posteriore sarà realizzata in silicio cristallino, mentre quella anteriore sarà ottenuta con un materiale innovativo ad alta gap;
- lo sviluppo di un prototipo di convertitore Smart Maximum Power Point Tracking (SMPPT) equipaggiato con dispositivi switching basati su materiali e tecnologie innovativi e dotato di funzionalità integrate a servizio dell'impianto fotovoltaico.

Descrizione dell'attività a termine

Lo sviluppo delle attività nell'arco della durata del programma e per le diverse linee è il seguente:

Celle solari tandem ad alta efficienza

- Messa a punto dei processi di deposizione dei film di perovskite ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) e kesterite ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ – CZTS) e sviluppo di celle a singola giunzione;
- Valutazione delle potenzialità delle tecniche di stampa per la realizzazione di film di perovskite;
- Ottimizzazione dei processi di deposizione dei film sottili di silicio intrinseco e drogato per migliorare il dispositivo a eterogiunzione a-Si/c-Si in termini di tensione di circuito aperto e fill factor. Sviluppo di film di ossido trasparente e conduttore innovativi caratterizzati da alta trasparenza, alta conducibilità e alta mobilità per migliorare la raccolta delle cariche fotogenerate.
- Sviluppo di processi di testurizzazione dei wafer di silicio per ottimizzare la quantità di radiazione solare assorbita nel dispositivo.
- Ottimizzazione delle prestazioni delle singole celle componenti della cella tandem, cella posteriore in silicio e cella anteriore a base di perovskite/kesterite.
- Valutazione dei differenti processi e materiali sviluppati e studio dei fenomeni di interfaccia al fine di definire l'architettura ottimale per la realizzazione di celle tandem in configurazione monolitica ad alta efficienza.
- Definizione dell'architettura di cella che tenga conto delle problematiche tecniche e dei potenziali benefici economici delle innovazioni proposte;
- Realizzazione di celle solari tandem in configurazione monolitica con efficienza superiore al 21%.

Convertitori SMPPT con dispositivi basati su materiali e tecnologie innovativi

- Studio e modellizzazione di dispositivi attivi basati su materiali e tecnologie innovativi per applicazioni in convertitori SMPPT;
- Sviluppo e validazione di modelli elettro-termici dei componenti elettronici utilizzati in convertitori SMPPT;
- Studio di metodologie di progettazione multi-obiettivo di convertitori SMPPT caratterizzati da alte prestazioni energetiche ed affidabilistiche;

- Sviluppo di una piattaforma informatica per la progettazione ottimizzata di convertitori SMPPT dotati di dispositivi attivi innovativi;
- Definizione dei processi tecnologici per la fabbricazione di dispositivi switching in SiC e realizzazione di un prototipo di MOSFET per convertitori SMPPT.

Prodotti significativi previsti alla fine del triennio

- ✓ Cella solare tandem in configurazione monolitica realizzata con una cella anteriore in perovskite o kesterite e una componente posteriore a eterogiunzione a-Si/c-Si con efficienza superiore al 21%.
- ✓ Prototipo di convertitore SMPPT con l'impiego di dispositivi attivi basati su materiali e tecnologie innovativi.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Le attività nel settore del fotovoltaico innovativo sono condotte da ENEA in coordinamento con RSE. ENEA si occupa dello sviluppo di celle ad alta efficienza in silicio cristallino e dello sviluppo di materiali avanzati per il fotovoltaico, quali CZTS e perovskiti ibride. Tali materiali sono utilizzati per la realizzazione di celle innovative a giunzione tandem, sviluppando opportune architetture di dispositivo.

L'attività di RSE è principalmente focalizzata sulla realizzazione di celle a multigiunzione basate sugli elementi dei gruppi III e V per l'utilizzo nei sistemi a concentrazione e sul monitoraggio delle prestazioni di impianti FV.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Lo sviluppo di tecnologie innovative nel settore FV può determinare un indubbio vantaggio agli utenti del sistema elettrico, in quanto tale sviluppo può contribuire alla riduzione dei costi dell'energia elettrica, offrendo garanzie in termini di sicurezza di fornitura della stessa energia e di rispetto dell'ambiente. Negli ultimi anni il successo del FV è stato principalmente sostenuto, in Italia così come in molte altre Nazioni del mondo, dagli incentivi economici definiti dai governanti che hanno consentito a molti di comprendere le potenzialità della tecnologia FV, guardando con fiducia ai prodotti presenti sul mercato. La costante riduzione dei costi osservata negli ultimi anni, dovuta principalmente all'incremento dei volumi di produzione, ha ormai avviato uno scenario di sostenibilità del fotovoltaico anche in assenza di incentivi, per la quale cosa è ancora più stringente innovare/migliorare ogni parte del sistema di generazione. E' necessario, quindi, portare avanti la ricerca su nuovi materiali e architetture di cella solare che possano essere utilizzati dall'industria nazionale del settore per produrre moduli FV caratterizzati da prestazioni di gran lunga migliori delle attuali. D'altra parte, la ricerca sui componenti d'impianto (BoS - Balance of System), in particolare sui convertitori SMPPT, anche con l'utilizzo di dispositivi attivi innovativi, può contribuire al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'intero sistema fotovoltaico, nonché favorire l'utilizzo e la diffusione dei generatori fotovoltaici con possibili ricadute sull'industria di riferimento. Pianificazione annuale delle attività.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

Le attività di ricerca previste per la presente annualità sono organizzate in tre linee principali. Nella prima linea di ricerca (linea a) sono descritte le attività sullo sviluppo di celle solari basate su materiali innovativi ad alta gap di energia da utilizzare come componenti frontali in celle tandem. La seconda linea di ricerca (linea b) avrà l'obiettivo di sviluppare celle solari a base di silicio ad alta efficienza da utilizzare come cella posteriore nel dispositivo tandem. Infine la terza linea (linea c) avrà l'obiettivo di sviluppare un tool di progettazione e nuovi dispositivi attivi per convertitori SMPPT.

a. Celle solari a base di film sottili innovativi di perovskiti e kesteriti

Le attività di ricerca hanno lo scopo di studiare film sottili a base di alogenuri organometallici perovskitici e film policristallini di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) da utilizzare come strati assorbitori di celle solari. L'attività sarà quindi articolata in tre subtask. Nei primi due subtask si svilupperanno celle a singola giunzione a base di perovskite (subtask a.1) e CZTS (subtask a.2), utilizzando differenti approcci nella preparazione dei materiali assorbitori e dei vari strati che compongono la cella. Il subtask a.3 avrà, invece, l'obiettivo di realizzare i primi prototipi di celle tandem mediante accoppiamento meccanico tra le due celle componenti e di avviare la valutazione della compatibilità dei vari materiali/processi che potenzialmente saranno utilizzati per la fabbricazione del dispositivo frontale con gli strati della cella sottostante realizzata in silicio.

a.1 Celle solari a singola giunzione a base di perovskite

Nella scorsa annualità sono stati messi a punto processi di preparazione da soluzione di strati assorbitori di perovskite a base di alogenuri di piombo ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$). Il processo utilizzato prevede la deposizione sul substrato di un film di ioduro di piombo (PbI_2) tramite *spin coating* e la successiva immersione (*dipping*) nel secondo precursore, ioduro di metilammonio ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$), che conduce alla formazione della perovskite ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$). In particolare si è prestata attenzione alla definizione di procedure che consentissero di realizzare materiali stabili nel tempo. Il lavoro avviato sarà ulteriormente approfondito con l'obiettivo di ottimizzare le proprietà del materiale ai fini della sua applicazione nel dispositivo. Il materiale sarà testato in dispositivi caratterizzati da differenti architetture. Saranno realizzate celle in cui il materiale assorbitore è a diretto contatto con l'elettrodo metallico, la cosiddetta architettura Hole Transport Material - free (HTM-free), e celle integranti uno strato trasportatore di lacune (tipicamente spiro-OMeTAD o P3HT) per migliorare la conduzione delle cariche fotogenerate nel dispositivo e quindi la sua efficienza. I due approcci sono di potenziale interesse in quanto, sebbene l'utilizzo di uno strato HTM consenta di ottenere dispositivi con efficienze maggiori, la natura organica degli strati HTM generalmente utilizzati può rendere il dispositivo stesso meno stabile.

I substrati su cui vengono realizzati i dispositivi sono costituiti da vetro ricoperto con uno strato di ossido di stagno drogato con fluoro (fluorine doped tin oxide, FTO) che costituisce l'elettrodo frontale. Su tali substrati viene depositato un materiale trasportatore di elettroni (ETM - electron transport material) generalmente realizzato da uno strato compatto di biossido di titanio (TiO_2), cosiddetto blocking, e da uno strato scaffolding di TiO_2 mesoporoso. Lo strato compatto di TiO_2 sarà inizialmente realizzato per Spray Pyrolysis, tecnica molto diffusa nei laboratori di ricerca del settore. Tale materiale tuttavia necessita di uno step di sinterizzazione a 500 °C per formare TiO_2 cristallino e questo preclude la possibilità di un suo utilizzo nel processo di fabbricazione di una cella tandem a base di perovskite e silicio in quanto le alte temperature potrebbero danneggiare la giunzione in silicio. Saranno quindi testati strati di TiO_2 depositati a bassa temperatura mediante tecnica sol-gel con l'obiettivo di ottenere un materiale che abbia struttura compatta ed un'adeguata trasparenza nel visibile. Sarà condotta un'attività di caratterizzazione per valutare le proprietà ottiche, morfo-strutturali e di interfaccia dei diversi film ottenuti e saranno messe a confronto le prestazioni dei dispositivi. Per quanto riguarda lo strato mesoporoso di TiO_2 , saranno variate le condizioni di preparazione di tale strato, valutando in particolare l'effetto del suo spessore sulle prestazioni del dispositivo. Altri studi saranno condotti sulla deposizione di differenti strati compatti e scaffolding a base, per esempio, di nanorod di ZnO, ossido di metallo con una mobilità di elettroni più elevata di quella del TiO_2 e quindi con buone possibilità di ottenere dispositivi competitivi una volta ottimizzato il processo di deposizione.

Inoltre sarà sperimentata la possibilità di utilizzare le tecniche di stampa per la deposizione dello strato attivo e dei materiali (trasportatori di elettroni e lacune) utilizzati per la realizzazione dell'intero dispositivo con l'obiettivo di valutare le potenzialità di tali tecniche per la realizzazione di celle a base di perovskite. Per la preparazione dei precursori della perovskite verranno utilizzati sia materiali commerciali che materiali di nuova sintesi, preparati mediante attivazione meccanica a secco e in umido. Sarà valutata anche l'opportunità di funzionalizzare le perovskiti con catene alifatiche al fine di aumentare la stabilità delle soluzioni colloidali. Per la preparazione degli inchiostri verranno selezionati solventi con proprietà chimico-fisiche compatibili con i sistemi di stampa presenti nei laboratori ENEA e definite le concentrazioni utili ad ottenere emissioni stabili e riproducibili nonché deposizioni di strati continui. L'uniformità dei film stampati verrà ottimizzata investigando l'effetto dei parametri di stampa e della bagnabilità del sistema inchiostro-

substrato che verrà modificata mediante l'applicazione di idonei trattamenti superficiali. Gli stati messi a punto per stampa saranno caratterizzati morfologicamente ed elettricamente e testati in celle fotovoltaiche.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di celle a base di perovskite con efficienza di almeno 15%. Rapporto tecnico sulle attività
- Rapporto tecnico sulle potenzialità di sviluppo di celle a base di perovskite con tecniche di stampa

Principali collaborazioni: Università di Tor Vergata (Dipartimento di Ingegneria Elettronica), Università "Federico II" di Napoli (Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale).

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Celle solari a singola giunzione a base di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS)

Nella presente annualità saranno portate a compimento tutta una serie di attività avviate nell'anno precedente. Innanzitutto si inizierà ad utilizzare il nuovo forno di solforizzazione finito di installare nel settembre 2015 che permetterà di regolare in maniera fine la pressione di vapore dello zolfo durante il processo. La partecipazione ad un workshop internazionale dedicato al CZTS ha permesso di constatare che i problemi di riproducibilità del materiale riscontrati nelle scorse annualità sono comuni alla maggioranza degli altri gruppi di ricerca e che probabilmente essi sono in gran parte connessi proprio allo scarso controllo del processo di solforizzazione.

Sempre per migliorare la riproducibilità, l'anno scorso sono stati modificati i target usati per il co-sputtering dei precursori. I nuovi precursori depositati da Cu-SnS-ZnS (che contengono una quantità sotto-stechiometrica di zolfo) sono più riproducibili come composizione chimica e non mostrano blistering. La crescita dei grani e l'efficienza dei dispositivi sono però meno buone di quelle ottenute con i vecchi campioni ottenuti usando precursori con contenuto di zolfo stechiometrico. Se questo problema non verrà risolto da una apposita ottimizzazione del processo di solforizzazione si dovrà ripristinare un alto contenuto di zolfo nei precursori, aggiungendo una sorgente per l'evaporazione dello zolfo nell'impianto di co-sputtering.

I meccanismi di crescita dei grani durante il processo di solforizzazione sono sicuramente connessi con dei fenomeni di diffusione dei vari elementi come evidenziato dalla solforizzazione di parte del molibdeno sul retro e a volte dalla segregazione di fasi spurie in superficie o di nuovo sul retro del film di CZTS. Il previsto arrivo in primavera dello strumento per la GDOES (Glow discharge Optical Emission Spectroscopy) potrà fornire un aiuto per la comprensione di questi fenomeni grazie alla possibilità di misurare i profili di concentrazione dei vari elementi lungo lo spessore del film.

Dalle simulazioni numeriche effettuate l'anno scorso è stato evidenziato che il tipo di buffer layer e la qualità dell'interfaccia buffer layer/CZTS sono al momento i punti più critici del dispositivo. Si continuerà perciò la collaborazione con l'Università di Milano Bicocca per lo studio di almeno un buffer alternativo al CdS.

Tramite la collaborazione con l'Università di Trento si continuerà anche l'ottimizzazione dei processi basati sull'utilizzo di sospensioni (inchiostri) di nanoparticelle di CZTS, cercando di migliorare sia la tecnica di preparazione dell'inchiostro che il successivo processo di solforizzazione.

Particolare attenzione verrà data al miglioramento della comprensione delle cause e degli effetti del disordine nel CZTS. Gli esperimenti basati su diversi trattamenti termici e sulla misura delle relative variazioni della gap verranno estesi per avere una stima dei tempi di raggiungimento dell'equilibrio alle diverse temperature e per capire l'influenza delle variazioni di stechiometria sulla gap stessa. Per l'interpretazione di questi dati si cercherà anche di sviluppare un modello matematico migliore di quelli attualmente disponibili in letteratura. Si estenderà inoltre lo studio dell'influenza del disordine sulle prestazioni dei dispositivi migliorando gli esperimenti già effettuati e cioè variando il livello di disordine nello strato di CZTS prima di completare la cella solare. Tutte queste attività verranno svolte in collaborazione con l'Università "Sapienza" di Roma.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di processi di deposizione del CZTS tramite co-sputtering e successiva solforizzazione; Analisi dei fenomeni connessi al disordine del CZTS e dei loro effetti sui dispositivi finali. Rapporto tecnico sulle attività

Principali collaborazioni: Università di Trento (Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e Tecnologie Industriali), Sapienza Università di Roma (Dipartimento di Fisica), Università di Milano-Bicocca (Dipartimento di Scienza dei Materiali)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.3 Sviluppo di architetture di dispositivo per celle tandem ad alta efficienza

Le attività hanno l'obiettivo di studiare le problematiche di realizzazione della cella tandem per poter definire la struttura dell'intero dispositivo. Si cercherà, ad esempio, di valutare la compatibilità dei vari materiali/processi in fase di studio per la realizzazione della componente frontale della cella tandem con la cella posteriore a base di silicio. Proseguirà, inoltre, lo studio dell'ossido di nickel avviato nella scorsa annualità per caratterizzare meglio le sue proprietà intrinseche (gap, conducibilità, work function etc.) e le caratteristiche delle giunzioni NiO/c-Si in vista del suo possibile utilizzo per la realizzazione della giunzione tunnel necessaria a connettere la cella top in perovskite o kesterite con quella bottom in c-Si.

Sulla base del *know-how* avanzato già disponibile in fase di avvio del progetto sullo sviluppo di celle a base di perovskite ad alta efficienza, grazie alla collaborazione con l'Università di Tor Vergata, la linea di attività sulle celle tandem si focalizzerà nella presente annualità sulla realizzazione di primi prototipi di cella solare perovskite/Si. Una prima fase di attività prevederà la realizzazione di un dispositivo a doppia giunzione mediante accoppiamento meccanico tra le due celle componenti la struttura tandem. In particolare si utilizzeranno degli opportuni strati di ITO realizzato via sputtering per ottenere il contatto elettrico posteriore della cella in perovskite ed il contatto frontale della cella ad eterogiunzione di silicio. Le due celle verranno quindi connesse mediante i due strati di ITO facendo in modo che il contatto fra le due celle sia di tipo ohmico. Parallelamente alla realizzazione dei primi prototipi di cella tandem perovskite/Si si avvierà lo sviluppo di un processo di realizzazione della cella a base di perovskite facilmente integrabile con gli strati sottostanti. In tal modo sarà possibile realizzare l'intero dispositivo tandem in configurazione monolitica, depositando, cioè, direttamente la cella a base di perovskite sulla cella posteriore costituita da una eterogiunzione in silicio. Innanzitutto si lavorerà alla messa a punto di un dispositivo planare, utilizzando cioè il solo blocking layer in TiO_2 , in quanto questa tipologia di dispositivo è più idonea all'implementazione in strutture tandem. A tale scopo verranno preparati film di $CH_3NH_3PbI_3$ a partire da *vapor assisted solution process*, essendo tale metodo particolarmente adatto alle strutture planari in quanto la conversione in perovskite a partire dai due precursori (PbI_2 e CH_3NH_3I) avviene in modo compatto ed omogeneo.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di celle solari tandem perovskite/c-Si. Rapporto tecnico sulle attività

Principali collaborazioni: Università di Tor Vergata (Dipartimento di Ingegneria Elettronica)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Celle solari ad eterogiunzione a-Si/c-Si

Le attività relative allo sviluppo di dispositivi ad eterogiunzione di silicio da utilizzare come componente posteriore di una cella solare tandem è organizzata in due subtask. Il subtask b.1 avrà lo scopo di ottimizzare ulteriormente i processi di deposizione dei film sottili di silicio utilizzati nella giunzione e di realizzare celle solari su wafer testurizzati. Lo sviluppo di TCO alternativi a quelli attualmente utilizzati e di opportune morfologie superficiali del wafer con l'obiettivo di ottimizzare il guadagno ottico nelle celle sarà invece l'obiettivo del subtask b.2.

b.1 Ottimizzazione degli strati sottili di silicio e trasferimento dei processi su wafer testurizzati

Nella scorsa annualità è stata svolta un'attività mirata ad ottimizzare il processo di fabbricazione di celle ad eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer di tipo p flat. Tale attività ha consentito di ottenere in maniera stabile e

riproducibile tensioni di circuito aperto di circa 700 mV per varie celle e di misurare un'efficienza massima pari al 18%. Questi risultati sono stati ottenuti grazie soprattutto all'approfondito lavoro svolto sulla parte del processo di fabbricazione della cella che richiede la deposizione di film sottili di silicio con tecnica PECVD. In particolare è stata valutata l'influenza dei film sottili di silicio sia di tipo intrinseco che drogato sulle prestazioni delle stesse celle. È opportuno, infatti, ricordare che il processo di realizzazione di un dispositivo ad eterogiunzione richiede la deposizione di uno strato molto sottile (5 nm) di silicio amorfo intrinseco (a-Si:H) su entrambe le superfici del wafer allo scopo di saturare i difetti presenti su tale superficie, passivando così il wafer, e la successiva deposizione degli strati di silicio drogati necessari alla formazione della giunzione p/n e del *back surface field*. L'ottimizzazione del processo di passivazione non può essere fatta considerando il solo step di deposizione dello strato intrinseco in quanto gli studi condotti nelle scorse annualità hanno evidenziato come gli strati drogati possono modificare la qualità della passivazione stessa del wafer. Le attività previste per la presente annualità avranno quindi come primo obiettivo quello di incrementare ulteriormente le prestazioni delle celle su wafer flat, mirando a tensioni di circuito aperto superiori ai 700 mV e FF maggiori di 70%, mediante un ulteriore approfondimento di tali studi. Verranno condotti esperimenti di crescita degli strati buffer passivanti di silicio amorfo in condizione di forte diluizione di idrogeno, operando eventuali processi di pre-idrogenazione della superficie del silicio mediante plasma di idrogeno al fine di aumentare la qualità di passivazione della superficie del silicio cristallino. Saranno depositati film sottili di silicio e di ossido di silicio caratterizzati da una struttura amorfa o microcristallina sia di tipo n che di tipo p e sarà valutata innanzitutto l'influenza che i processi di deposizione di tali strati possono avere sulla passivazione. In particolare la deposizione di materiali a struttura microcristallina, richiedendo l'utilizzo di miscele gassose molto ricche di idrogeno, potrebbe avere una rilevante influenza sulla qualità della passivazione: si potrebbe cioè realizzare una sorta di processo di post-idrogenazione dello strato intrinseco sottostante che andrebbe ad agire positivamente sulla passivazione del wafer. Ovviamente però, a parte l'effetto che il processo di deposizione degli strati drogati può avere sulla passivazione, l'ottimizzazione di tali strati deve considerare l'influenza che le loro proprietà ottiche ed elettriche hanno sulle prestazioni dei dispositivi. Tali strati sono infatti determinanti al fine di ottimizzare l'allineamento delle bande di energia alle varie interfacce e il trasporto delle cariche fotogenerate verso i contatti metallici. Saranno testati materiali drogati caratterizzati da differenti valori di conducibilità, energia di attivazione e gap ottica e sarà valutata l'influenza che questi parametri hanno in particolare sulla tensione di circuito aperto e sul fill factor delle celle.

Parallelamente all'attività sulla configurazione di tipo flat che mira ad individuare gli step necessari per l'incremento di Voc e FF, si procederà alla realizzazione di dispositivi su wafer testurizzati mediante processi di attacco chimico (processi che, già sviluppati nelle scorse annualità, verranno ottimizzati nel corso di quest'anno). Il passaggio ai wafer testurizzati consentirà di ridurre le perdite ottiche e quindi incrementare la densità di corrente ottenibile dal dispositivo. Le attività potranno evidenziare eventuali criticità nella fase di trasferimento dei processi ottimizzati nel caso flat, e avranno quindi l'obiettivo di valutare le opportune modifiche di processo laddove necessario. Le criticità potrebbero ad esempio essere legate ai ridotti spessori di film di silicio utilizzati che potrebbero generare crescite non conformali sul wafer o variazioni in termini di proprietà degli stessi film. Questa attività è anche propedeutica per quelle del subtask b.2 dove verranno proposte delle modalità differenti di trattamento dei wafer (processo dry) e degli approcci alternativi al confinamento ottico rispetto a quelle ottenibile con testurizzazioni superficiali random.

Infine saranno sperimentati processi di metallizzazione delle griglie di raccolta frontale e posteriore mediante tecniche di plating localizzato di nichel e rame su TCO utilizzando la tecnologia innovativa del dynamic liquid meniscus (DLM). Questa sperimentazione è necessaria al fine di ridurre il costo di fabbricazione delle celle fotovoltaiche a base di silicio in cui le metallizzazioni in argento risultano essere un elemento di costo elevato.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di celle solari ad eterogiunzione a-Si/c-Si caratterizzate da FF superiori al 73% e tensioni di circuito aperto maggiori di 700 mV
- Rapporto tecnico sullo sviluppo di processi di metallizzazione delle griglie di raccolta frontale e posteriore mediante tecniche di plating localizzato

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni - Prof. G. De Cesare), Università Sapienza di Roma (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni - Prof. M. Balucani).

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.2 Ottimizzazione del guadagno ottico in celle ad eterogiunzione di silicio: texturing del silicio e sviluppo di TCO ad alta mobilità

La ricerca si propone di ottimizzare il guadagno ottico nelle celle solari, e quindi la corrente da esse ottenibile, lavorando sui seguenti due aspetti: 1) qualità dello strato antiriflettente e conduttore che copre il dispositivo, costituito da un ossido trasparente e conduttivo (TCO); 2) procedure di trattamento della superficie del silicio cristallino finalizzate all'abbattimento della frazione di luce riflessa e al simultaneo incremento del cammino ottico, con particolare attenzione alla messa a punto di un processo che non danneggi la qualità elettronica del materiale di partenza.

1) Le celle ad eterogiunzione a-Si/c-Si, come tutte le celle ad emettitore resistivo, richiedono l'uso di uno strato di TCO sul lato frontale per garantire una efficace conduzione laterale dei portatori di carica generati nella cella. Il TCO, quindi, svolge la duplice funzione sia di contatto elettrico (trasporto delle cariche fino alla griglia di raccolta metallica) che di strato antiriflesso (opportuno matching degli indici di rifrazione tra aria e wafer di silicio accoppiato, possibilmente, con ottimizzazione del picco minimo interferenziale). Le proprietà elettriche ed ottiche del TCO sono determinanti al fine di ottenere dispositivi ad alta efficienza. In particolare, i film TCO devono essere caratterizzati da alta trasparenza e buona conducibilità. Queste proprietà, potenzialmente in conflitto, devono essere attentamente bilanciate: l'ottimizzazione del TCO consiste nel trovare il miglior compromesso tra strati altamente conduttivi ed altamente trasparenti. Inoltre, poiché il TCO deve garantire un buon contatto con lo strato sottile di silicio sottostante, un altro parametro che va attentamente ottimizzato è il valore della work function del TCO affinché ci sia un corretto allineamento delle bande di energia: tale valore deve essere ottimizzato in considerazione dello strato drogato con il quale il TCO è a contatto.

Poiché la potenza persa per riscaldamento Joule durante la conduzione dei portatori attraverso il TCO fino alla griglia è proporzionale alla sheet resistance (R_{sh}) del TCO, per ridurre al minimo le perdite di potenza elettrica la R_{sh} del TCO deve essere mantenuta a valori molto bassi. Ci sono tre parametri con cui la R_{sh} del film può essere aggiustata: spessore, densità e mobilità dei portatori. Lo spessore del TCO generalmente è fissato a circa 80 nm in quanto per tale spessore si ottiene il minimo di riflettanza posizionato in modo ottimale ad una lunghezza d'onda prossima a 600 nm. La densità elettronica può essere cambiata variando il drogaggio. Tuttavia, un aumento del drogaggio determina un aumento dell'assorbimento da elettroni liberi (FCA) e, a fronte di un TCO più conduttivo, esso diviene meno trasparente. Quindi, l'unico modo di abbassare la R_{sh} senza compromessi controproducenti consiste nell'aggiustare la mobilità dei portatori, che in pratica è il parametro più difficile da controllare. Da qui la necessità di sviluppare TCO a più alta mobilità ($\mu > 120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) rispetto a quelli attualmente utilizzati (ITO, ZnO:Al).

Una prima parte di attività sarà focalizzata sulla deposizione ed ottimizzazione di film di ZnO:B depositato per MOCVD con caratteristiche idonee all'uso in celle. Il BZO, già studiato nelle scorse annualità sulle tematiche di sviluppo di celle a film sottile di silicio, è caratterizzato da una elevata rugosità superficiale e da buoni valori di mobilità dei portatori ($\mu > 45 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) rispetto ad altri TCO convenzionali. Sarà, quindi, condotta un'attività di ottimizzazione delle proprietà ottiche ed elettriche dei film, con particolare cura nella scelta dello spessore e del drogaggio, con l'obiettivo di mantenere sufficientemente basso l'assorbimento FCA, una buona conducibilità ed un'adeguata testurizzazione. L'obiettivo principale sarà quello di valutare sia il comportamento antiriflesso del BZO rispetto ad altri TCO attualmente in uso che l'effetto della microrugosità superficiale dello ZnO per CVD sulla corrente fotogenerata nel dispositivo.

Contemporaneamente sarà avviata un'attività per la messa a punto di TCO a più alta mobilità che prevede l'utilizzo di film a base di ossido di indio opportunamente drogati con materiali quali Ti, Mo, ZnO, H. Sarà quindi condotto uno studio preliminare per definire il tipo di drogante idoneo ed, in particolare, le temperature necessarie ad ottenere alta mobilità, temperature che siano, tuttavia,

compatibili con i dispositivi ad eterogiunzione a-Si/c-Si. La fase successiva sarà l'adeguamento dell'impianto di sputtering MRC per la deposizione dei layer di TCO, sia attraverso l'acquisizione di target ceramici opportuni, che attraverso la realizzazione di opportune linee di distribuzione di gas e vapori necessari per ottenere un materiale di adatte proprietà elettriche.

Inoltre sarà valutata la possibilità di utilizzare film di grafene ad elevata conducibilità per il trasporto delle cariche elettriche fotogenerate fino agli elettrodi. Saranno sperimentate le tecniche di trasferimento del film di grafene sulle strutture di cella ad eterogiunzione e successivamente verranno determinate le caratteristiche fotovoltaiche delle celle confrontandole con quelle di celle realizzate con TCO convenzionale. In tal modo sarà possibile valutare gli effetti del grafene e della tecnologia ad esso relativa direttamente sui dispositivi fotovoltaici.

- 2) La testurizzazione della superficie del wafer di silicio consente di ridurre le perdite per riflessione della radiazione solare e di incrementarne il cammino ottico nel dispositivo. Il texturing, normalmente, è realizzato attraverso attacchi chimici delle superfici (100) del c-Si utilizzando soluzioni alcaline, che producono una superficie costituita da piramidi random. Sebbene sia riportato un efficace abbattimento della riflettanza fino a valori del 10%, il processo presenta, tuttavia, numerose problematiche quali: i) la contaminazione delle superfici con sostanze organiche e metalliche (che richiedono successivi processi di pulizia); ii) l'uso di grandi quantità di sostanze chimiche e di acqua DI ed IPA; iii) il texturing simmetrico sulle due facce del wafer che, con l'uso sempre più diffuso di wafer sottili, potrebbe non garantire più il miglior confinamento ottico. Recentemente l'attenzione si è focalizzata sui processi di dry texturing condotti mediante Reactive Ion Etching (RIE) ottenendo risultati incoraggianti. È noto che i radicali del fluoro attaccano facilmente il silicio e l'aggiunta di ossigeno al fluoro migliora il texturing con l'ottenimento di piramidi normali o invertite. L'ottimizzazione e lo sviluppo di processi RIE rappresenterebbe un vantaggio sia in termini economici che ambientali nel processo di texturing del silicio, senza l'uso di processi costosi e talvolta molto lunghi e con ridotte quantità di rifiuti da smaltire. Inoltre, esso consente di trattare un solo lato per volta del substrato, con la possibilità di diversificare il grado di testurizzazione sui due lati del wafer. Le attività che verranno condotte prevedono lo sviluppo di processi di dry etching per la testurizzazione del c-Si mediante un processo RIE che utilizza miscele di gas fluorurati a base di carbonio (CF₄) o zolfo (SF₆), e con l'obiettivo futuro di sperimentare anche l'NF₃ che dovrebbe dar luogo a minori contaminazioni superficiali. Ci si propone di analizzare l'effetto combinato della potenza RF del plasma, della pressione e dei rapporti composizionali delle miscele gassose utilizzate. Le superfici saranno caratterizzate per valutare sia le proprietà di scattering che l'assenza di danneggiamento delle proprietà elettroniche del silicio. Il trattamento RIE verrà testato anche su wafer già attaccati mediante wet etching per valutare l'effetto di cleaning del processo RIE sulle superfici. L'obiettivo a lungo termine è di ottenere substrati di silicio testurizzati con riflettanza inferiore al 7%.

Infine nella prospettiva di riduzione dello spessore dei wafer di silicio a valori inferiori a 100 µm secondo i trend attuali dettati dalla necessità di abbattere i costi di produzione, saranno valutati degli approcci alternativi alla testurizzazione random per sopperire efficacemente all'incompleto assorbimento della luce. In particolare mediante studi teorico/numerici saranno progettate delle opportune nanostrutturazioni delle due superfici del wafer che massimizzino il light trapping nella cella solare. Le strutture progettate saranno poi testate sperimentalmente.

Risultati/Deliverable:

- Ottimizzazione del guadagno ottico in celle ad eterogiunzione di silicio mediante sviluppo di TCO e metodi di texturing innovativi. Rapporto tecnico sulle attività
- Progettazione e realizzazione di nanostrutturazioni su wafer di silicio per implementare strategie di intrappolamento della luce solare. Rapporto tecnico

Principali collaborazioni: Università del Sannio (Dipartimento di Ingegneria), Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa (Istituto di Tecnologia della Comunicazione dell'Informazione e della Percezione), Politecnico di Bari (Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Sviluppo di tool di progettazione e studio di dispositivi attivi innovativi per convertitori SMPPT

Le attività previste hanno la finalità di sviluppare algoritmi multi-obiettivo per la progettazione ottimizzata di convertitori SMPPT idonei a garantire alti indici prestazionali. Le metodologie adottate dovranno, a partire dall'identificazione dei componenti elettronici commerciali e non (induttori, condensatori, elementi switching), individuare le possibili soluzioni in grado di assicurare elevate prestazioni (energetiche, affidabilistiche ed economiche) nelle diverse condizioni operative.

L'obiettivo è quello di mettere a punto metodologie e tool per la progettazione di convertitori SMPPT caratterizzati da: soluzioni tecnologiche per una migliore risposta agli stress termici ed elettrici; elevato rendimento energetico nelle diverse condizioni operative (irraggiamento, temperatura, ombreggiamento, etc.); buona affidabilità, in termini di Mean Time Between Failure (MTBF); minore ingombro; presenza congiunta di funzionalità aggiuntive a bordo convertitore (matrix reconfiguration, diagnostica, sistemi di allarme, etc.).

Si intende porre particolare attenzione all'aspetto affidabilistico del convertitore, analizzando opportune soluzioni tecniche-tecnologiche in grado di limitare la mancata produzione causata da malfunzionamenti e/o guasti permanenti dello stesso, con conseguenti vantaggi in termini di maggiore produzione e minori costi legati ad interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Inoltre, sarà investigato il comportamento termico del dispositivo al fine di individuare soluzioni migliorative rispetto alle attuali, per aumentare la resistenza del convertitore allo stress termico al quale viene sottoposto in condizioni operative continuamente variabili, assicurandone la continuità del servizio e senza comprometterne il corretto funzionamento.

Sarà, inoltre, avviato lo studio di dispositivi switching per convertitori SMPPT basati su materiali e tecnologie innovativi orientati a migliorare alcuni parametri funzionali del dispositivo, quali ad esempio resistenza drain-source e carica di gate, per la riduzione delle perdite.

L'approccio sopra descritto mira a favorire il raggiungimento di migliori prestazioni dei moduli/sistemi fotovoltaici rispetto a quelli attuali con una maggiore producibilità di impianto (stimabile nell'ordine del 10-20% all'anno come confermato da studi di letteratura) con conseguente vantaggio economico per l'utente finale.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico su metodologie di progettazione multi-obiettivo di convertitori SMPPT ed implementazione del relativo tool
- Rapporto tecnico sullo studio di dispositivi attivi per convertitori SMPPT basati su materiali e tecnologie innovativi

Principali collaborazioni: Università Mediterranea di Reggio Calabria

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

Durante lo svolgimento delle attività sarà data massima attenzione alla diffusione dei risultati aggiornando sul sito web dedicato i principali risultati conseguiti. Tali risultati saranno presentati nei più importanti convegni nazionali e conferenze internazionali del settore e saranno poi resi pubblici attraverso la pubblicazione su riviste scientifiche. L'ENEA e l'Università di Tor Vergata saranno coinvolti anche nell'organizzazione dell'International School on Hybrid and Organic Photovoltaics (ISOPHOS) (settembre 2016 - Castiglione della Pescaia) che sarà rivolta a ricercatori, dottorandi e post Doc con lo scopo di diffondere la conoscenza scientifica sulla tecnologia fotovoltaica di nuova generazione.

Infine sarà garantita la partecipazione italiana all'Implementing Agreement "Photovoltaic Power System" dell'IEA in modo da rendere disponibili e pubblici i risultati degli studi condotti in questo ambito.

Risultati/Deliverable:

- Pubblicazioni dei risultati su riviste scientifiche e in proceeding di conferenza. Partecipazioni a conferenze, convegni e meeting della IEA. Aggiornamento del sito web con i principali risultati

conseguiti.

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a	Celle solari a base di film sottili innovativi di perovskiti e kesteriti													
	<i>a.1 Sviluppo di celle a singola giunzione a base di perovskite</i>													
	<i>a.2 Celle solari a singola giunzione a base di Cu_2ZnSnS_4 (CZTS)</i>													
	<i>a.3 Sviluppo di architetture di dispositivo per celle tandem ad alta efficienza</i>													
b	Celle solari ad eterogiunzione a-Si/c-Si													
	<i>b.1 Ottimizzazione degli strati sottili di silicio e trasferimento dei processi su wafer testurizzati</i>													
	<i>b.2 Ottimizzazione del guadagno ottico in celle ad eterogiunzione di silicio: texturing del silicio e sviluppo di TCO ad alta mobilità</i>													
c	Sviluppo di tool di progettazione e studio di dispositivi attivi innovativi per convertitori SMPPT													
d	Comunicazione e diffusione dei risultati													

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Celle solari a base di film sottili innovativi di perovskiti e kesteriti									
	<i>a.1 Sviluppo di celle a singola giunzione a base di perovskite</i>	6000	209	125	24	43	0	2	95	498
	<i>a.2 Celle solari a singola giunzione a base di Cu₂ZnSnS₄ (CZTS)</i>	5800	202	121	34	28	0	1	100	486
	<i>a.3 Sviluppo di architetture di dispositivo per celle tandem ad alta efficienza</i>	3500	122	73	6	18	0	1	50	270
	<i>Subtotale Ob. a</i>	15300	533	319	64	89	0	4	245	1254
b	Celle solari ad eterogiunzione a-Si/c-Si									
	<i>b.1 Ottimizzazione degli strati sottili di silicio e trasferimento dei processi su wafer testurizzati</i>	5900	205	123	34	32	0	3	80	477
	<i>b.2 Ottimizzazione del guadagno ottico in celle ad eterogiunzione di silicio: texturing del silicio e sviluppo di TCO ad alta mobilità</i>	5000	174	105	25	43	0	2	135	484
	<i>Subtotale Ob. b</i>	10900	379	228	59	75	0	5	215	961
c	Sviluppo di tool di progettazione e studio di dispositivi attivi innovativi per convertitori SMPPT	4700	163	98	1	16	0	2	40	320
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	1000	35	21	0	5	0	4	0	65
	TOTALE	31900	1110	666	124	185	0	15	500	2600

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento; include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri pari a 34,8 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
b.1	Generatore ad alta frequenza.	16.821,00	3.364,20	Deposizione strati passivanti per celle a eterogiunzione.
b.1	Pompa turbo molecolare con controllore	7.923,90	1.584,78	Fabbricazione di dispositivi in regimi particolarmente polverosi che comportano rotture frequenti delle pompe stesse.
a1/a.3/b.1	Sistema per la misura della risposta spettrale	72.600,00	14.520,00	Caratterizzazione celle solari.
a.1/a.3	Acquisto UV ozon cleaner	20.570,00	4.114,00	Sistema per il trattamento dei substrati.
b.2	Forno "rapid thermal annealing"	60.878,00	12.175,60	Trattamento termico nel processo di testurizzazione.
b.1	Spettrofotometro FTIR	48.787,00	9.757,40	Caratterizzazione della microstruttura strati passivanti
b.2	Chiller per sistema di deposizione	6.039,00	1.207,80	Sistema di raffreddamento per impianto di deposizione
a.1	Chiller per sistema di deposizione	7.539,00	1.500,00	Sistema di raffreddamento per impianto di deposizione
a.1	Glove box per caratterizzazione celle	39.967,00	7.993,44	Caratterizzazione in glove box dei dispositivi
b.1	Fotoluminescenza	48.312,00	9.662,40	Analisi dispositivi e materiali
a.2	Forno di solforizzazione	46.360,00	9.272,00	Realizzazione celle in CZTS
b.2	Sistema di acquisizione immagini SEM	8.543,66	1.708,73	Analisi delle morfologie superficiali dei substrati
b.2	Implementazione sistema RIE	14.640,00	2.928,00	Trattamenti di testurizzazione wafer
a.2	Modifiche impianto di sputtering e adeguamento sistema di controllo	72.712,00	14.542,40	Implementazione di un catodo per deposizione ITO o metallo e aggiunta di una camera di caricamento
b.1	Stufa da vuoto per trattamenti termici	5.160,60	1.032,12	Trattamenti termici delle celle a eterogiunzione
b.2	Banco ottico ed accessori	8.000,00	1.626,50	Caratterizzazione ottica dei substrati testurizzati
b	Scanning Kelvin Probe systems	70.000,00	8.000,00	Misura della funzione di lavoro di film sottili
a.1	Spinner	7.000,00	1.400,00	Deposizione perovskite
a.2	Spettrometro per la "GDOS"	145.000,00	10.000,00	Studio della composizione chimica dei film di CZTS
a.1	Spettrofotometro UV	7.930,00	1.000,00	Caratterizzazione dei materiali
c.1	Centrifuga da banco	6.000,00	500,00	Preparazione di materiali
b.1	Pompa Turbomolecolare	5.000,00	400,00	Realizzazione celle in silicio
a.2/b	Due pompe da vuoto monofase	12.000,00	100,00	Impianti di sputtering per realizzazione celle

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili; in grassetto l'attrezzatura acquisita nelle precedenti annualità

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a/b	Acquisto gas	10.000
b.2	Punte AFM	5.000
a.3/b	Acquisto wafer	15.000
a-b	Materiale per impianti di deposizione (raccordi da vuoto, valvole, tubi elettropuliti, tubi in plastica, cristalli di quarzo per evaporatori, suscettori di grafite per forno, kit per pompe da vuoto, sensore di pressione etc)	24.000
a.2/a.3/b	Target di sputtering	12.000.
a.1-b	Filtri per acqua deionizzata e vasca ultrasuoni	5.000
d	Implementing agreement "Photovoltaic power systems"	4.500
b.2	Resistenze per impianto MOCVD	5.000

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a/b	Metalli preziosi per evaporazione e pasta d'argento per contatti metallici	8.500
a/b/c/d	Iscrizioni a Conferenze	10.000
c	Materiale elettronico ed informatico	10.000.
a.1	"interaction chambers" per Microfluidizer per la realizzazione di inchiostri	6.000
a.1	Giare e sfere di macinazione per mulini ad alta energia	3.000
a.1/b	Solventi chimici, precursori per perovskite e altri materiali, teste di stampa e materiale per lavorazioni chimiche	25.000.
a/b	Substrati per deposizione film e dispositivi	15.000.
a/b/c	Acquisto attrezzature e materiali per lavorazioni meccaniche	10.000
c	Licenza Software	3.000
a/b	Materiali di consumo per misure di caratterizzazione (XPS, Raman, Spettrofotometro, monocromatore, etc.)	14.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Non sono previsti costi per tale voce.

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1 a.3	<p>Università di Tor Vergata – Dipartimento di Ingegneria Elettronica Sviluppo di celle ad alta efficienza a base di perovskite per celle tandem perovskite/c-Si <i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università di Tor Vergata guidato dal Prof. Aldo Di Carlo è leader a livello nazionale ed internazionale sullo sviluppo di celle a base di perovskiti e possiede rilevanti attrezzature anche per effettuare scale-up su larga area. Pertanto è da considerarsi scelta unica per la tematica, come può essere evinto anche dalla qualità e quantità di pubblicazioni.</p>	100
a.1	<p>Università di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale Sviluppo di film compatti di TiO₂ mediante tecnica sol-gel <i>Motivazioni della scelta:</i> La scelta è motivata dalla consolidata e pluridecennale esperienza del Dipartimento di Ingegneria Chimica nel campo della sintesi e della caratterizzazione strutturale di materiali innovativi inorganici con tecniche a basso costo.</p>	45
a.2	<p>Università Sapienza di Roma - Dipartimento di Fisica Caratterizzazione ottica di film sottili per dispositivi fotovoltaici basati su CZTS <i>Motivazioni della scelta:</i> Le competenze del gruppo nell'uso della fotoluminescenza per la determinazione delle proprietà ottiche ed elettroniche dei semiconduttori sono praticamente uniche nel panorama nazionale e di assoluto rilievo a livello internazionale, come facilmente verificabile dalla qualità e quantità delle pubblicazioni prodotte.</p>	35
a.2	<p>Università di Trento - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica Crescita e caratterizzazione chimica, morfologica e strutturale di film sottili per celle fotovoltaiche a base di CZTS. <i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo del Prof. Scardi lavora da anni sulle tecniche di diffrattometria per la caratterizzazione della microstruttura, della tessitura e degli stress residui in materiali sia metallici che ceramici, anche in forma di film sottili. Si è occupato sia dello sviluppo di software per la modellazione degli spettri che dell'uso di sorgenti non convenzionali (radiazione di sincrotrone, neutroni) collaborando alla progettazione e realizzazione della nuova beamline (MCX) per la diffrazione dei raggi X da film sottili, rivestimenti e materiali policristallini, presso il sincrotrone italiano (ELETTRA, Trieste). Recentemente il gruppo si è anche dedicato allo sviluppo di tecniche di deposizione dei film sottili sia con metodi fisici (PVD) che chimici (CBD, sol-gel, spin-coating). L'insieme di queste competenze è praticamente unico nel panorama nazionale e di assoluto rilievo a livello internazionale, come facilmente verificabile dalla qualità e quantità delle pubblicazioni prodotte.</p>	40
a.2	<p>Università di Milano Bicocca – Dipartimento di Scienza dei Materiali Sviluppo di strati buffer per celle a base di CZTS <i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo è l'unico in Italia ad occuparsi di celle solari a base di CIS e CZTS e in generale vanta una lunga esperienza di ricerca in ambito fotovoltaico su differenti tecnologie come verificabile dalla produzione scientifica del gruppo. L'insieme delle competenze è pertanto unica nel panorama universitario italiano.</p>	25

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
b.1	<p>Università Sapienza di Roma - Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione Elettronica e Telecomunicazioni Studio dei processi di passivazione dei wafer di silicio</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il gruppo ha una esperienza pluriennale documentata da pubblicazioni e partecipazione a progetti di ricerca anche di livello europeo su materiali e sulle le tecnologie del film sottile per le eterogiunzioni silicio amorfo/silicio cristallino tale da rendere unico il suo contributo sulle tematiche specifiche, argomento del suo coinvolgimento.</p>	45
b.1	<p>Università Sapienza di Roma - Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione Elettronica e Telecomunicazioni Sviluppo di processi di metallizzazione delle griglie di raccolta frontale e posteriore mediante tecniche di plating localizzato</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo del Prof. Marco Balucani negli ultimi anni ha messo a punto una tecnologia innovativa, unica nel settore, per la realizzazione di metallizzazioni via plating a basso impatto di chimica umida in ambito microelettronica e mems. Questo sistema risulta molto valido per l'applicazione alle celle fotovoltaiche al fine di ridurre i costi delle metallizzazioni, che, essendo ancora in argento, hanno un impatto importante sul costo complessivo delle celle solari. Quindi il contributo che deriverà dalla ricerca e dallo sviluppo di questo sistema innovativo di metallizzazioni può essere determinante per realizzare celle solari efficienti a costi ridotti rispetto all'attuale stato dell'arte.</p>	35
b.2	<p>Università del Sannio - Dipartimento di Ingegneria</p> <p>Progettazione di nanostrutture per assorbire efficacemente la luce in celle solari realizzate su wafer sottili</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo ha una consolidata esperienza, riconosciuta a livello internazionale, nell'analisi teorica di architetture per la realizzazione di dispositivi optoelettronici a cristalli fotonici utilizzabili in diversi campi di applicazioni (fotovoltaico, sensoristica, telecomunicazioni, etc.), come facilmente verificabile dalla qualità e quantità delle pubblicazioni prodotte.</p>	50
b.2	<p>Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa - Istituto TeCIP</p> <p>Realizzazione di strutturazione submicrometrica per wafer sottili di silicio</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo possiede le attrezzature e le competenze necessarie a realizzare processi per la definizione di strutture submicrometriche e relativi processi di etch su aree compatibili con la realizzazione di dispositivi. L'insieme delle attrezzature è praticamente unico in Italia.</p>	45
b.2	<p>Politecnico di Bari – Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica</p> <p>Crescita di film di grafene ad alta conducibilità</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo presenta delle competenze molto specifiche sullo sviluppo di film di grafene quasi metallico caratterizzati da alta trasparenza e quindi idonei ad essere testati come elettrodi frontali in celle a eterogiunzione a-Si/c-Si. L'insieme delle competenze è praticamente unico nel panorama nazionale e di assoluto rilievo a livello internazionale, come testimoniano recenti pubblicazioni specifiche sull'argomento.</p>	40
d	<p>Università Mediterranea di Reggio Calabria – Studio di dispositivi attivi basati su nuovi materiali e tecnologie per applicazioni in convertitori SMPPT fotovoltaici.</p> <p><i>Motivazione della scelta:</i> Il gruppo dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, guidato dal Prof. Francesco Giuseppe Della Corte, ha pluriennale esperienza nel settore dei dispositivi elettronici di potenza anche per applicazioni nel campo della conversione di energia da generatori rinnovabili, in particolare solare fotovoltaico. Il gruppo ha consolidate competenze nel design e caratterizzazione prestazionale di dispositivi attivi basati su semiconduttori ad ampia band-gap in particolare GaS e SiC. Le attività di ricerca e sviluppo sono condotte in collaborazione con gruppi di ricerca internazionali di elevato valore scientifico e nell'ambito di progetti nazionali ed europei.</p>	40
TOTALE		500

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Nome progetto	Nome Estesio	Durata	Attività affini al PAR2013
Fast Track	Accelerated development and prototyping of nano-technology based high-efficiency thin-film silicon solar modules	3/2012-2/2015	Le attività ENEA sono finalizzate all'ottimizzazione del riflettore posteriore di celle tandem micromorfe con lo sviluppo di strati a base di silicio innovativi e il confronto tra i diversi riflettori attualmente utilizzati.
SOPHIA	PhotoVoltaic European Research Infrastructure	2/2011 - 1/2015	Le attività sono focalizzate principalmente su azioni di round robin di misure su celle in silicio cristallino, a film sottile di silicio e celle organiche.
Cheetah	Cost-reduction through material optimisation and Higher EnErgy output of solar pHotovoltaic modules - Joining Europe's Research and Development efforts in support of its PV industry	1/2014 (48 mesi)	Le attività ENEA sono focalizzate sullo sviluppo di strategie di light trapping per celle a film sottile mediante tecniche avanzate (Focused Ion Beam) e sullo sviluppo di processi di incapsulamento per migliorare la stabilità di dispositivi organici.

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Obiettivo		Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a. Celle solari a base di film sottili innovativi di perovskiti e kesteriti			
	a.1 Sviluppo di celle a singola giunzione a base di perovskite	Sviluppo di tecniche di preparazione da soluzione di strati assorbitori per celle solari a base di film sottile di perovskite ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$). Sviluppo di strati trasportatori di elettroni a base di ossido di titanio flat e a base di copolimeri a blocchi con inclusione selettiva di nanoparticelle di ZnO. Realizzazione di celle solari con efficienza paria al 6.5%.	Realizzazione di celle a base di perovskite con efficienza di almeno 15%. Rapporto tecnico sulle potenzialità di sviluppo di celle a base di perovskite con tecniche di stampa.
	a.2 Celle solari a base di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	Valutazione dei principali step di processo (solforizzazione e co-sputtering) per una profonda comprensione dei fattori che limitano le prestazioni dei dispositivi a base di CZTS (blistering nei film di CZTS, effetti dei disordine nel CZTS, etc.). E' stata avviata un'attività di studio di possibili strati buffer alternativi al CdS e sullo sviluppo di simulazioni numeriche delle celle in CZTS in grado di evidenziare il peso dei vari fattori limitanti l'efficienza e le potenzialità sperimentali della tecnologia proposta. E' proseguita l'attività sullo studio di tecniche di crescita del CZTS da soluzione. Infine è proseguito lo studio di materiali per la realizzazione di giunzioni tunnel in dispositivi tandem CZTS/c-Si.	Sviluppo di processi di deposizione del CZTS tramite co-sputtering e successiva solforizzazione; Analisi dei fenomeni connessi al disordine del CZTS e dei loro effetti sui dispositivi finali. Rapporto tecnico sulle attività.
	a.3 Sviluppo di architetture di dispositivo per celle tandem ad alta efficienza		Realizzazione di celle tandem perovskite/c-Si. Rapporto tecnico sulle attività.
b. Celle a eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer di tipo p			
	b.1 Ottimizzazione degli strati sottili di silicio e trasferimento dei processi su wafer testurizzati	Ottimizzazione della passivazione delle superfici dei wafer di silicio cristallino con film di silicio amorfo cresciuto per PECVD. E' stato inoltre valutato l'effetto sul dispositivo dei layer drogati sia di tipo n che di tipo p, valutando film a base di silicio o di ossido di silicio depositati in fase amorfa o microcristallina. Efficienza massima misurata sul dispositivo pari a 18% su area attiva.	Realizzazione di celle a eterogiunzione caratterizzate da FF superiori al 73% e tensioni di circuito aperto maggiori di 700 mV. Rapporto tecnico sullo sviluppo di processi di metallizzazione delle griglie di raccolta frontale e posteriore mediante tecniche di plating localizzato.
	b.2 Ottimizzazione del guadagno ottico in celle ad eterogiunzione di silicio: texturing del silicio e sviluppo di TCO ad alta mobilità		Ottimizzazione del guadagno ottico in celle ad eterogiunzione di silicio mediante sviluppo di TCO e metodi di texturing innovativi. Rapporto tecnico sulle attività. Progettazione e realizzazione di nanostrutturazioni su wafer di silicio per implementare strategie di intrappolamento della luce solare. Rapporto tecnico sulle attività.
c. Sviluppo di tool di progettazione e studio di dispositivi attivi innovativi per convertitori SMPPT			
	<i>L'attività non è stata organizzata per subtask</i>		Rapporto tecnico su metodologie di progettazione multi-obiettivo di convertitori SMPPT ed implementazione del relativo tool. Rapporto tecnico sullo studio di dispositivi attivi basati su nuovi materiali e tecnologie per applicazioni in convertitori SMPPT fotovoltaici.

AREA	GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA CON BASSE EMISSIONI DI CARBONIO
Tema di Ricerca	FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI. SOLARE TERMODINAMICO A CONCENTRAZIONE AD ALTA TEMPERATURA
Progetto B.1.5	ENERGIA ELETTRICA DAL MARE

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Gli studi ENEA sull'energia dal mare condotti nell'ambito dell'Accordo di Programma hanno riguardato i due principali aspetti del problema: lo studio della risorsa e lo sviluppo di tecnologie idonee per la produzione di energia elettrica. I risultati ottenuti confermano l'interessante potenziale energetico dei mari italiani e forniscono gli elementi per dimostrare la fattibilità tecnica e la convenienza dell'utilizzazione energetica del moto ondoso con tecnologie mirate alle caratteristiche del Mediterraneo e delle coste italiane.

Tra le numerose proposte tecnologiche esaminate, si è concentrata l'attenzione su due linee di sviluppo: una *on-shore*, mirata all'utilizzazione energetica delle dighe portuali (tecnologia REWEC) e una *off-shore*, basata sull'utilizzo di dispositivi galleggianti ormeggiati al largo (tecnologia PEWEC).

Il punto di forza della tecnologia REWEC è dato dal modesto incremento di costo (circa 10%) dell'elemento di diga risonante ("cassone") rispetto al normale elemento di diga utilizzato per la costruzione o il rifacimento dei porti. Anche grazie al contributo degli studi e delle sperimentazioni svolte dall'ENEA in collaborazione con l'Università di Reggio Calabria, lo sviluppo della tecnologia REWEC ha raggiunto la fase dimostrativa a piena scala presso la nuova darsena traghetti del porto di Civitavecchia. Resta da ottimizzare l'accoppiamento del cassone con la turbina o altro sistema di conversione dell'energia attraverso lo sviluppo di un sistema di controllo integrato al sistema operativo di previsione dello stato del mare.

Nel caso della tecnologia PEWEC, l'aspetto più interessante è l'assenza di parti in movimento esposte all'azione del mare, che insieme all'assenza di infrastrutture fisse e di autoconsumo di energia per il funzionamento consente di prevedere elevata affidabilità, ampia funzionalità e applicabilità del dispositivo.

Lo sviluppo della tecnologia PEWEC, condotto in collaborazione tra ENEA e Politecnico di Torino, ha riguardato fin ad ora l'elaborazione teorica con modelli numerici, la realizzazione del prototipo in scala di laboratorio (1:45), la sperimentazione nel canale di prova del Politecnico, la realizzazione del prototipo in scala intermedia (1:12) e la sperimentazione nella vasca navale INSEAN-CNR con onde regolari e irregolari corrispondenti al moto ondoso rilevato nei possibili siti di installazione (Pantelleria e Alghero). Resta ancora da definire l'architettura del dispositivo a piena scala e da mettere a punto le logiche di controllo per ottimizzare la produzione di energia elettrica nelle diverse condizioni di mare. Con questi elementi si potrà procedere alla realizzazione del prototipo a piena scala e alla dimostrazione in mare.

L'esperienza maturata nell'ambito delle attività sperimentali condotte nel precedente PAR ha evidenziato l'importanza di poter disporre di previsioni accurate dello stato del mare. Si è però anche osservato che le correnti, sia per il loro effetto diretto sull'orientamento dei dispositivi off-shore che per la loro interazione col moto ondoso, possono avere localmente effetti significativi, non trascurabili, che devono essere valutati e previsti in dettaglio per poter ottimizzare l'efficienza del convertitore.

Di conseguenza, parallelamente allo sviluppo dei prototipi per la conversione del moto ondoso in elettricità, una linea di attività che si intende perseguire nel prossimo triennio è quella relativa ad un ulteriore sviluppo modellistico. In particolare, al sistema di previsione del moto ondoso ad alta risoluzione già operativo, sarà affiancato un sistema operativo di previsione delle correnti sull'intero bacino Mediterraneo di analogo dettaglio spaziale. In una seconda fase, le previsioni delle correnti così ottenute saranno anche utilizzate per migliorare la previsione del moto ondoso.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Nel corso del precedente piano triennale sono state svolte numerose attività relativamente allo sfruttamento dell'energia dal mare, passando da una fase esplorativa di fattibilità alla realizzazione di due prototipi classificabili, sulla base del Technology Readiness Level (TLR) adottato nell'ambito del programma Horizon 2020, rispettivamente TRL =7 e 4. L'attuale livello di maturità tecnologica raggiunto permette quindi di prevedere con un buon grado di attendibilità una ricaduta a breve termine della ricerca.

I due prototipi realizzati per la conversione del moto ondoso in energia elettrica hanno caratteristiche profondamente diverse. Il prototipo denominato PEWEC (PEndulum Wave Energy Converter) è di tipo off-shore mentre il prototipo REWEC-GV è del tipo on-shore.

Nel corso del precedente piano triennale è stata svolta attività di ricerca sia teorica che sperimentale sul sistema PEWEC, un sistema di conversione di tipo passivo (a massa oscillante). L'attività di validazione delle prestazioni del prototipo in scala 1:12 è stata condotta nel canale di prova della vasca navale del CNR-INSEAN. Si sono poste così le basi per la progettazione e successiva realizzazione e varo del sistema in mare che rappresenta l'obiettivo finale del presente piano.

Nel panorama dei WEC, i sistemi inerziali applicati alla conversione di energia da moto ondoso presentano i seguenti vantaggi:

- elevata produttività alle alte frequenze ondose tipiche dei mari chiusi quali il mar Mediterraneo;
- elevata affidabilità dettata dall'assenza di organi in movimento in acqua (caratteristica quasi unica nel panorama dei WEC);
- funzionamento in ambiente oceanico con variazione delle proprietà geometriche e inerziali dello scafo.
- I sistemi inerziali si possono classificare in:
 - Attivi: utilizzano parte dell'energia prodotta per allargare le loro caratteristiche di funzionamento. ISWEC è un convertitore inerziale attivo che usa parte dell'energia prodotta per mantenere in rotazione il volano. Tale caratteristica permette al convertitore di allargare le sue capacità di funzionamento in quanto variando la velocità di rotazione del volano il sistema si adatta allo stato di mare incidente.
 - Passivi: non hanno autoconsumo rilevante, sebbene le loro capacità di adattamento sullo stato di mare siano minori. PEWEC è un sistema passivo che usa il moto di una massa oscillante per produrre energia elettrica.

Il sistema PEWEC è composto da uno scafo che contiene internamente un sistema a massa oscillante con asse di rotazione orizzontale. Il moto dello scafo indotto dalle onde, perturba l'equilibrio del pendolo che inizia ad oscillare internamente ricercando continuamente una posizione di equilibrio. La rotazione relativa pendolo-scafo presente alla cerniera è usata per trascinare l'albero di un generatore e produrre energia elettrica.

Le prove sul sistema passivo PEWEC in scala 1:12 svolte nel quadro del PAR 2014, hanno permesso di ottenere i seguenti risultati:

- costruzione di un prototipo di sistema PEWEC in scala 1:45 e suo test sperimentale presso Politecnico di Torino;
- valutazione delle capacità di produzione energetica del prototipo;
- validazione dei modelli numerici per onda monocromatica.

Nel corso del precedente piano triennale è stata svolta attività di ricerca sia teorica che sperimentale sul sistema REWEC-GV, un sistema di conversione di tipo a colonna d'acqua oscillante tra i più promettenti nel panorama dei convertitori *on-shore*. Le campagne di misura condotte su un prototipo in scala 1:8 e installato presso lo stretto di Messina hanno permesso di validare i modelli analitici e numerici messi a punto nel corso del precedente piano triennale. Dalle misure in situ è emerso inoltre che il sistema di conversione possiede un elevato grado di efficienza nel convertire l'energia ondosa in energia elettrica.

Ultimo punto da studiare e analizzare in dettaglio nel corso del presente piano è il 'controllo' del sistema di conversione. Il problema del 'controllo' occupa un ruolo cruciale in un'ottica di ottimizzazione dei sistemi di conversione di energia da sorgenti fortemente discontinue ed oscillatorie, come quelli che sfruttano

l'energia delle onde di mare. Nello specifico, nei sistemi che sfruttano il principio della colonna d'acqua oscillante (OWC), una turbina, tipicamente a comportamento lineare, assolve alla funzione di convertire l'energia ondosa incidente in elettrica. In quest'ottica, l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche dei suddetti sistemi si traduce nell'implementazione di algoritmi di controllo attivo che agiscono sulla identificazione della più appropriata velocità di rotazione della turbina.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Nel corso del precedente piano triennale sono state svolte numerose attività relativamente allo sfruttamento dell'energia dal mare, passando da una fase esplorativa di fattibilità alla realizzazione di due prototipi classificabili, sulla base del Technology Readiness Level (TLR) adottato nell'ambito del programma Horizon 2020, rispettivamente TRL = 5 e 4. I due prototipi realizzati per la conversione del moto ondoso in energia elettrica hanno caratteristiche profondamente diverse. Il prototipo denominato PEWEC (PEndulum Wave Energy Converter) è di tipo off-shore mentre il prototipo REWEC-GV è del tipo on-shore. Entrambi i prototipi hanno mostrato un elevato grado di efficienza, legato alla relativa semplicità di costruzione e manutenzione.

REWEC-GV è stato realizzato scala 1:8 in collaborazione con il beneficiario universitario Università di Reggio Calabria. REWEC-GV è un cassone in acciaio di tipo REWEC3 caratterizzato dall'elevata modularità delle sue parti attive (REWEC-Geometria Variabile (REWEC-GV)). Al fine di condurre prove sulle prestazioni idrodinamiche, sulle sollecitazioni agenti sulle componenti modulari, e sull'energia ondosa assorbita dall'impianto in ambiente reale il prototipo è stato installato presso il laboratorio NOEL dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria sito sulla costa calabra dello Stretto di Messina. Il prototipo è stato successivamente equipaggiato con idonea strumentazione per il monitoraggio delle grandezze idrodinamiche fondamentali (sonde ultrasoniche, trasduttori di pressione, etc.). E' stato inoltre condotto uno studio in collaborazione con la Scuola S. Anna di Pisa su un PTO (Power Take off) polimerico basato su Generatori ad Elastomero Dielettrico (DEG) adatto all'applicazione e integrazione con il REWEC-GV.

PEWEC è stato realizzato in scala 1:12 in collaborazione con il beneficiario universitario Politecnico di Torino. Il prototipo è stato testato presso la vasca navale del CNR-INSEAN. Dalle prove è emerso che la probabile produttività media annua dello stesso prototipo in scala 1:1 da 100 kW, installato a circa 1 Km dalla costa nord occidentale della Sardegna, ad una profondità di 40 m, sarebbe di circa 200 MWh/anno. L'attuale livello di maturità tecnologica raggiunto permette quindi di prevedere con un buon grado di attendibilità una ricaduta applicativa a breve termine della ricerca.

E' stato realizzato il primo atlante climatologico dell'energia ondosa nel Mediterraneo, ad un dettaglio spaziale di circa 7 km. Per alcune regioni italiane il dettaglio spaziale ha raggiunto gli 800 m. L'atlante si è dimostrato di assoluto valore, infatti i dati sono stati distribuiti su richiesta agli operatori del settore che lavorano in Italia. E' stato inoltre realizzato il primo sistema di previsione dell'energia ondosa a scala mediterranea caratterizzato da una risoluzione spaziale di 4 km. La risoluzione aumenta fino a 800 m per 11 regioni costiere italiane che sono state individuate, sempre nel corso del precedente PAR, come aree particolarmente interessanti per un possibile sfruttamento dell'energia da moto ondoso. Sono state gettate le basi per uno studio sistematico e approfondito dei possibili impatti ambientali prodotti dall'installazione di un sistema di conversione off-shore del tipo PEWEC presso l'isola di Pantelleria. Il sistema di monitoraggio prevede l'uso delle più avanzate tecniche di telerilevamento accoppiate a sporadiche misure in situ.

Obiettivo finale dell'attività

Il progetto ha una durata annuale e le attività che si intendono condurre prevedono tre linee di ricerca e sviluppo:

- Progettazione del sistema PEWEC in scala 1:1.

- Sviluppo di sistemi per il controllo e l'ottimizzazione della produzione di energia elettrica mediante dispositivi OWC
- Sviluppo di sistemi previsionali per le correnti marine per l'ottimizzazione della produzione di energia dal mare e per la stima del potenziale energetico.

Descrizione dell'attività a termine

Lo sviluppo dell'attività nell'arco della durata del programma è il seguente:

1. Sviluppo di un sistema di previsione della circolazione marina del Mediterraneo.
2. Sviluppo di un codice di previsione degli sforzi dinamici e della potenza erogabile di Wave Energy Converter per applicazioni nel Mar Mediterraneo.
3. Stima degli impatti sugli ecosistemi costieri da impianti di conversione off-shore.
4. Progettazione di un sistema full scale (denominato PEWEC) per la produzione di energia da moto ondoso.
5. Sviluppo di sistemi di controllo elettromeccanico e sviluppo algoritmi per l'ottimizzazione dell'energia prodotta da un OWC in scala 1:1.

Principali risultati previsti

Le attività condotte nel presente progetto si concentrano su tre macro linee di ricerca. La prima linea di attività ha lo scopo di realizzare un progetto per un impianto pilota per la produzione di energia dal mare da un prototipo off-shore installato nei pressi dell'isola di Pantelleria. La seconda linea di attività prevede lo sviluppo di un sistema di controllo integrato ad un sistema di forecast per l'ottimizzazione della produzione di energia elettrica da parte di un sistema OWC in scala 1:1. La terza linea di attività riguarda lo sviluppo del primo sistema operativo ad alta risoluzione per il bacino mediterraneo in grado di prevedere le correnti marine soggette alle maree.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Il CNR non svolge attività sul presente tema nell'ambito nazionale della Ricerca di Sistema Elettrico. Tuttavia l'INSEAN, l'Istituto di ricerca nel settore dell'ingegneria navale e marittima, afferente al Dipartimento Energia e Trasporti del CNR, è coinvolto, insieme ad ENEA, nel programma congiunto EERA sull'energia dal mare. Presso INSEAN si sviluppano codici numerici per studiare l'interazione delle strutture galleggianti e la dinamica dei sistemi di ormeggio. La disponibilità della vasca navale presso l'infrastruttura INSEAN rende inoltre possibile la validazione dei modelli numerici su prototipi in scala. Da quanto sopra descritto, si evince che le attività CNR non si sovrappongono alle attività ENEA. Tuttavia, nel corso del precedente PAR, sono state utilizzate le infrastrutture presenti in INSEAN; in particolare sono state condotte prove sperimentali del prototipo in scala PEWEC presso la vasca navale. Le infrastrutture sono state rese disponibili da parte di INSEAN a fronte di un regolare contratto che è stato stipulato tra ENEA e CNR-INSEAN.

RSE ed ENEA sono state affidatarie congiunte del progetto di Ricerca di Sistema (RdS) "Energia elettrica da fonte marina" durante il triennio 2012-2014. Il PAR 2014 si è concluso il 28 febbraio 2015 per RSE e il 30 settembre 2015 per ENEA. Nella presente annualità entrambe le organizzazioni intendono svolgere attività di sviluppo e test finalizzate all'up-grade di scala dei dispositivi per la conversione dell'energia delle onde, oggetto del precedente triennio di ricerca.

Le due organizzazioni hanno inoltre concordato che nel corso del seguente piano:

- saranno scambiati dati e informazioni: in particolare RSE fornirà ad ENEA le misure effettuate nel Porto di Civitavecchia ed ENEA fornirà ad RSE l'accesso alle sue previsioni di clima d'onda. Si intende così mettere in comune e valorizzare un patrimonio di conoscenze ed infrastrutture sviluppato nei precedenti progetti di RdS;
- saranno fatte delle riunioni (anche tramite strumenti web) per scambiarsi periodicamente informazioni relative allo sviluppo dei sistemi di controllo per i diversi dispositivi. Si intende in questo caso facilitare

la condivisione delle conoscenze e delle esperienze in un settore dalla spiccata connotazione innovativa.

Le due organizzazioni infine concordano sull'opportunità di lavorare al secondo numero della Newsletter sull' "Energia dal Mare" di cui si prevede l'uscita nel mese di gennaio 2016.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Lo sfruttamento dell'energia dal mare è tra i punti prioritari del piano d'azione della Commissione Ue per lo sviluppo della Blue Economy. Per questo motivo lo scorso gennaio 2014 la Commissione Ue ha presentato un piano di azione per il periodo 2014-2020 a sostegno dello sviluppo dell'energia dal mare (COM/2014/8 "Blue Energy–Action needed to deliver on the potential of ocean energy in European seas and oceans by 2020 and beyond"). In questa comunicazione la UE identifica non solo l'oceano Atlantico come risorsa energetica marina, ma anche il mar Mediterraneo. Come dimostrato dai recenti studi condotti da ENEA nell'ambito del precedente piano triennale, i mari italiani possiedono un importante livello di energia associata al moto ondoso, paragonabile a quello presente sulle coste orientali del Mare del Nord. Il valore medio annuo del flusso di energia presente per esempio sulla costa occidentale della Sardegna è di circa 13 kW/m; un valore simile si riscontra sulla costa occidentale della Danimarca, che è tra i paesi europei maggiormente coinvolti nello sviluppo di tecnologie per la trasformazione delle onde in energia elettrica. L'Italia, con i suoi 8000 km di coste, è il Paese euro-mediterraneo che può trarre i maggiori benefici dallo sfruttamento dell'energia dal mare.

Le attività relative ai sistemi di produzione di energia dal mare sono particolarmente interessanti per le numerose isole presenti in Italia: in molte di queste l'approvvigionamento energetico, realizzato comunemente da centrali termoelettriche a gasolio, risulta oneroso dal punto di vista economico. Per tali realtà la possibilità di utilizzare sistemi che convertono l'energia del mare appare particolarmente interessante. A livello sociale si avrebbe il vantaggio della sicurezza della continuità della produzione di energia ed il coinvolgimento nella manutenzione dei sistemi. Lo sviluppo dei sistemi di assorbimento e conversione energetica di tipo costiero, sia galleggianti sia di tipo a barriere sommerse poggiate su bassi fondali, può avere una valenza di significativo interesse nel nostro Paese, per la riduzione dei fenomeni di erosione costiera. Per quanto riguarda viceversa l'impatto economico, lo sviluppo di tecnologie innovative quali quelle relative ai sistemi di conversione dell'energia del mare possono fare crescere delle realtà produttive che potrebbero agevolmente svilupparsi in un mercato per lo più ancora inesplorato.

L'attuale piano d'azione nazionale per le energie rinnovabili prevede inoltre per l'energia dal mare una potenza installata di 3 MW entro 2020. Target raggiungibile anche attraverso lo sviluppo delle tecnologie ENEA.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Sistema di previsione della circolazione marina del Mediterraneo

Si svilupperà un modello della circolazione dell'intero bacino mediterraneo che includa l'effetto delle maree. Il modello avrà una griglia numerica regolare all'interno del bacino, con una risoluzione orizzontale di 1/48° (circa 2 km) - tre volte più alta degli attuali modelli operativi disponibili - che si infittisca ulteriormente, fino ad alcune centinaia di metri, nella regione dello Stretto di Gibilterra. L'ulteriore infittimento è necessario per ottenere una descrizione adeguata della componente mareale atlantica, e per risolvere correttamente la complessa dinamica che avviene nello Stretto e nella regione mediterranea adiacente. Va inoltre notato che la risoluzione globale di 1/48° consentirà di risolvere strutture dinamiche di piccola scala che possono essere localmente importanti, per esempio nella fascia costiera, e che non possono essere caratterizzate con i modelli attuali. La risoluzione spaziale verticale sarà ugualmente alta, garantita da un numero di livelli verticali compresi tra 75 e 100, al fine di avere una rappresentazione dettagliata della dinamica negli strati superficiali, e di conservare un giusto bilanciamento con la risoluzione

orizzontale. Il modello, esteso a tutto il bacino mediterraneo, sarà costituito da circa 10^9 nodi e comporterà un costo computazionale e di storage importante. A fronte di uno sforzo computazione importante saranno generati dati che ad oggi non sono disponibili sul mercato e che quindi sono di sicuro valore e importanza per lo sviluppo di questa fonte di energia rinnovabile nel nostro Paese. Il modello sarà basato sul MITgcm, il modello di circolazione marina ideato, sviluppato, e continuamente aggiornato all'interno del Massachusetts Institute of Technology di Boston (USA), con cui l'ENEA collabora da tempo. Il MITgcm è da anni utilizzato nel laboratorio CLIM dell'ENEA, per studi di processo e studi di valutazione della risorsa marina, sia della circolazione del Mediterraneo che di quella di aree regionali, come l'Adriatico, lo Stretto di Gibilterra, lo stretto di Messina e lo Stretto dei Dardanelli. Il modello sarà inizializzato utilizzando i campi di previsione disponibili attraverso il portale pubblico internazionale MYOCEAN (<http://marine.copernicus.eu/>); tali dati saranno utilizzati per fornire anche le appropriate condizioni al contorno nell'area atlantica. I dati atmosferici necessari come forzanti superficiali saranno derivati da modelli LAM (Limited Area Model) ad alta risoluzione disponibili nella comunità scientifica nazionale o internazionale. Nel corso della presente annualità saranno realizzate le seguenti attività: 1) definizione del grigliato computazionale, ed in particolare costruzione del grigliato a passo variabile nella regione dello Stretto di Gibilterra, che si deve connettere gradualmente con il grigliato regolare a $1/48^\circ$ utilizzato nel resto del bacino, 2) costruzione di una batimetria ottimale, opportunamente interpolata da batimetrie esistenti, compito questo particolarmente delicato nella regione con grigliato variabile; 3) settaggio della procedura di innestamento con i dati MYOCEAN, necessaria per la costruzione della condizione iniziale per il modello e delle condizioni al bordo nel box atlantico; 4) verifica delle proprietà di scalabilità del modello su architetture di calcolo parallele; 5) introduzione della forzante mareale e sua ottimizzazione, al fine della realizzazione di simulazioni operative (scelta corretta delle fasi); 6) realizzazione di test per valutare la sensibilità all'inizializzazione, e alla scelta del forzante atmosferico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo all'implementazione del sistema di previsione delle correnti marine del Mediterraneo

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Sviluppo di un codice di predizione degli sforzi dinamici e della potenza erogabile di Wave Energy Converter per applicazioni nel Mar Mediterraneo

La presente linea di attività ha come obiettivo fondamentale quello di produrre e rendere disponibile per le imprese interessate uno strumento in grado di predire:

- a) le azioni dinamiche sulla struttura di un dispositivo di conversione di energia del moto ondoso
- b) la sua producibilità in termini di potenza elettrica resa disponibile.

Un ulteriore obiettivo riguarda la possibilità di definire (ed inserire nel modello) spettri d'onda tipici del Mar Mediterraneo sulla base delle mappe attualmente presenti su diversi siti già prodotti da ENEA nel corso del precedente piano triennale. Infine l'attività prevede di realizzare un network tra le aziende del settore al fine di indirizzare lo sviluppo del codice verso un uso industriale.

La ricerca verrà condotta a partire da uno strumento di simulazione disponibile (WEC Sim). Questo codice è di tipo *open source*, e permette di simulare condizioni d'onda sulla base di parametri pre-impostati e le azioni dinamiche su dispositivi di libreria.

La ricerca che verrà effettuata in questo contesto prevedrà le seguenti linee di azione:

- Selezione e/o definizione del modello d'onda più appropriato a riprodurre (anche a livello locale) le condizioni meteo-marine delle località più interessanti dal punto di vista della producibilità energetica (anche allo scopo di individuare condizioni meteorologiche di tipo catastrofico).

Il codice di calcolo utilizzato come riferimento ha una serie di spettri d'onda preimpostati che fanno riferimento a distribuzioni tipiche dei Mari del Nord-Europa. Nel corso della presente attività si analizzeranno i dati d'onda disponibili e relativi al Mar Mediterraneo per valutare la accuratezza di tali modelli o, in alternativa, sviluppare un modello specifico per il Mediterraneo.

- Definizione di modelli standard di dispositivi di dimensioni appropriate ai mari italiani al fine di valutare le azioni dinamiche e le potenze prodotte.
I modelli preinstallati nel codice prevedono dimensioni dei dispositivi, caratteristiche strutturali, ancoraggi e tutte le altre caratteristiche adatte a quello che è attualmente lo standard dei modelli installati. Nel corso della presente attività tali modelli saranno adattati per il funzionamento nel Mar Mediterraneo, cercando di ottimizzare il compromesso tra le problematiche strutturali del dispositivo (anche in riferimento a eventi catastrofici sempre più frequenti nel Mediterraneo) e la esigenza di riduzione dei costi.
- Definizione di un foglio di calcolo per la valutazione economica dei dispositivi in grado di esprimere il Costo dell'Energia e la redditività complessiva di un possibile investimento nel settore.
Sulla base di una stima dei costi dei dispositivi e della redditività dell'investimento verrà realizzato un foglio di calcolo in grado di definire i parametri economici fondamentali quali la redditività, il VAN ecc. tenendo conto del quadro normativo e fiscale attualmente in vigore.

Risultati/Deliverable:

- Rilascio del codice di simulazione in grado di prevedere azioni dinamiche e potenza elettrica producibile da dispositivi standard di dimensioni adeguate al Mar Mediterraneo (ed in condizioni meteo-marine caratteristiche corrispondenti)
- Report complessivo sulle attività svolte. Pubblicazione dei risultati e definizione del protocollo di uso del codice

Principali collaborazioni: Sapienza Università di Roma

Durata: ottobre 2015- settembre 2016

c. Stima degli impatti sugli ecosistemi costieri da impianti "Waves Energy" tramite tecniche integrate di Remote Sensing

L'attività da svolgere riguarda l'utilizzo delle tecniche di telerilevamento aerospaziale e di rilievo in sito, per supportare la valutazione effettiva dello stato ecologico degli habitat di PO (Posidonia oceanica) nel sito di interesse per il progetto: Pantelleria. Presso Pantelleria è già presente un prototipo denominato ISWEC, sviluppato dal Politecnico di Torino, che, a differenza da PEWEC utilizza un sistema di conversione attivo (giroscopio). ISWEC, come PEWEC, è stato progettato per minimizzare l'impatto ambientale sugli ecosistemi costieri dovuto agli ancoraggi utilizzando un sistema di ormeggio inerziale innovativo in grado di assicurare un collegamento affidabile alla rete elettrica, è stato installato nell'estate del 2015 nei bassi fondali dell'isola di Pantelleria. La metodologia di monitoraggio è costituita da un approccio basato sulle tecniche di telerilevamento (RS) e GIS (Geographical Information System) più recenti, integrate da metodi avanzati per il campionamento a mare, misure in situ e di laboratorio. Essa è mirata al reperimento, omogeneizzazione, integrazione, produzione e gestione d'informazioni spazialmente georiferite sotto forma di "layer" (strati) in proiezione cartografica e congruenti, conservati in un geodatabase appositamente configurato e gestito con modalità informatiche tramite procedure appositamente sviluppate. Questo sistema sviluppato e continuamente aggiornato durante l'evoluzione del progetto costituirà poi uno strumento DSS (Decision Support System) a supporto della gestione operativa del prototipo ISWEC e successivamente per il PEWEC.

Nel corso dell'ultima annualità del precedente piano triennale sono state condotte diverse attività che hanno incluso una parte iniziale in cui sono stati reperiti e pre-processati una serie di strati vettoriali di base che sono stati inseriti nel geodatabase (batimetrie, topografia, tematismi preesistenti,...). Sono state quindi acquisite alcune prime riprese satellitari multispettrali del nuovo sensore Landsat 8 OLI (7 bande spettrali VIS, NIR, SWIR con 30 m. di risoluzione a terra) sulle quali è stata messa a punto una prima versione della procedura di preprocessing geometrico e radiometrico propedeutica al loro utilizzo successivo per la produzione dei tematismi d'interesse. Successivamente, utilizzando gli strumenti messi a disposizione dall'ambiente GIS e le informazioni del geodatabase è stata quindi progettata una prima campagna di misura sulle praterie di PO, in corrispondenza del sito d'installazione del prototipo ISWEC con un metodo di campionamento innovativo.

I rilievi eseguiti nel corso del precedente PAR sono stati effettuati nei pressi del prototipo ISWEC, subito dopo la sua installazione al fine di verificare eventuali impatti sulle praterie sottostanti di PO connessi ai lavori. I rilievi puntuali sono stati effettuati secondo su 3 stazioni lungo un transetto perpendicolare al gradiente batimetrico, con la prima stazione in corrispondenza del sito di installazione di ISWEC ad una profondità di 31 m. Le misure in profondità sono state effettuate sulla base di uno schema di campionamento che ha previsto l'utilizzo di 5 subplot di 1 m² per ciascuna delle 3 stazioni, identificati per mezzo di un telaio appositamente costruito. Per tutti i subplot sono state riprese delle immagini digitali e valutato in immersione il numero di piante di PO (shoot/m²) presente, prelevando poi campioni sui quali sono state successivamente effettuate le misure biometriche in laboratorio (n° medio di foglie per shoot, dimensioni medie delle foglie, peso specifico fresco e secco, ..) e sono in corso analisi genetiche. Parallelamente le immagini digitali dei subplot sono state debitamente processate con metodologie digitali (clustering e classificazione supervised) al fine di poter valutare in modo semiautomatico le coperture percentuali di PO. Nel corso della presente annualità sarà ulteriormente affinata questa metodologia per renderla maggiormente robusta verso le disuniformità accentuate d'illuminazione del fondale che incidono significativamente sulle riprese fotografiche. Dalle misure biometriche sui campioni foliari sono stati inoltre ricavati i valori di LAI e successivamente anche quelli relativi ai pesi specifici(secco e fresco) , tramite essiccamento in forno.

Sempre nel corso del precedente PAR sono state acquisite immagini Landsat 8 OLI dei mesi di Luglio prima dell'installazione dell'ISWEC e di Agosto e Settembre relative al periodo immediatamente successivo. Da un'analisi di dettaglio è emerso che l'immagine di Agosto non presenta copertura nuvolosa sull'area d'interesse relativa alla locazione dell'ISWEC, per cui si prevede di poterla utilmente sfruttare per la caratterizzazione dell'area d'interesse dopo opportuni passi di preprocessing e calibrazione.

In definitiva le immagini di agosto e settembre saranno sottoposte a correzione per gli effetti atmosferici e successivamente utilizzate per le mappature locali sulla base di una preventiva calibrazione tramite i dati puntuali rilevati sulle 3 stazioni da confrontare con quelle relative agli anni precedenti. L'obiettivo è quello di arrivare a stimare le distribuzioni dei principali parametri relativi alla PO (Estensione, LAI, Cover, Peso specifico fresco/secco, variabilità genetica) e la loro evoluzione temporale in relazione agli interventi d'installazione del prototipo ISWEC e anche ad eventuali altri fattori d'impatto climatici e/o di origine antropica.

Le distribuzioni dei parametri biofisici ottenuti saranno inoltre messe in relazione ai dati eventualmente reperiti in letteratura e da precedenti lavori effettuati sull'area.

Tenendo conto che gli impatti si possono evidenziare su scale temporali diverse, nella corso della presente annualità si propone di estendere il monitoraggio sia sulle stesse stazioni che su altre zone contigue potenzialmente interessate da eventuali peggioramenti delle condizioni di trasparenza dell'acqua derivanti dall'aumento di sedimenti in sospensione connesso sia ai lavori d'installazione che alle modalità operative dell'ISWEC. In tal modo l'obiettivo è quello sia di supportare più efficacemente la calibrazione dei dati telerilevati con una estensione del range di misura dei parametri biofisici della PO, sia di rilevare un data set di misure in sito maggiormente rappresentativo delle loro variazioni alle scale spazio-temporali d'interesse. Si agirà utilizzando lo schema metodologico già applicato nella precedente piano triennale, eventualmente affinandolo con la rilevazione a terra e/o in laboratorio delle firme iperspettrali, tramite radiometro portatile, sia della PO, tenendo conto delle diverse fenologie, sia dei vari substrati dei fondali nelle aree potenzialmente interessate da eventuali impatti, da evidenziare anche sulla base delle configurazioni medie della circolazione costiera. Tali firme spettrali saranno utilizzate per migliorare le procedure di classificazione dei dati multispettrali telerilevati e per supportare meglio le procedure di modellazione ed inversione anche tramite il software dedicato WASI4. Oltre al Landsat 8 OLI, si prevede di testare le capacità di altri sensori remoti satellitari HR (High Resolution) più recenti con risoluzione spaziale e configurazioni spettrali simili, come ad esempio Sentinel 2 dell'ESA, messo in orbita pochi mesi fa (il primo satellite di 2). Inoltre saranno proposte acquisizioni di dati multispettrali satellitari VHR (Very High Resolution) a risoluzione spaziale più spinta come, ad esempio quelli rilevati dai satelliti commerciali (QuickBird, Rapid Eye, World View 4,...), o da altre piattaforme innovative (aereo, ultraleggero, droni/APR), sulla base delle disponibilità economiche ed operative.

Risultati/Deliverable:

- Stima della distribuzione della posidonia e relativi parametri biofisici nei siti di misura
- Rapporto di sintesi delle attività

Durata: ottobre 2015- settembre 2016

d. Monitoraggio e sviluppo di algoritmi per l'ottimizzazione dell'energia prodotta da un OWC in scala 1:1

Le attività relative a questo obiettivo consistono prevalentemente nel monitoraggio di due celle del cassone REWEC3 installato nel Porto di Civitavecchia. L'attività di monitoraggio è stata già avviata nel 2015 nell'ambito di altri progetti (conclusi a dicembre 2015). Più in dettaglio, è già operativo un sistema di monitoraggio di due camere di assorbimento, in una delle quali è installata la turbina. Tale sistema comprende trasduttori di pressione e misuratori di livello, al fine di determinare il comportamento delle camere di assorbimento nelle diverse condizioni operative. Il funzionamento della turbina, allo stato attuale, è controllato manualmente (attraverso un sistema di accesso in remoto). Poiché le attività di monitoraggio, già eseguite nel 2015, si sono limitate a poco più di un mese, è necessario proseguire le attività, al fine di determinare il comportamento dell'impianto in diverse condizioni di moto ondoso (wind-waves e swells) e con diverse configurazioni della turbina.

Le attività nel triennio prevedono lo sviluppo di un sistema di controllo completo, che consenta, in automatico, di regolare il funzionamento della turbina in funzione della forzanti meteomarine. Tale sistema sarà implementato per il caso studio di Civitavecchia, ma sarà replicabile a qualsiasi località.

Le attività da eseguirsi nel corso della presente annualità sono fondamentali per raggiungere l'obiettivo nell'arco del triennio. Nello specifico, le attività da implementare sono di seguito riportate:

- sviluppo di un sistema di forecast del moto ondoso con un algoritmo ad elevata risoluzione, in modo da determinare i livelli di altezza significativa, opportunamente trasposti sulla diga REWEC3 (con un modello che tenga in considerazione gli effetti della diffrazione);
- sviluppo di codici per il funzionamento delle camere di assorbimento del cassone REWEC3, utilizzando sia il proprio know-how sia i risultati del monitoraggio già disponibili, sia i nuovi dati del monitoraggio eseguito nel periodo gennaio-settembre 2016, nell'ambito del presente progetto;

I dati acquisiti saranno impiegati negli anni successivi per lo sviluppo di un sistema di controllo della turbina, che garantisca il funzionamento della stessa. Tale sistema dovrà identificare sia le condizioni di funzionamento ottimale in condizioni di mare 'ordinario', sia le condizioni di operatività in presenza di mareggiate estreme. Per i valori di altezza significativa più elevati, al fine di mantenere condizioni di sicurezza, il sistema di controllo dovrà azionare valvole di sfiato e chiudere la saracinesca della turbina. Per valori di altezza significativa più piccoli, si dovrà determinare quando azionare la turbina: in questo caso il sistema di controllo azionerà la turbina quando l'altezza significativa supererà una soglia assegnata e la disattiverà quando scende al disotto della stessa soglia. Per le condizioni operative di funzionamento, il sistema di controllo grazie al forecast del moto ondoso consentirà di elaborare i dati disponibili per identificare le condizioni ottimali di funzionamento 'future' (dopo un'ora). Il sistema stabilirà cioè se tra un'ora la turbina dovrà aumentare/ridurre la propria velocità di rotazione, o se la stessa dovrà essere, ad esempio, disattivata perché l'energia associata al moto ondoso si prevede risulti troppo bassa o perché siamo nel corso di una mareggiata, senza riuscire ad operare in condizioni di sicurezza.

Il sistema di controllo della turbina consentirà un incremento delle performances energetiche, incrementando i livelli (kWh) di energia elettrica convertita dal moto ondoso

Risultati/Deliverable:

- Report di sintesi delle attività
- Report sui dati acquisiti nel corso del monitoraggio per lo sviluppo dell'algoritmo di controllo

Principali collaborazioni: Università Mediterranea di Reggio Calabria

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

e. Progettazione di un sistema full scale (denominato PEWEC) per la produzione di energia da moto ondoso

Nel corso del precedente accordo triennale è stata svolta attività di ricerca sia teorica che sperimentale su di un sistema convertitore di energia da moto ondoso di tipo passivo (massa oscillante). Tale attività si è svolta attorno ai test in canale di prova INSEAN di un prototipo in scala 1:12 e ha permesso di valutare le capacità di produzione del sistema e di validare il modello numerico sviluppato in parallelo. Si sono poste così le basi per la progettazione e successiva realizzazione e varo del sistema in mare.

Oggetto della presente linea di attività è la progettazione del sistema di conversione off-shore denominato PEWEC caratterizzato da un'architettura di conversione a massa oscillante. Il dispositivo di produzione dell'energia necessita per il suo funzionamento di elevate rotazioni di rollio/beccheggio dello scafo all'arrivo dell'onda; la massimizzazione di questi moti porta alla massimizzazione della potenza estraibile: tale condizione viene realizzata in funzione di due parametri principali: la dimensione del dispositivo rapportata alla lunghezza d'onda e la frequenza propria di oscillazione del sistema galleggiante+dispositivo di conversione rapportata alla frequenza dell'onda. La potenza in ingresso al sistema, disponibile quindi alla trasformazione, sarà invece funzione della larghezza dello scafo lungo il fronte d'onda. Da queste considerazioni si evince come, a valle dell'analisi del moto ondoso prevalente presso il sito di installazione, sarà possibile procedere alla determinazione delle principali specifiche relative al sistema galleggiante. In funzione poi della taglia di potenza scelta, sarà possibile procedere alla determinazione dei parametri dimensionali del sistema oscillante. Lo svolgimento di tale attività utilizzerà i modelli matematici descrittivi rispettivamente del comportamento dinamico del sistema oscillante, del comportamento dinamico del galleggiante e dell'integrazione del generatore elettrico con le relative logiche di controllo in parte sviluppati nell'annualità precedente. La fase di modellazione matematica risulta strategica per lo svolgimento del progetto, in quanto consentirà di determinare il comportamento dinamico del sistema di conversione e di calcolare quindi coppia e velocità angolare all'ingresso del generatore elettrico. L'integrazione del modello matematico del generatore elettrico alla dinamica del sistema oscillante consentirà di testare diverse logiche di assorbimento della potenza con la finalità di ottimizzare il comportamento del sistema. Altrettanto cruciale sarà integrare il comportamento dinamico dello scafo con il sistema di conversione elettromeccanico (generatore e massa) al fine di determinare, in funzione della caratteristica dell'onda, l'effettivo moto oscillatorio dello scafo e l'effettiva potenza estratta dal moto ondoso e trasformata in potenza elettrica. L'attività di simulazione del comportamento dinamico dello scafo accoppiata al comportamento dinamico del sistema generatore elettrico-sistema oscillante risulterà particolarmente complessa e verrà approcciata sia con metodologia analitica, ma con opportune ipotesi semplificative, che con metodologia numerica mediante codici commerciali di simulazione: con questo secondo approccio sarà possibile ridurre le ipotesi semplificative ed i risultati saranno quindi più attendibili. Al termine di questa fase sarà quindi possibile procedere alla progettazione esecutiva del prototipo e di tutti i componenti accessori. Durante tale attività, particolare attenzione verrà dedicata agli aspetti tecnologici di producibilità dei componenti. In particolare le attività riguarderanno:

- definizione del punto di progetto in funzione delle caratteristiche del moto ondoso del sito di installazione. Si farà riferimento a Pantelleria, isola particolarmente caratterizzata da fenomeni importanti di moto ondoso e con difficoltà di approvvigionamento energetico. Si evidenzia che in tale sito il Politecnico di Torino è in possesso di un area in consegna, nella quale è già presente il sistema di ormeggio per il WEC;
- adattabilità del sistema di conversione dell'energia a diverse lunghezze d'onda. Verranno analizzate soluzioni attive per la variazione della frequenza propria della massa oscillante, di tali soluzioni verrà analizzato il consumo per l'attuazione e verrà valutata la necessità dell'introduzione delle suddette soluzioni in funzione della produttività;
- minimizzazione dei consumi degli impianti di bordo;
- sviluppo di logiche di controllo idonee all'applicazione. Le logiche devono essere adattabili con logica wave by wave in modo da massimizzare la potenza prodotta, e tale logica dovrà essere implementata sull'inverter di regolazione del generatore elettrico;
- realizzazione di un banco prova per la caratterizzazione del PTO elettrico del prototipo full scale: tale attività consentirà di realizzare un banco prova del generatore elettrico (il cui albero in ingresso verrà

collegato ad un motore elettrico controllato con “tecniche hil”) sul quale testare in modo approfondito i limiti di saturazione di coppia e di velocità angolare. Tali limiti sono fondamentali per il controllo in esercizio del WEC.

I risultati attesi dalle attività sopra evidenziate riguardano soprattutto l’individuazione di soluzioni progettuali per il sistema di conversione dell’energia da moto ondoso e possono essere così sinteticamente illustrati:

- verifica sito di installazione e rideterminazione ormeggio;
- specifiche dello scafo e dell’ormeggio;
- specifiche del sistema di conversione;
- avamprogetto del sistema di conversione dei energia full scale;
- analisi di soluzioni dedicate alla trasformazione della potenza meccanica in potenza elettrica;
- analisi delle prestazioni del sistema in termini di energia annua producibile.

Risultati/Deliverable:

- Report di sintesi “Metodologia progettuale di un sistema di produzione di energia da moto ondoso”

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

f. Comunicazione e diffusione dei risultati

La diffusione dei risultati della ricerca sarà effettuata nel modo più adatto a rendere la comunità scientifica e industriale, sia nazionale che internazionale, consapevole dei risultati ottenuti e delle competenze acquisite nel corso del progetto. I documenti saranno proposti sia alle principali riviste internazionali sia ai congressi scientifici del settore. I risultati scientifici attesi dallo svolgimento del programma di ricerca saranno pienamente divulgati. Come ulteriore attività di divulgazione saranno realizzati rapporti tecnici in cui saranno descritti in dettaglio i risultati ottenuti. Sarà inoltre analizzata e presentata la potenzialità che tali risultati rivestono nel campo dell’estrazione di energia dal mare. I rapporti saranno resi disponibili sul sito web ENEA dedicato al progetto.

Sarà assicurata una presenza tecnicamente qualificata in sedi internazionali quali la European Energy Research Alliance (EERA).

Nell’ambito di questo obiettivo si prevede inoltre di mantenere in operatività il Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS, Decision Support System) di tipo GIS-based (DSS-WebGIS), già implementato nel corso del precedente PAR e denominato “Waves Energy” (<http://utmea.enea.it/energiadalmare/>). Inoltre sarà garantita la continuità della divulgazione a mezzo di sito web dedicato dei dati di forecast dell’energia delle onde.

Nel corso del presente progetto il sito web sarà ampliato permettendo la visualizzazione del forecast relativo alle correnti marine (obiettivo a).

Come concordato tra ENEA e RSE, al fine di dare ampia diffusione ai risultati ottenuti all’interno del progetto, verrà garantita la divulgazione della newsletter sul tema dell’energia dal mare in Italia (già introdotta nel precedente PAR) e dei risultati ottenuti in ambito “Ricerca di sistema elettrico”.

Infine sarà organizzato un workshop per divulgare i risultati ottenuti nel corso delle due annualità precedenti e di quelli previsti per il presente progetto.

Risultati/Deliverable:

- Rilascio della newsletter sull’energia dal mare
- Workshop per la divulgazione dei risultati
- Gestione dei siti web necessari alla divulgazione dei dati di forecast e DSS
- Sviluppo di un sito web dedicato alla presentazione dei dati di forecast delle correnti marine

Durata: ottobre 2015-settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015				2016							
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Sistema di previsione della circolazione marina del Mediterraneo												
b	Sviluppo di un codice di previsione degli sforzi dinamici e della potenza erogabile di Wave Energy Converter per applicazioni nel Mar Mediterraneo												
c	Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare												
d	Monitoraggio e sviluppo di algoritmo per l'ottimizzazione dell'energia prodotta da un OWC in scala 1:1												
e	Progettazione di un sistema full scale (denominato PEWEC) per la produzione di energia da moto ondoso												
f	Comunicazione e diffusione dei risultati												

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Sistema di previsione della circolazione marina del Mediterraneo	990	38	23	48	0	0	1	0	110
b	Sviluppo di un codice di previsione degli sforzi dinamici e della potenza erogabile di Wave Energy Converter per applicazioni nel Mar Mediterraneo.	940	36	21	0	0	0	0	15	72
c	Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare	940	36	21	0	0	4	1	0	62
d	Monitoraggio e sviluppo di algoritmo per l'ottimizzazione dell'energia prodotta da un OWC in scala 1:1	940	36	21	0	0	0	0	38	95
e	Progettazione di un sistema full scale (denominato PEWEC) per la produzione di energia da moto ondoso	1120	43	26	6	0	0	1	47	123
f	Comunicazione e diffusione dei risultati	520	20	12	0	4	0	2	0	38
TOTALE		5450	209	124	54	4	4	5	100	500

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento; include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto del personale impiegato nei diversi centri a pari a 38,3 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (k€)	Costo PAR2015 (k€)*	Uso attrezzatura
a	Storage per sistema operativo	32	2	Storage dei dati prodotti nel corso della presente annualità
a	NETAPP BUNGLE 040/2015/278	30	10	Storage dei dati prodotti nel corso della presente annualità
a	Upgrade sistema SILICON GRAPHICS INTERNATIONAL upgrade A 128 CORE UV2	67	19	Upgrade sistema di calcolo dedicato al sistema di previsione
a	Upgrade NETAPP da FAS 3240 a FAS 8020 040/2015/135	33	11	Storage dei dati prodotti nel corso della presente annualità
e	Banco prova del generatore elettrico. Generatore (PTO), motoriduttore, driver elettronica di acquisizione sensoristica e meccanica.	120	6	Costruzione del banco di prova del generatore elettrico

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili; in grassetto attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
f	Organizzazione Workshop	4.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Le attività non prevedono servizi di consulenza o acquisizione di competenze e brevetti.

4) Attività previste per le Università cobeneficarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
b	<p>Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale - Progettazione e sviluppo di un software di predizione delle azioni dinamiche e delle potenze erogate da Wave Energy Converters per la produzione di energia elettrica da moto ondoso.</p> <p><i>Contenuti della ricerca:</i> La presente ricerca ha come obiettivo fondamentale quello di produrre e rendere disponibile per le imprese interessate uno strumento in grado di predire:</p> <ul style="list-style-type: none"> - le azioni dinamiche sulla struttura di un dispositivo di conversione di energia del moto ondoso - la sua producibilità in termini di potenza elettrica resa disponibile. <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale (DIMA) della Sapienza Università di Roma è coinvolto da diversi anni nel settore delle energie rinnovabili marine. Attività di ricerca hanno riguardato la progettazione di turbine Wells per sistemi OWC, lo studio numerico/sperimentale di dispositivi in grado di convertire la energia da correnti (in collaborazione con il CNR/INSEAN), lo studio teorico modellistico di dispositivi di conversione di energia da moto ondoso di tipo off-shore. A completamento della precedente descrizione, si fa presente che il gruppo di ricerca in questione ha partecipato a un programma di ricerca industriale finanziato con fondi privati nel settore della progettazione di dispositivi Eolici Off-shore.</p> <p>Il DIMA, inoltre è la sede della Associazione OWEMES Onlus (www.owemes.org) che si dedica alla promozione delle fonti energetiche marine nel Mar Mediterraneo. In particolare la Associazione svolge attività di networking fra i diversi soggetti interessati alle tematiche della ocean energy dal punto di vista della ricerca, della progettazione e della realizzazione. Infine presso il DIMA esiste una lunga tradizione di sviluppo e validazione di codici di calcolo di predizione di sistemi energetici e loro componenti adottando approcci di tipo 0D fino a 3D stazionari o non stazionari. Le capacità del gruppo di lavoro sono state documentato ampiamente negli anni tramite la pubblicazione di articoli scientifici su riviste nazionali e internazionali. Queste caratteristiche permettono al gruppo di ricerca del DIMA di affrontare con esperienza ed affidabilità le linee di ricerca proposte.</p>	15

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
d	<p>Università 'Mediterranea' di Reggio Calabria, Dipartimento Ingegneria Civile, Energia, Ambiente - Monitoraggio e sviluppo di algoritmi per l'ottimizzazione dell'energia prodotta da un OWC in scala 1:1.</p> <p><i>Contenuti della ricerca:</i> Oggetto del contratto è l'esecuzione di attività sperimentali di campo su un cassone OWC in scala 1:1 installato presso il porto di Civitavecchia. Le attività riguarderanno inoltre lo sviluppo di un algoritmo di controllo del PTO per l'ottimizzazione dell'energia prodotta. Le attività di monitoraggio saranno condotte in collaborazione con ENEA.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Meccanica e Materiali della Facoltà di Ingegneria dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria ha una lunga esperienza nel campo dell'energia dal mare ed in particolare nello studio, progettazione e sperimentazione dei dispositivi a colonna d'acqua oscillante. Inoltre l'Università Mediterranea è l'unica realtà italiana a possedere un laboratorio in ambiente marino naturale per la verifica di funzionamento dei prototipi a colonna d'acqua oscillate. Il laboratorio è denominato NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory). Inoltre il Dipartimento di Meccanica e Materiali segue da alcuni anni i lavori di costruzione della prima diga portuale a cassoni OWC per la produzione di energia elettrica presso il porto di Civitavecchia. Considerato che parte delle attività condotte nel presente PAR saranno dedicate all'ottimizzazione e al controllo del sistema PTO di un cassone OWC simile a quello presente a Civitavecchia, la scelta dell'Università di Reggio Calabria appare di fatto l'unica possibile.</p>	38
e	<p>Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale - Progettazione di un sistema full scale (denominato PEWEC) per la produzione di energia da moto ondoso</p> <p><i>Contenuti della ricerca:</i> Le attività di ricerca prevedono, a prosecuzione dei precedenti accordi di collaborazione, la progettazione del prototipo PEWEC, già realizzato nel corso della precedente annualità in scala 1:45 e 1:12, in full scale. La realizzazione del prototipo sarà in collaborazione con ENEA.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale (DIMEAS) del Politecnico di Torino è già da diversi anni all'avanguardia in Italia nel settore delle energie rinnovabili in ambiente marino. In particolare, il gruppo di ricerca in questione è specializzato nella tecnologia della conversione di energia da moto ondoso. Le competenze acquisite spaziano dallo studio della risorsa marina, alla definizione delle specifiche meccaniche ed elettriche di sistema, alla progettazione e realizzazione di prototipi in scala ridotta e reale. Tale esperienza è comprovata dalla deposizione di un brevetto tecnologico dedicato, da pregresse attività sperimentali sia in vasca navale su modelli in scala (come quelle ad esempio effettuate al CNR INSEAN di Roma) sia su banchi prova a secco tramite sistemi HIL (Hardware-in-the-loop), da modellazione matematica avanzata dei sistemi in questione e soprattutto dalla prossima installazione di un dispositivo in scala reale al largo dell'Isola di Pantelleria. Il progresso tecnologico del lavoro svolto dal gruppo è stato documentato ampiamente negli anni tramite la pubblicazione di articoli scientifici su riviste nazionali e internazionali. Queste caratteristiche permettono al gruppo di ricerca del DIMEAS di affrontare con esperienza ed affidabilità il lavoro previsto per l'obiettivo e.</p>	47
TOTALE		100

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

L'ENEA ha partecipato al progetto FP7 SINGULAR (Smart and Sustainable Insular electricity Grids Under Large-Scale Renewable Integration) allo sviluppo di modelli integrati per la gestione 'smart' dei flussi di energia prodotti da diverse fonti energetiche rinnovabili (tra cui l'energia dal mare) disponibili su alcune isole dell'area mediterranea e atlantica. Il Progetto si è concluso il 30 novembre 2015.

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Nel corso del piano triennale dell'Accordo di Programma tra ENEA e Ministero dello Sviluppo Economico (PAR2012-2014) sono state svolte da ENEA, nell'ambito del progetto "Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine", numerose attività relativamente all'energia dal mare, passando da una fase esplorativa di fattibilità alla realizzazione di due prototipi.

Prototipo N.1 di tipo "on-shore"

Nel corso del PAR è stato realizzato, in collaborazione con il beneficiario universitario Università di Reggio Calabria, un modello in scala 1:8 di un cassone in acciaio di tipo REWEC3 caratterizzato dall'elevata modularità delle sue parti attive (REWEC-GeometriaVariabile (REWEC-GV)). Al fine di condurre prove sulle prestazioni idrodinamiche, sulle sollecitazioni agenti sulle componenti modulari, e sull'energia ondata assorbita dall'impianto in ambiente reale il prototipo è stato installato presso il laboratorio NOEL

dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria sito sulla costa calabra dello Stretto di Messina. Il prototipo è stato successivamente equipaggiato con idonea strumentazione per il monitoraggio delle grandezze idrodinamiche fondamentali (sonde ultrasoniche, trasduttori di pressione, etc). E' stato inoltre condotto uno studio in collaborazione con la Scuola S. Anna di Pisa su un PTO (Power Take off) polimerico basato su Generatori ad Elastomero Dielettrico (DEG) adatto all'applicazione e integrazione con il REWEC-GV.

Prototipo N.2 di tipo "off-shore"

Nel corso del PAR è stato realizzato il prototipo denominato PEWEC (PEndulum Wave Energy Converter), realizzato in scala 1:12 in collaborazione con il beneficiario universitario Politecnico di Torino. Il prototipo è stato testato presso la vasca navale del CNR-INSEAN. Dalle prove è emerso che la probabile produttività media annua dello stesso prototipo in scala 1:1 da 100 kW, installato a circa 1 km dalla costa nord occidentale della Sardegna, ad una profondità di 40 m, sarebbe di circa 200 MWh/anno. L'attuale livello di maturità tecnologica raggiunto permette quindi di prevedere con un buon grado di attendibilità una ricaduta applicativa a breve termine della ricerca.

E' stata realizzata una nuova climatologia ad alta risoluzione spaziale dell'energia associate al moto ondoso nel bacino mediterraneo che include l'analisi di dettaglio relativa agli spettri bidimensionali dell'energia in alcuni punti della costa italiana. Particolare attenzione è stata posta alla caratterizzazione dell'energia ondosa attraverso il calcolo di specifici indicatori di produttività. E' stato inoltre realizzato il primo sistema di previsione dell'energia ondosa a scala mediterranea caratterizzato da una risoluzione spaziale di 4 Km. La risoluzione aumenta fino a 800m per 11 regioni costiere italiane che sono state individuate, sempre nel corso del precedente PAR, come aree particolarmente interessanti per un possibile sfruttamento dell'energia da moto ondoso. Sono state gettate le basi per uno studio sistematico e approfondito dei possibili impatti ambientali prodotti dall'installazione di un sistema di conversione off-shore del tipo PEWEC presso l'isola di Pantelleria. Il sistema di monitoraggio prevede l'uso delle più avanzate tecniche di telerilevamento accoppiate a sporadiche misure in situ.

Le attività che saranno condotte nella presente annualità sono per la maggior parte attività a prosecuzione di quelle realizzate nella precedente annualità; nello specifico sarà realizzato, parallelamente al sistema operativo del moto ondoso già sviluppato, un sistema operativo in grado di precedere le correnti tridimensionali dell'intero bacino mediterraneo ad una risoluzione spaziale particolarmente alta. Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove in vasca navale dell'INSEAN, sarà progettato il prototipo PEWEC in scala 1:1. Sarà inoltre progettato e costruito il sistema *hardware in the loop* per il PTO del PEWEC. Sempre a prosecuzione delle attività iniziate nel corso dell'annualità precedente, sarà affinata la tecnica di monitoraggio ambientale nei pressi del sito di installazione dell'unico sistema di conversione off-shore presente in Italia (Pantelleria). Il progetto prevede inoltre due nuove attività: il monitoraggio e la creazione di algoritmi ad hoc per la gestione e ottimizzazione dell'energia prodotta dal PTO di un sistema OWC realizzato in scala 1:1 presso il porto di Civitavecchia; la realizzazione di un codice numerico in grado di predire gli sforzi dinamici e la potenza erogabile da un sistema di conversione del moto ondoso pensato per applicazioni nel Mar Mediterraneo.

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

L'Europa si trova oggi ad affrontare diversi problemi che vanno da una domanda energetica crescente, a prezzi volatili, a problemi di approvvigionamento, alla necessità di ridurre l'impatto ambientale del settore energetico, in una situazione anche di crisi finanziaria ancora non conclusa. La crescita sostenibile a livello globale del sistema energetico è fortemente legata alla diffusione di tecnologie in grado di minimizzare gli impatti sull'ambiente, alla innovazione nelle politiche energetiche dei governi che favorisca l'adozione di tali tecnologie ed un cambiamento nel comportamento dei produttori e consumatori di energia. Per affrontare queste problematiche l'UE ha varato dei piani orientati a garantire ai cittadini ed alle imprese una energia sicura, accessibile e rispettosa dell'ambiente, definendo obiettivi in materia di clima ed energia per il 2020, 2030 e 2050. In particolare gli obiettivi per il 2020 consistono nel ridurre le emissioni climalteranti del 20% rispetto ai livelli del 1990, nell'ottenere il 20% dell'energia da fonti rinnovabili e migliorare l'efficienza energetica del 20%. Tali obiettivi si ritiene che siano non solo raggiungibili ma anche superabili relativamente alla riduzione dei gas serra e all'adozione di energia da fonti rinnovabili.

Per il 2030 si prevede di:

- raggiungere il 40% nella riduzione delle emissioni climalteranti,
- aumentare al 27% il contributo energetico da fonti rinnovabili,
- aumentare l'efficienza energetica del 27-30%,
- aumentare l'interconnessione della rete elettrica del 15%.

L'obiettivo al 2050 consiste nel ridurre le emissioni dei gas serra dell'80-95% per contenere entro i 2°C l'incremento della temperatura media del pianeta (scenario 2DS).

E' ormai consolidata l'opinione, sia a livello europeo che nazionale e confermata dall'Agenzia Internazionale per l'Energia (rapporto Energy Technology Perspective del 2015), che la sfida di arrivare ad un sistema energetico globale sostenibile dal punto di vista ambientale, economicamente competitivo ed in grado di garantire una sicurezza sugli approvvigionamenti energetici, si affronta investendo nell'accelerazione dell'innovazione tecnologica e nell'incoraggiare il rapporto collaborativo tra ricerca scientifica e tecnologica ed il sistema industriale, al fine di introdurre e diffondere le tecnologie per la sua de-carbonizzazione. L'evoluzione tendenziale del sistema energetico globale è stimato che determinerebbe al 2050 un raddoppio delle emissioni del gas serra, rispetto al 2009, con un conseguente innalzamento medio della temperatura terrestre di 6°C. Tra i gas climalteranti la CO₂ assume una rilevanza enorme data la quantità che viene prodotta e rilasciata nell'atmosfera dagli impianti di produzione di energia elettrica basati sulla combustione di fossili e dall'industria di processo.

Accelerare la transizione verso un sistema energetico de-carbonizzato, transizione che si prevede durerà ancora qualche decennio, implica quindi investire nell'efficienza energetica, fare un massiccio ricorso alle fonti rinnovabili, incentivare l'adozione sempre maggiore di tecnologie CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage) per l'abbattimento delle emissioni di CO₂ provenienti da impianti a fossili, sviluppare nuovi combustibili, affrontare i problemi di stabilità delle reti di distribuzione dell'energia elettrica che nasce dall'integrazione tra impianti basati sulle rinnovabili ed impianti a fossili.

La favorevole congiuntura determinata dalla sensibile riduzione del prezzo del barile di petrolio accoppiata con i primi cenni di una ripresa economica, che sembra consolidarsi a livello globale, potrebbe rappresentare una grande opportunità per intensificare gli investimenti di ricerca e sviluppo delle tecnologie CCUS, e gettare le basi per la creazione di una filiera tecnologica in grado di impattare favorevolmente su tutto il "sistema paese" quando tali tecnologie raggiungeranno la maturità commerciale e lo scenario politico ne incoraggerà la diffusione.

L'uso crescente delle rinnovabili (la UE stima un 40% su base volontaria nel 2030), alcune delle quali, come

il fotovoltaico o l'eolico, intrinsecamente non programmabili, sta cambiando lo scenario di riferimento della generazione di energia elettrica. In questa transizione verso la generazione di elettricità "verde" si deve tener conto che il problema dell'abbattimento delle emissioni associate alla generazione da fonte fossile, connesso fortemente allo sviluppo delle tecnologie CCS, si accoppia con il più contingente tema della "load-flexibility", ovvero della flessibilità di esercizio degli impianti di generazione programmabili, necessaria a compensare le fluttuazioni di potenza associate alle rinnovabili non programmabili.

I combustibili fossili, dal carbone al gas naturale, costituiranno ancora per qualche decennio le fonti primarie di produzione dell'energia, e quindi accanto agli impianti alimentati a carbone, che rappresentano i maggiori emettitori di CO₂, bisogna considerare anche quelli alimentati a gas naturale in grande sviluppo, anche grazie ai nuovi giacimenti di gas, convenzionale e non, recentemente scoperti nel mondo (sfruttamento dei giacimenti shale gas in USA con stime in costante crescita sulle riserve a livello mondiale).

Il governo italiano, attraverso il documento di Strategia Energetica Nazionale (SEN) ha definito una serie di azioni, in coerenza con la Roadmap 2050 di de-carbonizzazione europea, facendo delle scelte di fondo selezionando le tematiche strategiche su cui indirizzare la Ricerca e Sviluppo in ambito nazionale, e realizzando un Polo Tecnologico (Piano Sulcis, frutto di un accordo tra Regione Sardegna ed alcuni Ministeri governativi) per lo sviluppo di energie 'zero emission'. Una delle tematiche strategiche riguarda lo sviluppo delle tecnologie di cattura, confinamento e riuso della CO₂, dato il ruolo ancora dominante che i combustibili fossili hanno nella produzione di energia elettrica e nell'industria di processo. Le attuali tecnologie in questo ambito non consentono ancora una larga applicazione a livello industriale dovuto principalmente al fatto che il rapporto (*costi di investimento*)/(*costi sulle emissioni*) è ancora elevato; per questo sono necessarie attività di R&S per sviluppare tecnologie innovative dal punto di vista dell'efficienza, del consumo energetico e dei costi.

Scopo del Progetto B.2 è quello di sviluppare, validare teoricamente e sperimentalmente e dimostrare, anche attraverso impianti di scala significativa, una serie di tecnologie innovative per l'impiego sostenibile di combustibili fossili, sia per la produzione di energia elettrica che di combustibili. In particolare le attività di ricerca sono finalizzate allo sviluppo di tecnologie impiantistiche più efficienti e maggiormente abilitanti all'applicazione di tecnologie CCS, allo sviluppo di tecniche di cattura, stoccaggio e riutilizzo della CO₂. Tali sviluppi tecnologici, principalmente indirizzati verso il settore termoelettrico, sono spesso trasportabili nell'industria di processo altamente energivora (industria cementiera, petrolchimica, siderurgica, industria del vetro,..)

Il progetto in gran parte prevede il proseguo e completamento di attività di R&S già iniziate nel precedente PAR 2012-2014.

Descrizione del prodotto dell'attività

Il Progetto intende favorire l'uso sostenibile di combustibili fossili mediante la rimozione della CO₂ (de-carbonizzazione del combustibile o dei fumi), definire interventi per l'efficientamento dei cicli e della combustione che riducano significativamente il livello di emissioni e massimizzino la flessibilità di esercizio e di combustibile, sviluppare soluzioni per lo *storage* della CO₂, sviluppare tecniche alternative allo *storage* della CO₂ che prevedano il suo riutilizzo, sviluppare tecnologie di compressione orientate al trasporto. In particolare prodotto finale delle attività sono un ventaglio di tecnologie (dimostrabili in laboratorio o su impianti pilota), metodi e studi, che riguardano:

- la cattura di CO₂ mediante sorbenti, membrane e solventi e la loro rigenerazione per applicazioni sia nel settore termoelettrico che nell'industria di processo altamente energivora;
- sistemi alternativi allo stoccaggio della CO₂, come il suo utilizzo per la produzione di materiali ('mineral carbonation') e chemicals, facilmente trasferibili anche all'industria di processo quale, ad esempio, l'industria siderurgica;
- la produzione di combustibili alternativi (SNG) e 'chemicals' da carbone o CO₂;
- dispositivi a combustione di metano efficienti, scarsamente inquinanti, caratterizzati da alta flessibilità di carico e di combustibile di alimentazione, per combustione di tipo tradizionale (in aria) e "oxy";

- cicli turbogas EGR (Exhaust Gas Recirculation) in grado di accoppiare la flessibilità di esercizio tipica delle turbine a gas, con l'implementazione efficace delle tecnologie CC(S), accoppiabili con cicli chiusi a S-CO₂ per lo sviluppo di cicli combinati più 'puliti', flessibili ed efficienti; ossi-combustione di gas in CO₂ supercritica, per lo sviluppo di impianti di potenza intrinsecamente predisposti per una facile cattura della CO₂;
- tecnologie per la compressione e il trasporto della CO₂ proveniente da processi di cattura;
- ottimizzazione dei processi di ossi-combustione pressurizzata di carbone;
- caratterizzazione del bacino del Sulcis come potenziale sito per esperimenti di stoccaggio di CO₂;
- sviluppo, presso il bacino minerario del Sulcis, di strutture sperimentali per un centro di eccellenza, di valenza internazionale, sulle tecnologie del confinamento geologico della CO₂ e più in generale dell'uso sostenibile dei combustibili fossili.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Le tecnologie CCS è indubbio che concorrono alla riduzione delle emissioni dei gas serra degli impianti di generazione da fossile, ma le tecnologie CCS considerate mature non sono ancora stata applicate su larga scala. Gli impianti con la CCS potrebbero essere commerciabili se venissero incentivati attraverso strumenti regolatori e/o se diventassero economicamente competitivi rispetto agli impianti della stessa tipologia privi di CCS, ad esempio se i costi addizionali operativi e di investimento venissero compensati da un prezzo del carbonio sufficientemente alto.

Le barriere allo sviluppo su larga scala delle tecnologie CCS includono quindi i costi di investimento, la penalizzazione energetica e le criticità legate alla sicurezza operativa e all'integrità a lungo termine dello stoccaggio della CO₂, oltre ai rischi collegati al suo trasporto. Sono quindi necessarie attività di R&S su tutte le componenti delle CCS, finalizzate al superamento delle barriere prima citate, con particolare riferimento alla riduzione dei costi e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche per il riutilizzo della CO₂ nel ciclo produttivo di materiali e di combustibili innovativi per la generazione di energia e l'autotrazione.

L'implementazione delle CCS è particolarmente problematica per gli impianti turbogas, sia a ciclo semplice che combinato, a causa della bassa concentrazione della CO₂ nei gas di scarico che rende il processo di cattura meno efficiente, richiede *facilities* dedicate più voluminose e quindi penalizzanti sia in termini di CAPEX (*CAPital EXpenditures*) che di OPEX (*OPERational EXpenditures*). Tra le tecnologie di conversione da fonte fossile, i turbogas a ciclo semplice espongono la più elevata flessibilità di carico (*load-flexibility*), requisito indispensabile per compensare le fluttuazioni di potenza associate alle rinnovabili non programmabili, che li rende pertanto strategici per lo sviluppo e il supporto del futuro sistema energetico "low carbon". Nello scenario energetico attuale, il margine di utilizzo dei cicli combinati è già fortemente compromesso proprio a causa del deficit di flessibilità di carico, che, paradossalmente, emargina dal mercato elettrico sistemi di conversione che fino a pochissimi anni fa erano tra i più remunerativi. L'implementazione delle CC(S) alla attuale tecnologia dei cicli combinati non può che esacerbare il problema, incrementando ulteriormente i tempi di avviamento e di risposta alle variazioni di carico. La crescente produzione elettrica da rinnovabili, programmabili e non, oltre al requisito della flessibilità di carico, porrà il problema della flessibilità di combustibile (*fuel-flexibility*), dovuta sia alla crescente globalizzazione del mercato dei combustibili già in atto, sia all'immissione nell'infrastruttura di rete di combustibili gassosi di provenienza "extra-giacimento" (digestori, power2gas, gassificazione del carbone e/o biomasse, LNG). La variabilità nella composizione del combustibile può indurre fenomeni di instabilità di combustione con conseguenti possibili rotture e fermi di impianto, che si traducono in penalizzazioni in termini di costi, sicurezza e disponibilità del sistema di conversione.

L'ENEA già da qualche anno, in linea con le attività di R&S internazionali, ha affrontato le problematiche inerenti la cattura della CO₂ in pre-combustione sperimentando sorbenti solidi (naturali e sintetici), liquidi e sistemi innovativi di trattamento di syngas (CO-shift, desolforazione, ...), utilizzando piattaforme sperimentali quali l'impianto ZECOMIX, finalizzato allo studio di decarbonatazione con sorbenti solidi ('*Calcium Looping*'), e conducendo attività sperimentali su *facility* presenti ed in corso di progettazione presso SOTACARBO. Altre piccole piattaforme sperimentali (VALCHIRIA, GESSYCA) sono state implementate per lo studio di sistemi alternativi allo stoccaggio della CO₂, come la '*Mineral Carbonation*', e sistemi di

cattura in pre-combustione di carbone o co-combustione biomassa-carbone con produzione di combustibili gassosi come il Synthetic Natural Gas (SNG) immediatamente immettibile in rete.

La produzione di combustibili e *'chemicals'* di utilità, quali metano, metanolo, dimetil-etero, etc. da CO₂ e H₂ è una soluzione importante non solo ai fini della riduzione delle immissioni in atmosfera della CO₂, ma anche allo sfruttamento del *surplus* di energia proveniente da impianti, principalmente basati su fonte rinnovabile non immettibile in rete (*'power to gas'*). L'ENEA ha dimostrato il processo di conversione a metano attraverso un impianto denominato FENICE ed iniziato un'attività di studio per la sintesi del metanolo e dimetil-etero, quest'ultimo un combustibile destinato alla sostituzione del gasolio nei motori diesel.

Per quanto concerne la problematica di *'load flexibility'* e *'fuel flexibility'* relativa agli impianti di generazione programmabili, da qualche anno l'interesse dell'industria, sia nazionale e soprattutto internazionale, è rivolto verso cicli EGR (Exhaust Gas Recirculation), potenzialmente in grado di accoppiare la flessibilità di esercizio tipica delle turbine a gas, con l'implementazione efficace delle tecnologie CC(S) in post-combustione (cattura sui fumi arricchiti di CO₂). L'ENEA ha iniziato studi teorici e sperimentali su questa tecnologia, con una visione prospettica anche verso cicli a CO₂ supercritica, implementando una piattaforma sperimentale (AGATUR) in corso di sviluppo. Per quanto riguarda i cicli a CO₂ supercritica, si fa presente come questo tema è di particolare rilievo negli USA, tanto che il DOE (Department of Energy) ha finanziato ben 29 progetti per un ammontare complessivo di 44M\$, con un cofinanziamento delle industrie di 10M\$. In ambito europeo alcuni stati membri (ad es. UK) hanno deciso di investire risorse provenienti da programmi nazionali, come pure industrie di rilievo hanno intrapreso attività esplorative volte alla validazione della tecnologia (es. General Electric, SINTEF). Anche il Giappone sta esprimendo un vivo interesse su questa tecnologia (Allam Cycle in fase di implementazione da parte di Toshiba e NetPower).

L'ENEA nell'ultimo biennio ha deciso di investire risorse nell'ambito dei cicli a S-CO₂, operando attivamente sia nel contesto nazionale con attività svolte nel precedente piano triennale della RdS, sia nel contesto internazionale, coordinando in ambito ETN (European Turbine Network) un gruppo per l'organizzazione di un progetto Europeo sullo sviluppo di un ciclo di potenza a S-CO₂ di concezione ENEA. Le attività svolte in ambito internazionale hanno avuto positivo riscontro anche nella compagine industriale, trovando riconoscimento nella firma di un accordo di riservatezza (NDA) tra ENEA e il GE Global Research di Monaco di Baviera, a seguito della manifestazione di interesse del centro ricerca tedesco verso specifiche soluzioni sui cicli di potenza a S-CO₂ sviluppate dall'ENEA.

In questo ambito, risulta rilevante lo studio di tecnologie avanzate per la compressione ed il trasporto della CO₂ allo stato supercritico; tali sistemi di compressione possono essere sia integrati con l'isola di potenza di un impianto di conversione equipaggiato con CC(S), sia utilizzati come sistemi stand-alone in grado di operare in coda ad impianti di conversione "capture ready" o quale stazione per il pompaggio di spinta su una linea di trasporto.

IL PROGETTO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Nel precedente PAR 2012-2014 le attività di R&S erano suddivise, come pure in questo triennio, in due linee progettuali, la prima delle quali vedeva come organo esecutore ENEA, e la seconda, ascritta al Polo Tecnologico del Sulcis, che prevedeva come organo esecutore SOTACARBO ed ENEA. I risultati ottenuti nel corso del precedente triennio, raggruppati per tematiche, possono essere così sintetizzati:

Tecnologie di gassificazione, cleanup e trattamento del syngas prodotto fino alla produzione di SNG (Synthetic Natural Gas)

- Realizzazione di una prima parte dell'impianto GESSYCA (Generatore Sperimentale di SYngas da Carbone), finalizzato allo sviluppo e sperimentazione dei processi di gassificazione e co-gassificazione di carboni e biomasse con acquisizione del know-how volto allo sviluppo di sensoristica dedicata e di un sistema di controllo automatico, nonché alla sperimentazione di catalizzatori e configurazioni multi-reattore per la produzione, a partire da miscele costituite da syngas e idrogeno, di gas naturale sintetico (SNG) ad elevata concentrazione di metano. Sviluppo di modellistica finalizzata all'analisi

tecnica ed economica del processo di produzione di SNG integrato con sistemi CCS. Sviluppo, caratterizzazione e prova di nuovi catalizzatori (in collaborazione con Politecnico di Milano – DIE e Università di Cagliari – DSCG)

- Sviluppo in scala laboratorio di un sistema di abbattimento del TAR contenuto nel syngas mediante cracking autotermico e catalitico (in collaborazione con Università di Roma “Sapienza” – DICMA)
- Realizzazione di un modello finalizzato all’analisi tecnica ed economica del processo di produzione di Substitute Natural Gas da carbone (SNG) attuato in impianti integrati con sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂.

Produzione di combustibili liquidi da carbone e biomasse

- Realizzazione di un modello finalizzato all’analisi tecnica ed economica del processo di produzione di combustibili liquidi da carbone (CTL) e biomasse (BTL), attuato in impianti integrati con sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂
- Sviluppo, sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori innovativi per la produzione di combustibili liquidi da carbone e biomasse (in collaborazione con Politecnico di Milano – DIE)

Tecnologie di cattura in pre- e post-combustione, con sorbenti solidi naturali e sintetici, basate sul principio del “Calcium Looping

- Sviluppo di un sorbente solido sintetico, a base di ossido di calcio, in grado di sopportare oltre 1000 cicli di cattura-rigenerazione senza apprezzabile decadimento delle sue prestazioni in termini di cattura della CO₂.
- Messa a punto di un processo di pre-trattamento termico di un sorbente naturale (ossido di calcio) al fine di aumentarne la stabilità in fase di cattura e successiva rigenerazione, e consentire, fatta salva la non pericolosità per l’uomo e per l’ambiente, un drastico abbattimento dei costi di cattura
- Messa a punto e verifica sperimentale, sulla Piattaforma ZECOMIX, di un processo innovativo per la produzione, ad alta temperatura, di un gas ad alto contenuto di idrogeno a partire da CO e vapore (processo SE-WGS - Sorption Enhanced Water Gas Shift). Tale processo consente di realizzare la reazione di CO-shift con simultanea rimozione della CO₂, in assenza di catalizzatori (in collaborazione con Università de L’Aquila).
- Sviluppo di un modello per la simulazione di letti fluidi bollenti, basato sulla teoria delle “due fasi” (in collaborazione con Università de L’Aquila)
- Sviluppo di un modello “a grani” per la simulazione della reazione tra ossido di calcio e anidride carbonica (in collaborazione con Università de L’Aquila)
- Upgrade di due importanti facility sperimentali:
- Piattaforma multifunzionale ZECOMIX per l’integrazione dei processi di gassificazione in letto fluido bollente, la decarbonizzazione del syngas prodotto, ricco di idrogeno, tramite sorbenti solidi e la successiva produzione di energia elettrica attraverso una microturbina modificata per elaborare il syngas;
- Impianto VALCHIRIA per studi e messe a punto di tecnologie volte all’inertizzazione e valorizzazione di scorie di acciaierie e contemporanea cattura della CO₂

Brucciatori per turbogas caratterizzati da ampia load- e fuel-flexibility

- Sviluppo di una filiera di bruciatori innovativi per turbine a gas, basati sul principio della combustione Trapped Vortex/MILD, caratterizzati da alta efficienza, alta stabilità e ampia flessibilità di carico e di combustibile (in collaborazione con Università di Roma TRE – DIMA).

Sviluppo di cicli turbogas a CO₂ caratterizzati da una combustione operante con crescente percentuale di anidride carbonica ricircolante

- Realizzazione di una importante facility sperimentale (Piattaforma AGATUR) per lo sviluppo di cicli turbogas EGR (Exhausts Gas Recirculation)

- Sviluppo di un ciclo termodinamico Bryton avanzato, basato sull'uso di CO₂ supercritica (S-CO₂), che possa rappresentare una risposta efficiente e sostenibile alla crescente richiesta di 'load flexibility' proveniente dalla rete, e porti alla realizzazione di impianti con intrinseca cattura "pipeline ready" utilmente integrabili con le rinnovabili e potenzialmente impiegabile per l'estrazione "water free" dello shale gas. I cicli a S-CO₂ con ossicombustione rappresentano la potenziale soluzione "olistica" ai problemi della cattura, dello stoccaggio e dell'utilizzo della CO₂ unitamente allo sviluppo di una tecnologia estrattiva dello shale gas più sostenibile. Le attività sui cicli a S-CO₂ con ossicombustione, che l'ENEA ha condotto con proprie risorse, sono state "fertilizzate" dagli studi condotti nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico per lo sviluppo di un ciclo di potenza accoppiato con il loop ISOTHERM PWR.

Utilizzo della CO₂ per produzione di combustibili

- Acquisizione del know-how relativo alla produzione di Metano da CO₂ e H₂, integrato con rinnovabili in applicazioni "power to gas", e realizzazione di un dimostrativo del processo denominato impianto FENICE.

Strumenti di impiego orizzontale

- Sviluppo di modelli di simulazione avanzati per la descrizione di fenomeni di combustione relativamente a fluidi in condizioni di alta pressione a supporto delle attività di studio di cicli turbogas a CO₂ supercritica; studio numerico delle fenomenologie di instabilità termo-acustiche derivanti dalle variabilità di condizioni operative delle macchine turbogas sottoposte a variazioni di carico e di composizione di combustibile.
- Sviluppo di diagnostica avanzata, di tipo non invasivo (ottica) per misure fluidodinamiche, termiche, chimiche e di stabilità per sistemi reattivi.

Divulgazione

- Organizzazione di quattro Meeting internazionali sui temi della combustione e delle CCUS.
- Organizzazione di due Workshop sui risultati della Ricerca di Sistema Elettrico.
- Oltre ai previsti report tecnici, peraltro integralmente disponibili sul sito della Ricerca di Sistema Elettrico, produzione di 52 pubblicazioni su riviste internazionali e 33 memorie a congressi nazionali e internazionali.

Le attività di R&S svolte nei precedenti piani triennali hanno determinato importanti ricadute industriali. In particolare, un brevetto ENEA per bruciatori TG ha stimolato la costituzione di una nuova società (Burning s.r.l) per lo sviluppo e la progettazione di dispositivi a combustione di metano efficienti, scarsamente inquinanti e con alte prestazioni di flessibilità di carico e combustibile. E', inoltre, in corso una trattativa per una commessa da parte della società AFT (*Alternative Fuels&Technology*) / *Consorzio di imprese BIOGAS upgrading&CO2recovery*, generata dai risultati dell'attività di R&S inerenti la conversione di CO₂ in combustibili (CH₄, DME per autotrazione) e condotti sulla facility FENICE.

Principali risultati conseguiti dal Polo Tecnologico

Gassificazione, trattamento syngas e cattura della CO₂

- Acquisizione di know-how e sviluppo di tecnologie per la gassificazione e la cattura della CO₂, mediante l'impiego di solventi liquidi a base di ammine, in condizioni di pre- e post-combustione presso l'impianto Pilota SOTACARBO. Effettuazione di centinaia di ore di sperimentazione volte a valutare l'efficienza del processo di gassificazione, il grado di conversione e la reattività di combustibili di diverse tipologie di carboni e biomasse. Esecuzione di centinaia di ore di test di assorbimento e rigenerazione in continuo con la finalità di aumentare le efficienze e ridurre i costi del processo
- Definizione di correlazioni tra la densità, pH e il "caricamento" della CO₂ nelle ammine, utili al controllo ed alla valutazione on line del grado di saturazione del solvente

- Modifiche e primo avviamento dell'impianto dimostrativo di gassificazione SOTACARBO da 5 MW. Esecuzione di campagne sperimentali con miscele di differenti carboni e biomasse (500 ore complessive con test di durata fino a 90 ore consecutive)
- Realizzazione di un modello cinetico della pirolisi e ossido-riduzione dei gas di coda provenienti dalla rigenerazione dei solventi utilizzati per la desolforazione per la produzione di gas di sintesi (in collaborazione con Politecnico di Milano – DCMIC)
- Realizzazione di un modello statico/dinamico dei sistemi di cattura postcombustione della CO₂ basati su ammine (in collaborazione con Università di Cagliari – DIMCM)

Tecnologia di Ossicombustione

- Caratterizzazione di miscele di acqua e carbone (water coal slurry) e stima della composizione dei fumi di combustione provenienti da un reattore di ossicombustione. Valutazione comparativa di differenti soluzioni tecnologiche per la produzione di coal water slurry e individuazione delle BAT (in collaborazione con Università di Cagliari - DICAAR)
- Progetto e realizzazione di un impianto pilota per la desolforazione dei fumi di combustione provenienti da un ossi-combustore flameless con produzione di acido solforico di qualità commerciale.

Storage della CO₂

- Analisi geostrutturale dell'area del bacino del Sulcis. Studio in superficie e in sottosuolo della fratturazione delle formazioni del possibile reservoir per lo stoccaggio della CO₂ (in collaborazione con UNIROMA1 - CERI)
- Linee guida e caratterizzazione geochimica dell'area del bacino minerario del Sulcis mediante una rete fissa e mobile di monitoraggio geochimico (in collaborazione con UNIROMA1 - CERI)
- Studio della sismicità naturale dell'area del Sulcis. Determinazione della sismicità di fondo dell'area interna al permesso di ricerca Sotacarbo tramite una rete sismica appositamente progettata e realizzata (in collaborazione con INGV)

Divulgazione

- Organizzazione di tre edizioni (2013, 2014 e 2015) della scuola estiva sulle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂ "Sulcis CCS Summer School" rivolta a studenti, dottorandi e giovani laureati in ingegneria e materie geotecnologiche e socioeconomiche con la partecipazione di relatori e docenti provenienti da ENEA, Sotacarbo e da Università ed Enti di ricerca nazionali e internazionali
- Avvio di un progetto di divulgazione presso le scuole di ogni ordine e grado dell'area del Sulcis.

Obiettivo finale dell'attività

Il programma è orientato allo sviluppo e messa a punto di tecnologie volte alla riduzione delle emissioni di CO₂ principalmente nel settore di produzione di energia elettrica ma trasportabili anche verso l'industria di processo altamente energivora (cementiera, siderurgica, petrolchimica,..). In particolare, si intendono sviluppare tecnologie CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage), innovative rispetto a quelle presenti attualmente sul mercato che risultino economicamente appetibili ed ambientalmente sostenibili, sia su scala di laboratorio che pilota; sviluppare soluzioni impiantistiche, cicli energetici ad alta efficienza "capture ready" e componenti più efficienti e meno inquinanti per gli impianti di potenza, operanti a gas o syngas, oltre che carbone, ancora per alcuni decenni attori principali nel settore produttivo di energia elettrica.

Descrizione dell'attività a termine

Le linee di ricerca che si prevede di sviluppare in questa annualità, tenendo conto dei risultati raggiunti nel triennio precedente, sono le seguenti:

TECNOLOGIE PER LA CATTURA IN PRE e POST COMBUSTIONE DELLA CO₂

Lo sviluppo e la validazione di metodi innovativi e più efficienti per la cattura della CO₂, caratterizzati da minore impatto ambientale e/o minori penalizzazioni energetiche, applicabili non solo nel settore della produzione di energia ma anche in settori industriali fortemente energivori. In particolare, si punta allo sviluppo di metodi di cattura basati sull'uso di sorbenti solidi naturali, membrane e solventi, ed allo sviluppo di nuove tecnologie per la loro rigenerazione, con particolare attenzione alla capacità di cattura e alla stabilità chimica dei sorbenti solidi, nonché alla verifica dei processi di deterioramento dei solventi a base amminica.

In particolare questa linea di ricerca prevede:

- Lo studio di nuovi sorbenti a base di CaO per la cattura della CO₂ con elevata capacità sorbente e ridotti problemi di reversibilità. In particolare si vuole studiare l'uso di materiale composito formato da calcio/ossido di calcio e nano strutture a base di carbonio (grafene);
- Sintesi di materiali per il reforming del metano e/o shift del CO e la simultanea separazione della CO₂ per la produzione di H₂ (*Combined Sorbent-Catalytic Material, CSCM*)
- Studio sull'efficacia di membrane perovskitiche per la rigenerazione dei sorbenti solidi
- Sperimentazioni (infrastrutture Zecomix e Valchiria) per l'applicazione della tecnologia '*Calcium Looping*' sia nel settore di produzione di energia elettrica che nelle industrie dell'acciaio e del cemento
- Sviluppo e caratterizzazione dei processi di produzione di combustibili gassosi da carbone attraverso il processo di gassificazione (POLO TECNOLOGICO)
- Sviluppo e caratterizzazione di processi di separazione della CO₂ dal syngas e da fumi di combustione con solventi liquidi e membrane (POLO TECNOLOGICO)
- Sviluppo di processi di produzione di gas di sintesi per reazione a temperature elevate di CO₂ e H₂S presenti nei gas effluenti dai processi di rigenerazione dei solventi liquidi utilizzati nei processi di purificazione del syngas (per parziale riduzione della CO₂) (POLO TECNOLOGICO)
- Sviluppo di tecnologie per la produzione di combustibili alternativi (SNG) o di chemicals da carboni di basso rango (POLO TECNOLOGICO)
- Sviluppo del processo di trattamento dei gas effluenti da reattori di ossi-combustione alimentati a carbone per il recupero di H₂SO₄ (POLO TECNOLOGICO)
- Sviluppo di diagnostica speciale per la caratterizzazione composizionale dei gas effluenti da reattori ad ossi-combustione a carbone (POLO TECNOLOGICO)
- Caratterizzazione del bacino del Sulcis come potenziale sito idoneo al confinamento geologico della CO₂ (POLO TECNOLOGICO)
- Comunicazione e diffusione dei risultati del progetto

TECNOLOGIE DI STOCCAGGIO CHIMICO ED USO DELLA CO₂ PER LA PRODUZIONE DI COMBUSTIBILI, CHEMICALS E MATERIALI

Questa linea di ricerca prevede:

- Lo studio sperimentale di processi di '*mineral carbonation*', applicabili a un settore industriale particolarmente energivoro quale l'industria siderurgica, come opzione tecnologica per il contemporaneo utilizzo e stoccaggio della CO₂, una volta separata.
- Lo sviluppo di tecnologie innovative per la produzione di combustibili e *chemicals* direttamente dal carbone o dalla CO₂ separata (Carbon Capture and Utilization). In particolare la ricerca verterà su:
 - a. processi di produzione di combustibili alternativi ai combustibili di origine fossile, come il metanolo ed il dimetil-etero (DME), utilizzabili per autotrazione integrabili, ad esempio, in sistemi di produzione di bio-gas (da biomasse) a valle del sistema di cattura della CO₂ o impiegabile per l'utilizzo del surplus di energia prodotta da fonti rinnovabili non immettabili sulla rete;
 - b. tecnologie per la produzione di combustibili alternativi (SNG) o di chemicals da carboni di basso rango (Attività POLO TECNOLOGICO sull'impianto GESSYCA).

CICLI TURBO-GAS A CO₂

Questa linea di ricerca prevede:

- La sperimentazione di cicli turbogas EGR (Exhaust Gas Recirculation), quale soluzione a breve-medio termine per massimizzarne l'efficienza, riducendo le emissioni, e rendendo economicamente più vantaggiosa la CCS sui sistemi di conversione basati sulla turbina a gas, con la prospettiva, nel medio-lungo periodo, del ricorso ai cicli a ossi-combustione di gas in CO₂ supercritica, intrinsecamente predisposti per la cattura della CO₂, come risposta alle esigenze di aumentare la flessibilità di carico e l'efficienza, nonché come soluzione ambientalmente sostenibile per l'estrazione dello shale-gas
- Lo studio di tecnologie avanzate per la compressione e il trasporto della CO₂ allo stato supercritico
- Studi sui processi di combustione, con riferimento ai turbogas EGR, rivolti allo studio di geometrie del combustore in grado di rispondere ai vincoli di esercizio dettati dalla combustione di gas naturale in atmosfera CO₂/Aria
- Lo sviluppo di tecniche diagnostiche e di sensoristica avanzata di monitoraggio e controllo, nonché modelli di simulazione numerica per lo studio di processi di combustione nelle applicazioni di interesse e per lo studio di cicli di processo.

CATTURA DELLA CO₂ MEDIANTE OSSI-COMBUSTIONE

Questa linea prevede lo sviluppo di tecnologie per l'ottimizzazione del processo di ossi-combustione pressurizzata di carbone, con particolare riferimento agli aspetti legati alla realizzazione di un impianto pilota di potenza inferiore ai 50 MWt, basato su tecnologia ISOTHERM-PWR. Saranno oggetto di studio tecnologie di preparazione del coal slurry di alimentazione, recupero di acido solforico dai fumi, sviluppo di diagnostica avanzata per il monitoraggio ed il controllo.

In particolare la ricerca verterà sullo sviluppo di un modello termodinamico del processo di recupero di H₂SO₄ dai gas effluenti l'oxy, a fronte della sperimentazione dell'impianto di recupero H₂SO₄, e sulla caratterizzazione e prova del 'coal slurry'.

STORAGE DELLA CO₂: CONFINAMENTO GEOLOGICO E MONITORAGGIO

Questa linea di ricerca ha come obiettivo principale la caratterizzazione del bacino geologico del Sulcis come potenziale sito per esperimenti di stoccaggio di CO₂. A tale scopo è necessario il completamento della caratterizzazione geo-strutturale e geochimica del bacino, lo studio della sismicità e del base-line emissivo, la predisposizione della documentazione finalizzata all'ottenimento dei nulla osta autorizzativi per le attività di prospezione preliminari all'effettuazione delle sperimentazioni di iniezione. Obiettivo finale è la dimostrazione, anche in termini di *public acceptance*, che è possibile garantire il confinamento stabile e sicuro di CO₂, a fronte di rigorosi studi di caratterizzazione del sito e successivo monitoraggio, anche grazie allo sviluppo di innovativi metodi e strumenti.

COMUNICAZIONE E DIVULGAZIONE

Ad integrazione delle attività di ricerca, un particolare sforzo sarà profuso nella comunicazione e diffusione dei risultati del progetto.

Questa azione, condotta in collaborazione con i partner scientifici del progetto, si articolerà attraverso:

- la pubblicazione di articoli e documenti tecnici a carattere pubblico;
- l'organizzazione di workshop, seminari ed eventi di formazione collettiva quali scuole estive di specializzazione (es. Sulcis CCS Summer School);
- il coinvolgimento di partner industriali (tipicamente ENEL, ANSALDO Energia, GE, ecc.)

Principali risultati previsti alla fine dell'annualità

- ✓ Caratterizzazione di nuovi materiali compositi a base di Ca (grafene funzionalizzato) con aumentata capacità sorbente e ridotti problemi di reversibilità
- ✓ Caratterizzazione di nuovi materiali (*Combined Sorbent-Catalytic Material, CSCM*) per il reforming del metano e/o shift del CO e la simultanea separazione della CO₂ per la produzione di H₂

- ✓ Caratterizzazione di membrane perovskitiche nei processi di separazione dall'aria di O₂ per l'utilizzo di quest'ultimo in processi di combustione di carbone o metano
- ✓ Sviluppo dell'infrastruttura di ricerca ZECOMIX/VALCHIRIA per l'integrazione del processo CaL (Calcium Looping) a processi di produzione di energia elettrica 'low carbon' ed a industrie energivore (es. acciaierie, cementifici)
- ✓ Sviluppo di un modello numerico e messa a punto di un processo sperimentale per l'integrazione di un componente elettrochimico con il CaL
- ✓ Sviluppo di un modello numerico di ottimizzazione per l'integrazione CSP e CaL
- ✓ Messa in marcia della sezione di potenza dell'impianto Zecomix
- ✓ Realizzazione di una facility sperimentale in scala laboratorio per lo studio della sintesi del DME, partendo da Metanolo, a pressione atmosferica.
- ✓ Definizione dei metodi per la progettazione di turbo macchine a CO₂ supercritica e studi modellistici volti alla definizione dello schema impiantistico di sistemi di pompaggio per CO₂ supercritica
- ✓ Realizzazione del primo assetto sperimentale di AGATUR (EGR - STEP 1); impianto dimostratore del concetto di ciclo EGR per la generazione di potenza 'low carbon' basata su turbina a gas; realizzazione del sistema di supervisione e controllo di impianto.
- ✓ Sensoristica avanzata per il rilevamento delle instabilità di combustione in turbogas derivanti da flessibilità di carico e di combustibile
- ✓ Modelli e schemi numerici per la simulazione di processi di ossi-combustione di CH₄ in atmosfera di CO₂ in condizioni supercritiche
- ✓ Sviluppo del test rig ROMOLUS
- ✓ Sviluppo dell'infrastruttura di ricerca GESSYCA per la sperimentazione di processi di produzione e trattamento dell'SNG e energia elettrica
- ✓ Sviluppo delle infrastrutture pilota Sotacarbo per la cattura della CO₂ con solventi liquidi attraverso la realizzazione di una colonna di assorbimento collegata all'esistente sistema di rigenerazione ammine e adeguamento del sistema per poter operare a pressioni di 10-20 bar ed effettuare test di cattura della CO₂ in precombustione e postcombustione
- ✓ Sviluppo dell'impianto dimostrativo per la cogassificazione di biomasse e ottimizzazione del processo
- ✓ Ottimizzazione dell'impianto di recupero dei composti solforati dai fumi di ossicombustione
- ✓ Definizione tecnico-economica preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione di un pozzo esplorativo a 1.500 m
- ✓ Definizione della sismicità di background e della baseline geochimica dell'area
- ✓ l'organizzazione della 6a edizione del Workshop internazionale "Cofiring biomass with coal", in collaborazione con IEA Clean Coal Centre
- ✓ l'organizzazione della 4a edizione della Sulcis CCS Summer School, in collaborazione con ENEA, Università di Cagliari, CO2 Geonet e IEA Clean Coal Centre.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Non sono previste attività di coordinamento con RSE e CNR, essendo ENEA e Polo Tecnologico gli unici organi esecutori.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Gli studi, sia teorici che sperimentali, condotti nell'ambito del Progetto, sono finalizzati allo sviluppo di tecnologie che, se applicate, comportano ricadute utili sia per il sistema industriale nazionale nel settore della produzione di energia elettrica che per la collettività degli utenti del sistema elettrico nazionale. In particolare le ricadute si possono così riassumere:

- maggiore competitività in campo internazionale del settore industriale, attraverso l'utilizzo di

tecnologie impiantistiche innovative orientate all'abbattimento dei costi inerenti il consumo energetico e l'adozione delle CCS;

- potenziale recupero degli investimenti passati sui cicli combinati, che non riescono ad essere remunerativi per l'incapacità di seguire efficientemente le variabilità di carico dovute all'immissione in rete di energia proveniente da impianti basati su fonti rinnovabili non programmabili;
- riduzione degli inquinanti provenienti dalla produzione di energia da combustibili fossili (CO₂, NO_x);
- sfruttamento della CO₂ catturata per la produzione di materiali da reintegrare nel ciclo produttivo (con conseguente riduzione dei costi di smaltimento di scorie pericolose), *chemicals* per altri usi e combustibile per generazione di energia e autotrazione;
- dimostrazione di soluzioni per il confinamento stabile e sicuro della CO₂ catturata, considerando le problematiche sociali che possono derivare dal suo confinamento geologico e dal suo uso per l'estrazione di, ad es., 'oil gas' ;
- realizzazione di un centro di eccellenza, con infrastrutture sperimentali di rilevanza internazionale, per le attività di R&S orientate all'uso sostenibile dei combustibili fossili in questo periodo di transizione verso un sistema energetico decarbonizzato.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Il progetto B2 si articola in due parti:

- una prima parte (Parte A), che ha come organo esecutore ENEA , il cui ammontare economico è pari a 1,0 milioni di euro;
- una seconda parte (Parte B), con organo esecutore il Polo Tecnologico per il Carbone Pulito , per un ammontare economico complessivo pari a 2 milioni di euro, tutto relativo ad attività inerenti la cattura e sequestro della CO₂ di interesse strategico per il Polo, secondo quanto stabilito nel "Protocollo Sulcis".

Questa seconda parte è a sua volta suddivisa in Parte B1, il cui organo esecutore è SOTACARBO (valore 1,5 milioni di euro) e in Parte B2, organo esecutore ENEA (valore 0,5 milioni di euro).

Relativamente alla PARTE A del Progetto B2, gli Obiettivi, articolati in Task specifici del PAR2015, sono stati raggruppati sotto le seguenti tematiche:

- a. Tecnologie per la cattura della CO₂ in pre combustione
- b. Sviluppo di tecnologie di utilizzo della CO₂ per la produzione di combustibili e chemicals
- c. Cicli turbo-gas a CO₂.

Le attività afferenti alla PARTE B1 e alla PARTE B2 sono articolate in Obiettivi, per alcuni dei quali sono stati identificati diversi Task per il PAR2015.

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

PARTE A: ATTIVITÀ ENEA

a. Tecnologie per la cattura della CO₂ in pre combustione

a.1 Sviluppo di sorbenti solidi a base di CaO: utilizzo del grafene e di materiali a base di alluminio e silicio per la deposizione del calcio

L'obiettivo riguarda lo sviluppo di tecnologie di gassificazione con ossigeno e vapore e successiva separazione della CO₂ attraverso l'uso di sorbenti solidi di origine naturale, per consentire la produzione di energia 'low carbon' . In particolare si intendono studiare e sperimentare nuovi materiali, quali il grafene, e materiali combinati, quali il CSCM (*Combined Sorbent-Catalytic Material*), che potrebbero presentare migliori capacità sorbenti e combinare le funzionalità sorbenti con quelle catalitiche. Oltre ad attività di laboratorio per la sintesi e la caratterizzazione saranno condotte attività sperimentali sull'infrastruttura di ricerca Zecomix.

L'utilizzo di sorbenti solidi a base di CaO per la cattura della CO₂ ad alta temperatura, sono stati in parte già analizzati nei PAR precedenti. Come evoluzione delle attività pregresse si intende esplorare la possibilità di

utilizzare nuovi materiali con migliori capacità sorbente, più economici e rigenerabili, materiali composti con funzionalità combinate (sorbenti e catalizzatori), materiali low-cost per il supporto del sorbente.

GRAFENE

In questa annualità, si prevede l'utilizzo del grafene, funzionalizzato o meno, per la formazione di un nuovo sorbente che aumenti la capacità sorbente del materiale a base di Ca riducendone i problemi di reversibilità.

L'idea che sta alla base di questa nuova attività sperimentale è quindi la produzione di grafene e lo sviluppo di un materiale composito formato da calcio/ossido di calcio e nano strutture a base di carbonio (grafene) per la separazione della CO₂ ad alta temperatura (>550 °C) per il miglioramento dell'efficienza di separazione mediante i sorbenti solidi. In questo ambito si prevede di condurre un'attività sperimentale, che rappresenta una evoluzione rispetto alla tecnologia del CaL (Calcium Looping), ampiamente studiata sull'infrastruttura Zecomix negli anni precedenti, che porti a un miglioramento delle prestazioni del grafene come sorbente e/o come separatore della CO₂.

L'obiettivo sarà raggiunto attraverso:

Sintesi di grafene e ossido di grafene (GO) mediante metodi di esfoliazione chimica o ossidazione della grafite commerciale

Studi teorici e sperimentali hanno dimostrato che funzionalizzare con Ca il grafene ne aumenta la propria capacità sorbente. Questa attività sperimentale porterebbe, quindi, non solo ad una evoluzione della tecnologia del CaL (Calcium Looping, ampiamente studiate nell'infrastruttura di Ricerca Zecomix) ma anche allo studio e al miglioramento delle prestazioni del solo grafene come sorbente e/o come separatore della CO₂. In questo contesto, è importante, valutare la stabilità chimico-fisica, oltre che meccanica del materiale, durante i cicli di separazione della CO₂ e rigenerazione dello stesso ad alta temperatura.

Un utilizzo efficace di tale materiale nell'attività di ricerca proposta è però legato anche ai suoi costi di produzione, per questa ragione saranno adottate e sviluppate differenti tecniche di sintesi che non richiedano elevati costi. Inoltre saranno effettuate le caratterizzazioni sia sul solo grafene che sul grafene funzionalizzato allo scopo di selezionare il migliore materiale composito Ca/CaO-Grafene.

Caratterizzazione chimica, strutturale e morfologica dei materiali sintetizzati e/o commerciali

Sperimentalmente sarà valutata, a differenti temperature, la capacità sorbente dei diversi materiali sviluppati mediante analisi termica (TG/DTA), mentre le loro caratteristiche di porosità e di superficie specifica saranno misurate mediante la tecnica Brunauer-Emmett-Teller (BET). Inoltre, il grado di cristallinità e la composizione delle diverse fasi saranno determinate attraverso XRD. La morfologia dei materiali sarà, analizzata attraverso un microscopio a scansione elettronica (SEM). Verrà, inoltre, studiato il tipo di interazione tra la CO₂ e le strutture di grafene mediante spettroscopia FT-IR.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico ENEA sulle tecniche e i metodi di sintesi e caratterizzazione del grafene e del grafene ossido

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

CENOSFERE E CEMENTO

Una possibile evoluzione dello studio sui sorbenti solidi a base di CaO nella tecnologia CaL per la separazione della CO₂ ad alta temperatura è la sintesi di un materiale combinato sorbente e catalizzatore (*Combined Sorbent-Catalytic Material, CSCM*) per il reforming del metano e/o shift del CO e la simultanea separazione della CO₂ per la produzione di H₂. Inoltre per rendere ancora di più sostenibile il processo CaL verranno presi in considerazione nuovi materiali low-cost per il supporto del sorbente come le cenosfere o il cemento.

Le attività dell'annualità in questo ambito si esplicano attraverso:

Sintesi di CSCM a base di CaO supportati su cenosfere e cemento: utilizzo di Fe come potenziale catalizzatore per i processi SER e SE-WGS

Le particelle di cenosfere sono uno dei prodotti solidi di gassificazione del carbone che viene raccolto all'uscita del ciclone del gassificatore. Ha un alto contenuto di Al che è stato dimostrato nelle annualità precedenti del PAR essere un elemento chimico che aiuta a evitare la sinterizzazione del sorbente aumentandone la stabilità chimica e meccanica. In questa annualità verrà proposto, inoltre, il Fe (invece che il nickel) come agente catalizzatore per la reazione di reforming del metano (processo SER) e di water gas (SE-WGS). La deposizione di Ca e Fe su un unico materiale (cenosfere o cemento) potrebbe, infatti, favorire la cinetica di conversione e di reforming di idrocarburi quali CH₄ e CO in H₂. Comunque la sintesi un CSCM a base di Ni e Ca è previsto per attività di benchmarking. A completamento di questo secondo task, verranno condotti studi sul pretrattamento del CSCM (ad esempio *triggered calcination*) per aumentarne la stabilità chimica e meccanica.

Caratterizzazione del CSCM attraverso SEM/EDS, BET, XRF, XRD

Al processo di sintesi seguirà la caratterizzazione del materiale attraverso XRD, SEM/EDS, BET, XRF per poterne valutare la struttura interna in termini di area superficiale, formazione di fasi cristalline, formazioni di cluster di sorbente e/o catalizzatore.

L'attività sarà svolta dall'Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'Informazione e di Economia.

Studi reattivi di SER e SE-WGS in test-rig da laboratorio

Una volta caratterizzato il materiale, la seconda parte di questa attività sperimentale sarà focalizzato su test reattivi condotti a scala laboratorio. In particolare, i processi di SE-WGS e SER verranno condotti a scala laboratorio su un *test-rig* corredato da resistenze elettriche che avvolgono un reattore tubolare e da strumentazione analitica (e.g. gas-cromatografo e FT-IR) per studiare evoluzione dei gas durante i processi di conversione di CO e reforming di CH₄. Il reattore tubolare contenente il CSCM verrà studiato in diverse condizioni di temperatura (500-700°C) e a pressione atmosferica per poter valutare le condizioni ottimali per la conduzione del processo di separazione della CO₂, produzione contemporanea di H₂ e rigenerazione del materiale solido.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico ENEA - Università dell'Aquila sulle tecniche e i metodi per la sintesi di CSCM e grafene funzionalizzato con Ca

Principali collaborazioni: Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Utilizzo di membrane perovskitiche per la separazione di O₂ dall'aria ed il suo utilizzo per la rigenerazione dei sorbenti solidi per la cattura di CO₂

Tale attività è un'evoluzione delle attività di ricerca sulla tecnologia Calcium Looping condotte con successo nelle annualità precedenti attraverso l'infrastruttura Zecomix. Con questo obiettivo si vuole dimostrare l'efficacia delle membrane perovskitiche per la separazione dall'aria dell'ossigeno e l'utilizzo di quest'ultimo come comburente in processi di combustione del carbone o metano, consentendo un miglioramento dell'efficienza di utilizzo dei sorbenti solidi nella cattura della CO₂ abbattendone i costi di rigenerazione.

Una possibile evoluzione dello studio sulle membrane perovskitiche è la loro applicazione al processo di separazione dall'aria dell'ossigeno, da utilizzare come comburente in processi di ossi-combustione (combustione in corrente di ossigeno e vapor d'acqua) per la rigenerazione del sorbente nella tecnologia Calcium Looping (CaL). L'applicazione di questa tecnologia è ampiamente studiata nell'Infrastruttura di Ricerca Zecomix. In questa attività sperimentale verrebbe impiegato il test-rig sviluppato con successo nelle annualità precedenti del PAR e considerato per l'apporto di O₂ nel processo di gassificazione del char.

L'uso di membrane perovskitiche per la separazione dall'aria di O₂ e l'utilizzo di quest'ultimo come comburente in processi di combustione del carbone o metano consentirebbe un miglioramento dell'efficienza di utilizzo dei sorbenti solidi nella cattura della CO₂, abbattendone i costi di rigenerazione.

Infatti la combustione in corrente di ossigeno e vapore necessaria a raggiungere le elevate temperature per la calcinazione di sorbenti solidi (900 °C) consente di ottenere una corrente di anidride carbonica pura,

dopo la condensazione del vapor d'acqua.

Inoltre, studi teorici e sperimentali condotti nel PAR 2014 hanno dimostrato che una membrana tubolare di tipo BSCF ($Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-δ}$) consente di ottenere una corrente di O_2 nel range di temperatura 850 - 1000 °C, a pressione atmosferica, con flussi di permeazione interessanti ($5 \mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{s}$).

Queste condizioni sono quelle idonee alla rigenerazione di sorbenti solidi a base di CaO. Tale nuova attività sperimentale comporterebbe, quindi, non solo una evoluzione della tecnologia del CaL (ampiamente studiate nell'infrastruttura di Ricerca Zecomix) ma anche una maggiore sostenibilità economica del processo di cattura attraverso sorbenti solidi a base di CaO.

Nella annualità l'obiettivo principale è quello di dimostrare la fattibilità tecnica del processo di ossi-combustione per la rigenerazione del sorbente in condizioni di interesse industriale. Sono previste le seguenti attività:

Adeguamento del test-rig ai parametri operativi di rigenerazione del sorbente a base di CaO

il test-rig verrà adeguato ai nuovi parametri di rigenerazione del sorbente conducendo misure di permeazione di O_2 alla temperatura di calcinazione e a pressione atmosferica:



In particolare verranno condotte misure di permeabilità della membrana perovskitica a diverse concentrazioni di CO_2 dal lato permeato, per valutare l'effetto della presenza di anidride carbonica sulla separazione dell'ossigeno. Inoltre verranno condotte campagne di sperimentazione con il modulo membrana e con il test-rig al fine di investigare l'influenza della portata di aria lato alimentazione. Verranno valutati in questo nuovo assetto tutti gli aspetti tecnologici, quali stabilità e durabilità del materiale ceramico di tipo perovskitico e la sua resistenza meccanica; in particolare nel caso di utilizzo della membrana in reattori a letto fluidizzato.

Calibrazione del modello di permeazione delle membrane perovskitiche alle nuove condizioni operative di rigenerazione del sorbente

Studio modellistico della reazione di combustione di metano o carbone con l'ossigeno permeato, nella regione vicino la superficie tubolare della membrana ceramica. Verrà valutato il flusso di ossigeno in queste condizioni operative e quindi la superficie di membrana necessaria a soddisfare il fabbisogno di energia termica del reattore di rigenerazione. Questo studio sarà completato dalla stesura di un modello short-cut nel quale integrare il modello di permeazione. Ciò consentirà di valutare le condizioni ottimali di funzionamento del reattore a letto fluidizzato. In questo modo si dimostrerà la fattibilità tecnica del processo di ossi-combustione per la rigenerazione del sorbente in condizioni di interesse industriale.

L'Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia, sarà coinvolta nello studio sperimentale e modellistico sull'utilizzo di membrane a trasporto ionico, per la produzione di O_2 durante il processo di gassificazione del carbone in situ.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico di ENEA - Università dell'Aquila sulla permeazione di O_2 nel test rig con le nuove condizioni operative
- Report tecnico di ENEA - Università dell'Aquila sul modello short-cut di membrana

Principali collaborazioni: Università dell'Aquila, Dipartimento di Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.3 Consolidamento dell'infrastruttura di ricerca Zecomix per la produzione di energia elettrica 'low carbon' e sua evoluzione verso un'applicazione sostenibile in campo industriale

Lo scopo dell'infrastruttura di Ricerca ZECOMIX (IR-Z) insieme al test-rig VALCHIRIA è quello di testare tecnologie convergenti verso la separazione della CO_2 ad alta temperatura attraverso il processo CaL. Tale processo può essere applicato sia per la produzione di energia elettrica sia a processi industriali energivori come ad esempio la produzione di acciaio e cemento. Nelle annualità precedenti è stato testato con successo l'integrazione del processo di gassificazione di carbone con il carbonatore in cui è stata utilizzata

dolomite calcinata come sorbente e ottenendo un gas sintetico ad alto contenuto di H₂.

L'obiettivo che ci si propone è quello di giungere ad una valutazione accurata delle prestazioni dei processi di decarbonizzazione consentendo di interpretare gli effetti causati dalla implementazione di tecnologie CCS per la produzione di H₂ e/o energia elettrica o la sua integrazione in processi per la produzione di acciaio e cemento.

Saranno condotti studi e sperimentazioni per l'applicazione dell'Infrastruttura di Ricerca Zecomix(IR-Z) ed il test-rig Valchiria in campo industriale. In particolare verranno condotte indagini sperimentali per poter dimostrare l'applicazione della tecnologia CaL a processi industriali energivori come ad esempio i processi di produzione dell'acciaio e del cemento. Si otterrà un processo ibrido ancora più sostenibile grazie non solo all'abbattimento della CO₂ ma anche all'inertizzazione di residui solidi pericolosi. Infine la IR-Z verrà consolidata come piattaforma per lo studio e la sperimentazione della produzione di energia elettrica 'low-carbon'. Verranno condotte attività di simulazione e indagini sperimentali per l'integrazione di un modulo a concentrazione solare (CSP) e di un dispositivo elettrochimico per l'ulteriore concentrazione di CO₂ ottenendo, quindi, un processo evoluto altamente sostenibile per la produzione di H₂ e/o energia elettrica a base emissioni di CO₂.

Nella annualità saranno condotte attività di studio, mediante codici di calcolo CFD per prevedere il comportamento chimico, termico e idrodinamico dei reattori a letto fluido delle infrastrutture Zecomix e Valchiria. Sarà studiata e sperimentata l'integrazione di in Zecomix di un modulo elettrochimico per aumentare la concentrazione di CO₂ nel gas di uscita del carbonatore. Infine sarà studiata la possibilità di integrare in Zecomix con un modulo a concentrazione solare(CSP) per diminuire i costi energetici per la rigenerazione del sorbente. Saranno svolti studi e sperimentazioni per una applicazione della tecnologia CaL in industrie dell'acciaio e del cemento. Infine verrà studiato l'infrastruttura Zecomix in assetto di impianto di potenza, utilizzando il gas decarbonizzato.

I risultati di tali attività sono propedeutiche per poter affrontare gli studi di fattibilità economica ed analisi del ciclo di vita delle alternative proposte, per dimostrare in modo significativo le reali e concrete possibilità di applicazione e realizzazione degli interventi proposti. Una volta definiti i flussi di energia e materia nella prima annualità si può portare avanti una contabilizzazione dei costi e una quantificazione dell'impatto ambientale complessivo. In particolare, la determinazione di alcuni indicatori economici quali il costo dell'energia decarbonizzata, CoE (Costo of Electricity) e dell'Idrogeno, CoH (Cost of Hydrogen) potrebbero dare indicazioni circa la sostenibilità economica delle tecnologie CCS impiegate nei suddetti processi energetici. I costi effettivi di produzione di energia elettrica e/o H₂ possono essere determinati attraverso un bilancio exergetico ed economico per tutti i componenti dell'impianto in esame.

La μ GT Turbec T100 rappresenta la sezione di potenza di IR-Z ed è principalmente dedicata alla conversione elettrica del syngas de-carbonizzato prodotto dalla piattaforma. Unitamente alla produzione di syngas proveniente dalla gassificazione del carbone, l'output della μ GT è uno dei due flussi di energia utile in uscita da IR-Z nell'assetto attuale, e concorre all'implementazione del concetto fondante di ZECOMIX, ovvero la coproduzione de-carbonizzata di energia elettrica e idrogeno da carbone. Nel corso delle precedenti annualità la piattaforma è stata dotata del quadro elettrico di interfaccia, che provvede alla connessione e allo sgancio della μ GT alla rete, consentendo di esercire ZECOMIX come un produttore netto di energia elettrica. Sono stati inoltre predisposti gli spazi per l'alloggiamento della μ GT, la quale è stata successivamente movimentata fino alla sua posizione definitiva. La μ GT è dotata di un combustore appositamente progettato per l'utilizzo dual-fuel di gas naturale e syngas ad alto contenuto di idrogeno, pertanto l'esercizio della macchina presenta forti connotazioni off-design fin dall'avviamento. Tuttavia tali connotazioni hanno il vantaggio di offrire un ventaglio di "opportunità" sperimentali che vanno oltre la validazione della tecnologia di cui ZECOMIX è dimostratore e che ricadono nell'ambito della flessibilità di combustibile (*fuel-flexibility*), tema sempre più attuale nel contesto della generazione elettrica da fonte fossile, peraltro, intrinsecamente connesso con lo stesso processo implementato su ZECOMIX e, più in generale, strategico per l'integrazione della generazione turbogas con le rinnovabili. Nel corso di questa annualità, la μ GT sarà messa in marcia e resa operativa, saranno pertanto effettuate tutte le attività a carattere impiantistico necessarie all'esercizio in sicurezza della macchina.

Nel corso di questa annualità sarà effettuato il primo avviamento della μ GT e saranno pertanto effettuate le attività manutentive e impiantistiche necessarie a rendere operativa la macchina. Tale attività è

propedeutica per la transizione verso l'alimentazione della μ GT a syngas, con l'obiettivo di attuare l'accoppiamento della μ GT con i sottosistemi della piattaforma ZECOMIX, con particolare riferimento al gassificatore e al carbonatore, che forniranno il combustibile de-carbonizzato per l'alimentazione della microturbina.

Le attività sperimentali saranno condotte in sinergia con la linea c del presente progetto, con particolare riferimento alla flessibilità di combustibile, sinergia che si concretizzerà nello scambio di dati sperimentali, esperienze tecniche e informazioni utili ad ampliare il dominio di conoscenze sulla tecnologia dei turbogas multi-fuel. Le ricadute attese copriranno due temi, ovvero la co-produzione 'zero emission' di energia elettrica e idrogeno da carbone e la flessibilità di combustibile (*fuel-flexibility*), oltre a rendere pienamente operativa la piattaforma sperimentale ZECOMIX, in grado di testare un ampio ventaglio di tecnologie che spaziano dalla produzione di syngas de-carbonizzato alla generazione turbogas basata su combustibili ad alto tenore di idrogeno.

In sintesi, l'attività della annualità prevede:

Simulazione di letti fluidi in ambiente CFD e attraverso modelli a parametri concentrati

Verrà utilizzato un simulatore commerciale di tipo CFD per la simulazione di letti fluidi con approccio Euleriano-Lagrangiano, per la previsione del comportamento chimico, termico ed idrodinamico dei principali reattori a letto fluido che compongono l'infrastruttura di ricerca Zecomix e il test-rig Valchiria. In particolare verrà condotto uno studio per poter individuare, in fase di avviamento e a regime, il comportamento dinamico dei letti fluidi all'interno del gassificatore e del carbonatore.

Infine verranno integrati i modelli di gassificazione del carbonatore sviluppati nelle annualità precedenti in un unico modello a parametri concentrati per potere ottimizzare l'avviamento dell'intera IR-Z.

Studio e sperimentazione sull'integrazione in IR-Z di un modulo elettrochimico per l'ulteriore concentrazione della CO₂

Una evoluzione di IR-Z come impianto di potenza è la possibile integrazione di un componente elettrochimico (Carbon Capture Cell, C3) per l'utilizzo del gas di sintesi con alta efficienza di conversione elettrica, permettendo allo stesso tempo un ulteriore concentrazione del contenuto di CO₂ nel gas all'uscita dal carbonatore. Il modulo C3 suscita particolare interesse perché nel processo di valorizzazione energetica del gas di sintesi consente contestualmente di effettuare una ulteriore separazione di CO₂ da un secondo flusso di fumi esausti (post-combustion capture), *generando* potenza. Pertanto verrà condotto uno studio sperimentale e modellistico per poter valutare i trade-offs tra il livello di decarbonizzazione condotto nel carbonatore esistente nella IR-Z e la taglia di una C3.

Uno studio modellistico complementare al precedente verrà condotto per valutare i benefici in termini di efficienza globale di impianto, provenienti dall'integrazione dei flussi termici, utilizzando il calore prodotto dal dispositivo C3 per la rigenerazione del carbonato di calcio. Verrà condotto a scala laboratorio l'integrazione del carbonatore col modulo C3 utilizzando un gas di sintesi che emula la composizione del gas all'uscita del carbonatore che è stata valutata sperimentalmente nelle annualità precedenti valutando sperimentalmente la resistenza del dispositivo elettrochimico ad eventuali composti dello zolfo presenti in uscita al carbonatore quando si utilizzi carbone di più bassa qualità.

Il Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino, collaborerà nello studio e nella sperimentazione sull'integrazione nella infrastruttura ZECOMIX, del modulo elettrochimico C3.

Studi sull'integrazione di un modulo CSP in IR-Z

In questo anno sarà valutata la possibilità di integrazione della IR-Z con l'energia solare per poter diminuire i costi energetici per la rigenerazione del sorbente solido. L'Università di Roma 'Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, condurrà studi sull'integrazione del modulo a concentrazione solare (CSP) nel processo di rigenerazione del sorbente solido. A causa della non programmabilità dell'energia solare non si può escludere l'utilizzo di un stoccaggio termico per la continuità del processo di separazione e cattura della CO₂. Il modulo CSP potrebbe aiutare, quindi, a ridurre l'apporto di combustibile convenzionale per la rigenerazione del materiale solido rendendo ancora più sostenibile la tecnologia CaL. A completamento di questo task verrà realizzato un modello MATLAB con prime simulazioni per la valutazione della possibile integrazione tra il carbonatore e CSP.

Studi e sperimentazione sull'integrazione del processo CaL in processi di produzione dell'acciaio e del cemento

Come possibile evoluzione della infrastruttura Zecomix verso una sua applicazione nel campo industriale, verranno condotti studi e sperimentazioni sulla possibilità di integrare la tecnologia CaL in industrie dell'acciaio e del cemento. Verrà emulata la composizione di un gas di cokeria o di un off-gas all'uscita di un altoforno attraverso il processo di gassificazione del carbone ampiamente studiato nelle annualità precedenti. Il gas così prodotto verrà fatto passare attraverso un letto di particelle di sorbente per la separazione della CO₂ ad alta temperatura. Infine, nella piattaforma Valchiria si cercheranno di emulare condizioni di ossi-combustione per la rigenerazione del sorbente in un tamburo rotante per l'integrazione della tecnologia CaL nel processo di produzione del cemento. Il reattore a tamburo rotante verrà anche utilizzato per condurre campagne sperimentali sulla 'mineral carbonation' di residui provenienti da processi di produzione dell'acciaio. In particolare si continueranno a testare residui provenienti da BOF in campagne di carbo-granulazione. Le attività di quest'anno si concentrano, quindi, sull'ottimizzazione delle condizioni operative del tamburo rotante, finalizzate ad ottenere le migliori rese di processo in termini non solo di CO₂ uptake ma anche di distribuzione dimensionale e delle caratteristiche fisiche e ambientali dei granuli ottenuti. Il materiale inerte sottoforma di granuli ottenuto dal processo di carbo-granulazione potrebbe essere impiegato come aggregato in applicazioni ingegneristiche, quali ad esempio produzione di clinker, materiale di riempimento per lavori stradali, etc..)

Avviamento della micro-turbina alimentata a gas naturale

Nel corso di questa annualità sarà effettuato il primo avviamento della μ GT e saranno pertanto effettuate le attività manutentive e impiantistiche necessarie a rendere operativa la macchina. Saranno eseguite le opere necessarie alla realizzazione dei condotti scarico e del camino. Il primo avviamento sarà effettuato predisponendo la μ GT nel suo assetto standard a gas naturale, ovvero equipaggiandola con il combustore originale di costruzione Turbec. Per portare a termine l'obiettivo ci si avvarrà dell'esperienza tecnica accumulata durante l'esercizio della μ GT di AGATUR che, nello specifico, comporterà lo smontaggio del sistema di alimentazione (valvole di controllo e condotti di alimentazione) e del combustore dalla T100 di AGATUR e il successivo montaggio degli stessi componenti sulla T100 di ZECOMIX, essendo quest'ultima non equipaggiata del combustore originale. Successivamente al primo avviamento della μ GT, sarà portata a termine una prima campagna test finalizzata all'accertamento del dominio di funzionamento della T100 e al tuning del modello numerico implementato in ChemCAD nel corso del precedente piano triennale.

Nel corso della medesima annualità sarà progettata la rampa gas dual-fuel (gas naturale e syngas) per l'alimentazione della μ GT, unitamente alla strategia di controllo necessaria a gestire l'avviamento della macchina a gas naturale e la transizione verso l'alimentazione a syngas. Sarà effettuato l'approvvigionamento di tutti i componenti commerciali necessari alla realizzazione della rampa gas e all'implementazione della strategia di controllo.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico ENEA - Università di Roma 'Sapienza' sulla modellazione e simulazione di integrazione di IR-Z con il modulo C3 e CSP, corredato di validazioni sperimentali su un modulo C3 da laboratorio
- Report tecnico del Politecnico di Torino, sulla simulazione di IR-Z in ambiente CFD e con modelli a parametri concentrati
- Report tecnico ENEA su studi e sperimentazione sull'integrazione della tecnologia CaL in processi di produzione dell'acciaio e del cemento
- Report tecnico ENEA sulla messa in marcia e l'esercizio della μ GT di IR-Z

Principali collaborazioni: Università di Roma 'Sapienza', Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica, Politecnico di Torino, Dipartimento Energia

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Sviluppo di tecnologie di utilizzo della CO₂ per la produzione di combustibili e chemicals

Tecnologie di produzione di combustibili da CO₂ e H₂

L'obiettivo è quello di sviluppare tecnologie che permettano di sia di sfruttare l'eccesso di energia elettrica prodotta, ad esempio da impianti basati su rinnovabili, e non utilizzabile in rete, sia di ridurre il quantitativo di CO₂ immessa nell'ambiente considerandola come fonte di produzione di combustibili alternativi a minor impatto ambientale.

La transizione verso l'utilizzo di combustibili a minore impatto ambientale è un processo probabilmente necessario, prima di arrivare a soluzioni ad emissioni zero, come i veicoli elettrici o ad idrogeno. Fra le possibili soluzioni alternative ai combustibili di origine fossile si possono annoverare il metanolo ed il dimetil-etero; quest'ultimo ha come possibili applicazioni sia l'autotrazione, in sostituzione del gasolio, sia come gas domestico ed ancora come sorgente di idrogeno per celle a combustibile. Sia metanolo che DME sono ottenibili da CO₂ e H₂, è quindi notevole l'impatto che il riciclaggio di CO₂ in questi prodotti, potrebbe avere sull'economia mondiale.

L'obiettivo di produrre efficientemente DME da biossido di carbonio e idrogeno è piuttosto ambizioso, considerata la scarsa conoscenza di base del processo catalitico e le limitazioni termodinamiche alla conversione.

In particolare l'attività consiste nella messa a punto di un processo catalitico per la produzione di metanolo e di dimetil-etero (DME), e questa annualità, sarà dedicata allo studio delle diverse soluzioni tecnologiche possibili, che comportano anche diverse scelte in termini e di materiali per i componenti e diversi tipi di catalizzatori.

Studio e valutazione comparativa delle differenti modalità di produzione del DME via processi a due stadi e a singolo stadio

La prima fase dell'attività, sarà dedicata allo studio delle diverse soluzioni tecnologiche possibili, che comportano anche diverse scelte in termini e di materiali per i componenti e diversi tipi di catalizzatori. Il processo a due stadi può essere studiato separatamente, con il primo step, la sintesi di metanolo in pressione, che necessita di reattori metallici ed il secondo step, la disidratazione a DME che può essere condotto in semplici reattori di pyrex.

I catalizzatori per il primo step saranno a base di metalli/ossidi metallici, mentre per il secondo stadio saranno inizialmente di tipo convenzionale, ovvero zeoliti e γ -allumina. In seguito potranno essere testati catalizzatori non convenzionali in cui un supporto inorganico come SiO₂ o MCM-41 è funzionalizzato con una funzione acida solfonilica. Questi tipi di catalizzatori sono caratterizzati da elevata area superficiale, idonee caratteristiche acide ed elevata resistenza termica.

Il Politecnico di Torino, Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, eseguirà test in pressione per la reazione di idrogenazione catalitica del CO/CO₂ su un proprio impianto, al fine di trovare le condizioni operative e i catalizzatori più opportuni per arrivare alla formazione di composti non-metanici come il metanolo e, soprattutto, il dimetiletere.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico ENEA sull'analisi dei processi a uno e due stadi per la produzione di DME
- Report tecnico del Politecnico Torino sullo studio del processo di sintesi del DME

Principali collaborazioni: Politecnico Torino, Dipartimento Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT)

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

c. Cicli turbo-gas a CO₂

c.1 Cicli turbogas EGR

Con riferimento alle tecnologie CCS, questa attività ha per oggetto lo studio di cicli turbogas non convenzionali, EGR (Exhausts Gas Recirculation), caratterizzati da alta efficienza in grado di accoppiare la flessibilità di esercizio tipica delle turbine a gas, con l'implementazione efficace delle tecnologie CC(S). Ciò in quanto tali cicli sono basati sul ricircolo all'aspirazione degli esausti della turbina a gas, dopo averli raffreddati fino a temperatura ambiente, con l'obiettivo di ottenere un fluido di lavoro composto da aria ad

alto tenore di CO₂. Il maggior contenuto di CO₂ negli esausti rende la cattura più efficiente, richiede facility dedicate meno voluminose e, non ultimo, può potenzialmente contribuire alla riduzione degli NO_x, sia a causa della minor concentrazione di ossigeno, sia per la favorevole distribuzione della temperatura all'interno del combustore. L'obiettivo per ENEA è quello di realizzare un dimostratore del ciclo EGR; le campagne sperimentali condotte su di esso, permetteranno di individuare i limiti operativi e quindi le potenzialità tecnologiche dei turbogas EGR, in relazione sia alla riduzione delle emissioni di NO_x e l'applicazione efficace ed efficiente delle tecnologie CC(S) agli impianti turbogas. Come ultimo, ma non meno importante, ritorno si avrà a disposizione una piattaforma sperimentale per il test di strategie e dispositivi di combustione finalizzati all'ottimizzazione della tecnologia turbogas EGR.

L'impianto AGATUR (Advanced Gas Turbine Rising) in dotazione al laboratorio IPSE dell'ENEA, attualmente in corso di adeguamento, verrà utilizzato quale dimostratore sperimentale di un ciclo turbogas EGR. L'impianto è dotato di una micro-turbina a gas (μ GT) Turbec T100 da 100 kW e di un vessel di circa 40 m³, il quale, connesso alla μ GT dal lato aspirazione, fungerà da plenum per la creazione della miscela sintetica aria - CO₂ che verrà aspirata dalla macchina. In questo primo assetto sperimentale di AGATUR (EGR-STEP 1), la miscela gassosa sarà quindi prodotta mediante iniezione di portate controllate di aria e CO₂, con l'obiettivo di emulare la composizione del fluido di lavoro corrispondente a diverse percentuali di ricircolo. Il successivo assetto sperimentale di AGATUR (EGR-STEP 2) prevederà ulteriori modifiche dell'impianto che consentiranno di ottenere il ricircolo dei gas di scarico e la "chiusura" del ciclo turbogas EGR.

La progettazione e realizzazione del piping di connessione tra l'aspirazione della μ GT ed il vessel, entrambe necessarie per l'implementazione dell'assetto EGR-STEP1, che si prevedeva di affrontare al termine del precedente triennio si stanno attualmente ultimando e la realizzazione si concluderà alla fine di questa annualità. Queste attività sono propedeutiche all'implementazione dell'assetto EGR-STEP2, secondo un programma di medio periodo che ha come obiettivo finale la realizzazione di un dimostratore a scala significativa.

Implementazione dell'assetto EGR-STEP1 sull'impianto AGATUR

L'attività consiste nella realizzazione della connessione tra l'aspirazione della μ GT ed il vessel, corredata dalla carpenteria metallica di supporto e dagli organi di regolazione e controllo per la transizione dall'aspirazione di aria ambiente all'aspirazione della miscela sintetica creata nel vessel mediante aria di processo e CO₂ proveniente da accumulo criogenico.

Sarà definita ed implementata la strategia di controllo per esercire l'impianto in assetto EGR-STEP1, inserendo la strumentazione di misura necessaria allo scopo. Nel corso dell'annualità saranno approvvigionati tutti i componenti necessari all'implementazione dell'assetto EGR-STEP2 e portata a termine la progettazione di dettaglio del gas-cooler, dimensionati e reperiti sul mercato l'estrattore, gli elementi aerulici necessari a comporre le linee di piping per la connessione al gas cooler.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico ENEA sulle attività di sviluppo sull'impianto AGATUR per l'assetto EGR-STEP1

Durata: ottobre 2015 - settembre 2015

c.2 Tecnologie avanzate per la compressione e il trasporto della CO₂ allo stato supercritico

L'obiettivo consiste nel giungere al design termo-fluidodinamico del sistema di compressione della CO₂, avendo come finalità di impiego, gli impianti di conversione a S-CO₂ equipaggiati con CC(S), sistemi stand-alone in coda ad impianti di conversione 'capture ready', stazioni di pompaggio di spinta su una linea di trasporto. Si otterrà anche una valutazione delle prestazioni in relazione alle diverse applicazioni.

Questa linea di ricerca si inquadra nell'ambito delle attività sui cicli a S-CO₂ condotte nel precedente piano triennale, durante il quale sono germogliate e hanno preso corpo. Il tema è tuttora considerato di nicchia, tuttavia negli ultimi anni si è registrata una crescita notevole degli investimenti in ricerca di provenienza sia pubblica che privata, soprattutto in ambito internazionale, come già detto.

In questo ambito sarà affrontato lo studio di tecnologie avanzate per la compressione e il trasporto della CO₂ allo stato supercritico, focalizzando l'attenzione su due specifiche configurazioni, mirate rispettivamente:

- a. all'integrazione del sistema di compressione con l'isola di potenza di un impianto di conversione a S-CO₂ equipaggiato con CC(S) (configurazione A);
- b. allo sviluppo di un sistema di compressione stand-alone in grado di operare in coda a impianti conversione 'capture ready', oppure quale stazione per il pompaggio di spinta sulla linea di trasporto (configurazione B).

La configurazione A sarà finalizzata all'integrazione con un ciclo di potenza a S-CO₂ alimentato dal loop ISOTHERM-PWR[®] da 50 MWt, per il quale è stato effettuato uno studio esplorativo nel precedente piano triennale (Report RdS/PAR2013/298). Entrambe le configurazioni avranno in comune il treno di compressione sub-critico, finalizzato alla compressione della CO₂ dalla pressione di cattura alla pressione ottimizzata per l'accoppiamento con la turbopompa trans-critica.

L'attività di ricerca sarà condotta a stretto contatto con il Dipartimento Ingegneria dell'Università di Roma Tre, secondo il piano di lavoro di seguito specificato.

Studi teorici a supporto del 'design' termo-fluidodinamico delle macchine operanti con S-CO₂.

Tali studi sono orientati alla definizione delle tecniche e dei metodi che saranno implementati nel corso delle annualità successive. Queste attività saranno condotte dal Dipartimento Ingegneria dell'Università di Roma Tre con la supervisione dell'ENEA.

Modellazione del ciclo di potenza a S-CO₂

L'attività prevede l'impostazione e la modellazione numerica del ciclo di potenza a S-CO₂ con integrazione del sistema di pompaggio trans-critico (configurazione A), l'impostazione e la modellazione preliminare del sistema di pompaggio stand alone (configurazione B). Le attività appena descritte saranno condotte dall'ENEA avvalendosi della suite di simulazione di processo ChemCAD.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico ENEA - Università Roma Tre sulle tecniche e i metodi per la progettazione termo-fluidodinamica delle macchine a S-CO₂
- Report tecnico ENEA sui risultati della modellazione preliminare del sistema di pompaggio della CO₂ nelle configurazioni A e B

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.3 Studi sulla combustione in cicli turbogas EGR

Tali studi hanno come finalità quella di studiare, attraverso apparati sperimentali di laboratorio (combustore ROMULUS) e con diagnostica avanzata, gli effetti della diluizione con CO₂ sulla combustione, ed in particolare sul regime di combustione e sulla tendenza alle instabilità termoacustiche, oltretutto fornire indicazioni per l'esercizio del ciclo EGR implementato sull'impianto AGATUR.

La strategia di mescolare gas reagenti con prodotti di combustione caldi (fondamentalmente CO₂), nota come EGR (Exhaust Gas Recirculation), sembra essere la soluzione a breve-medio termine che verrà adottata nei combustori dei turbogas per stabilizzare la combustione e ridurre le emissioni, in particolare NOx. Inoltre, avendo un fluido di lavoro con maggiore tenore in CO₂ rispetto ai turbogas convenzionali, si ottiene anche un incremento nell'efficacia del processo di cattura ed una riduzione dei costi associati.

Nel precedente triennio è stato definito e realizzato un bruciatore da laboratorio (denominato "ROMULUS") di tipo 'slot-burner'. A causa di ritardi nella consegna del materiale e di conseguenza nella realizzazione finale del dispositivo, sono stati eseguiti la sola caratterizzazione a freddo (cioè senza combustione) ed i primi test di accensione di una miscela metano/aria. Mancando dunque le misure dei dati di ingresso necessari per l'avvio della simulazione numerica diretta prevista, anche questa è stata rinviata.

Le attività sperimentali che saranno condotte sul dispositivo di laboratorio ROMULUS saranno condotte in analogia con le condizioni operative con le quali verrà esercito l'impianto AGATUR, al fine di ottenere indicazioni a supporto delle stesse.

In questa annualità si prevede di concludere le attività già iniziate nella precedente annualità e di

predisporre le facility sperimentali per eseguire attività sperimentali e diagnostiche (PIV, LIF, CARS,...) oltreché simulazioni numeriche (DNS). In particolare la presente annualità prevede le seguenti attività.

Test preliminari reattivi (CH₄/ARIA) del bruciatore ROMULUS;

Saranno proseguiti i test sul bruciatore ROMULUS iniziati nel precedente PAR in condizioni reattive. In particolare si affronterà il problema della dispersione dell'inseminante per la misura della velocità. Tale punto presenta delle criticità in quanto il flusso di particelle di inseminante tendono a depositarsi sulla superficie interna delle finestre per l'accesso ottico rendendole inutilizzabili. Andrà quindi valutata la quantità massima di inseminante che è possibile utilizzare in relazione al tempo di utilizzo del dispositivo sufficiente all'acquisizione di una quantità di dati capaci di fornire statistiche ragionevolmente accurate. Da esperienze analoghe presenti in letteratura, sembra infatti che la deposizione di particelle sulle finestre in quarzo sia inevitabile essendo il quarzo e gli ossidi di cui sono composti gli inseminanti due dielettrici che a contratto si caricano elettrostaticamente. Sarà quindi necessario individuare l'inseminante più adatto per i test reattivi (resistenti a temperature prossime ai 2000°C), oppure individuare la modifica all'apparato sperimentale per risolvere i problemi di sporcamento. Si procederà quindi alla campagna sperimentale.

Modifica dell'attuale impianto sperimentale

Si provvederà alla predisposizione del sistema di alimentazione di EG (CO₂ o miscela di prodotti di combustione preriscaldati ad almeno 450 °C); si implementerà un opportuno sistema di accensione; un nuovo sistema di alimentazione (con flussimetri), per avere una misura accurata delle (piccole) portate in gioco; un nuovo inseminatore, per aumentare l'accuratezza delle misure del campo di velocità con tecnica PIV; si acquisirà ulteriore materiale (finestre ottiche e guarnizioni) per garantire la continuità dei test in caso di rotture. La realizzazione dei sistemi di alimentazione e di accensione, e l'acquisizione del materiale necessario a garantire la continuità dei test sarà eseguita in collaborazione con l'Università di Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria. La stessa Università darà anche supporto alle misure condotte presso i laboratori ENEA.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico ENEA/Roma TRE relativo alle modifiche di impianto (sistemi di accensione e di alimentazione, comprensivo del preriscaldamento della CO₂) ed ai test reattivi CH₄/Aria
- Rapporto tecnico ENEA relativo all'analisi critica dello stato dell'arte della combustione in turbogas EGR mediante ricerca di letteratura

Principali collaborazioni: Università Roma TRE, Dipartimento di Ingegneria

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.4 Simulazione di ossi-combustione di CH₄ in atmosfera di CO₂ supercritica

L'obiettivo che ci si propone è lo sviluppo ulteriore del codice di simulazione numerica HeaRT, di proprietà ENEA, al fine di renderlo in grado di investigare gli effetti dell'alta pressione e della forte diluizione con CO₂ sui regimi di combustione, per giungere alla definizione di una strategia di combustione in condizioni supercritiche (300 bar) ed alla progettazione di una piastra di iniezione per l'ossi-combustore di una macchina turbogas a CO₂ supercritica.

Il progressivo aumento delle fonti di energia rinnovabile sta mettendo a rischio la stabilità della rete elettrica a causa delle inevitabili ed improvvise fluttuazioni di potenza che le caratterizzano. I cicli turbogas a CO₂ supercritica (che operano ad elevata pressione, circa 300 bar) possono rappresentare un'ottima soluzione al problema della sostenibilità delle fonti di energia rinnovabile. Infatti, tali sistemi, nella loro configurazione semi-chiusa, in cui l'ossi-combustione di gas naturale (o idrogeno, od altre miscele idrogenate) è la fonte di calore interna al ciclo, sembrano avere le caratteristiche di load-flexibility necessarie per stabilizzare la rete elettrica. Inoltre, nella loro configurazione chiusa, in cui il calore proviene dall'esterno tramite scambiatori, bene si prestano per aumentare l'efficienza di altri cicli (combinati). Non sono infine da trascurare le ricadute nel settore dei trasporti navali.

Nel precedente triennio è stato affrontato il problema della modellazione dei fluidi ad alta pressione in termini delle loro proprietà termodinamiche e di trasporto. In tale ambito è stata implementata una tecnica

basata sulla tabulazione delle proprietà delle singole specie e sull'uso di leggi di mescolamento. Tale tecnica è stata validata solo per miscele binarie; non si è dimostrata adatta a miscele più complesse. A valle di questo risultato, è stato implementato nel codice HeaRT dell'ENEA il modello semplificato di gas reale Peng-Robinson. Sono state anche implementate le proprietà di trasporto presenti nel database del NIST. Inoltre, è stato implementato il modello di gas reale più accurato esistente per il gas naturale, il modello GERG2008. Tale modello è così dispendioso dal punto di vista computazionale, da non poter essere utilizzato per simulazioni Large Eddy. Il suo uso si limita dunque alla verifica dell'errore commesso nel calcolo della densità e delle proprietà di trasporto su un singolo campo fluidodinamico istantaneo. Sono poi state eseguite simulazioni test relative al mescolamento di metano ed ossigeno, che hanno evidenziato alcune lacune negli schemi numerici per la simulazione ad alta pressione. In questa annualità si punta quindi al mettere appunto uno strumento di simulazione numerica di tipo Large Eddy per gas reali, che abbia caratteristiche di accuratezza nel calcolo delle proprietà di trasporto e nell'integrazione delle equazioni di Navier-Stokes reattive anche nelle zone con forti gradienti spaziali di densità ed investigare gli aspetti dell'alta pressione e della forte diluizione con CO₂ sui regimi di combustione, per permettere di giungere alla definizione di una strategia di combustione in condizioni supercritiche (300 bar) ed alla progettazione di una piastra di iniezione per l'ossi-combustore di una macchina turbogas a CO₂ supercritica. In particolare, l'obiettivo di questa annualità si raggiunge attraverso i seguenti task:

Ottimizzazione dei moduli s/w nel codice HeaRT per il calcolo delle proprietà per gas reali.

In particolare saranno ottimizzate le routine già implementate nel codice HeaRT relative al modello di Peng-Robinson. La strategia basata sulle 'departure functions' verrà utilizzata per calcolare i valori parziali molari dei volumi e delle entalpie delle singole specie chimiche trasportate, con preventivo calcolo dei loro volumi parziali molari. Questa procedura sostituirà l'attuale basata invece sul calcolo dei potenziali chimici delle singole specie, molto dispendiosa dal punto di vista del calcolo. Inoltre, il modello di Peng-Robinson sarà modificato nella versione ai volumi traslati, per aumentarne l'accuratezza nell'intorno del punto critico.

Implementazione di uno schema numerico spaziale ibrido per il controllo delle oscillazioni.

Questo attività mira ad evitare la nascita di oscillazioni numeriche spurie dovute ai forti gradienti di densità; lo schema ha la caratteristica di diventare automaticamente più diffusivo nelle zone con forti gradienti spaziali; questo sarà testato con una simulazione di un 'temporal mixing layer'.

Validazione della modellistica implementata in HeaRT.

La modellistica implementata sarà validata con un caso di letteratura non reattivo (getto di azoto supercritico) per cui sono disponibili misure di confronto. Si definirà anche un esperimento numerico di combustione CH₄/O₂/CO₂ ad alta pressione, per iniziare a definire il ruolo della diluizione con CO₂ sul regime di combustione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico ENEA relativo alla modifica ed ottimizzazione del modello di Peng-Robinson, al nuovo schema numerico di integrazione spaziale ed alle simulazioni

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

c.5 Monitoraggio della combustione ed identificazione delle instabilità

L'attività consiste nello sviluppo di strumenti numerici, diagnostici e di monitoraggio per il controllo della dinamica della combustione. Il monitoraggio continuo, robusto ed affidabile della combustione, l'identificazione in tempo reale dei fenomeni precursori di instabilità, ed il controllo (passivo, attivo, reattivo) della 'combustion dynamics', sono temi molto importanti per i produttori ed utilizzatori di turbogas. Risulta quindi di importanza strategica, studiare attraverso simulazione numerica e diagnostica avanzata i fenomeni di instabilità, in particolare termo-acustica legata alla variabilità di carico durante l'esercizio, e mettere appunto sensori robusti ed affidabili (miglioramento del sistema ODC, brevetto ENEA) in grado di rilevare le instabilità in tempo reale.

Assunto che il principale obiettivo della politica energetica Europea è quello di aumentare la produzione di

energia da fonte rinnovabile, occorre affrontare il problema della stabilità della rete elettrica dovuto alla natura intermittente ed imprevedibile di tali fonti. E' già un dato di fatto che le fluttuazioni di potenza del contributo rinnovabile di generazione di energia devono essere compensate con macchine turbogas, che hanno dunque assunto, e ancor di più nel prossimo futuro, il ruolo di impianti di back-up. Le crescenti richieste di variazioni di carico (sia in salita che in discesa) sempre più rapide su tali macchine comportano maggiori rischi di incorrere in instabilità termo-acustiche. A valle di discussioni con utilizzatori e produttori di turbogas a livello Europeo (European Turbine Network), si è chiarito che l'insorgere di tali instabilità durante condizioni di esercizio a carico variabile (cioè flessibile) dipende fortemente dalla macchina utilizzata (ed in particolare dal tipo di combustore, con maggiori problemi in quelli anulari) e dalla condizione di lavoro (avvio a liquido, base-load, picco). La maggiore tendenza alle instabilità termo-acustiche non è solo dovuta alla maggiore richiesta di flessibilità di carico, ma anche a quella di flessibilità di combustibile; tuttavia, questo secondo aspetto non è critico per gli utilizzatori adesso, ma lo sarà in futuro: le basse percentuali (< 5%) di idrogeno attualmente immesse nella rete di distribuzione del gas non danno problemi, o, quando li hanno indotti, sono stati risolti con modifiche agli attuali sistemi di controllo della 'combustion dynamics'. Di fatto, il monitoraggio continuo, robusto ed affidabile della combustione, l'identificazione in tempo reale dei fenomeni precursori di instabilità, ed il controllo (passivo, attivo, reattivo) della 'combustion dynamics', sono temi molto importanti per i produttori ed utilizzatori di turbogas: si deducono le forti ricadute in ambito industriale delle tematiche qui proposte.

Data l'importanza dell'argomento, è strategico avere codici di calcolo in grado di predire i fenomeni di instabilità di combustione di tipo termo-acustico, i loro effetti macroscopici (pulsazioni, ritorni di fiamma o "flashback", estinzioni), e di evidenziarne i meccanismi fisici di base. Al tempo stesso occorre migliorare e rendere più robusto il monitoraggio della combustione nei turbogas, in modo da ottenere un indice affidabile dei fenomeni precursori di tali instabilità. Queste azioni devono necessariamente essere svolte in condizioni simili a quelle di impianto, prima fra tutte a pressioni maggiori di quella atmosferica.

Nel precedente triennio, al fine di validare le performance predittive del codice HeaRT e del codice commerciale ANSYS-FLUENT, sono stati simulati due combustori premiscelati (PRECCINSTA e ONERA) operati in condizioni di instabilità termo-acustica. Il caso ONERA simulato nell'ultimo anno è di particolare interesse perché all'instabilità è associato un fenomeno di 'flashback', che non è stato possibile predire. E' stata comunque identificata la causa dell'insuccesso, ed il problema sarà nuovamente affrontato nel prossimo triennio. Il caso PRECCINSTA, molto più complesso perché richiede di simulare l'intero bruciatore con plenum e palettature, è stato investigato solo a livello preliminare: rappresenta un caso test di rilevanza industriale da affrontare nei prossimi anni. Per quanto riguarda il monitoraggio della combustione, il sistema ODC di ENEA è stato utilizzato nei combustori TVC e COMET-HP a 1 bar.

Nella presente annualità si intende utilizzare e migliorare un sensore ottico per il monitoraggio della combustione, che si dimostri robusto e affidabile in combustori con condizioni sempre più simili a quelli delle macchine reali. Ciò implica risolvere il problema della capacità di campionare l'energia radiante della fiamma in modo adeguato, evitando cioè la saturazione del sensore o l'eccessiva attenuazione ottica del segnale in ingresso: la criticità di questo argomento deriva dal fatto che nelle macchine reali, operate da spente fino a pieno carico, l'energia radiante in gioco varia notevolmente.

Contemporaneamente si dovrà iniziare a definire un criterio per la determinazione delle instabilità in tempo reale, basato sulla correlazione della dinamica del rilascio di calore e della temperatura, più generale ed avanzato rispetto a quello classico di Rayleigh. Per far questo, occorre anche capire meglio il ruolo svolto dalla dinamica dei soli radicali tipicamente associati al fronte di fiamma, ricorrendo a filtri, appositamente progettati, che lascino passare il solo contributo delle lunghezze d'onda tra 250 e 550 nanometri bloccando la radiazione fino a 1micron.

Risulta, altresì, importante approfondire la conoscenza della fisica alla base delle instabilità termo-acustiche e dei conseguenti fenomeni macroscopici (pulsazioni, ritorni di fiamma, estinzioni), ricorrendo sinergicamente all'uso di simulazione numerica avanzata (Large Eddy Simulation) e di tecniche diagnostiche avanzate (LIF, Rayleigh).

In particolare, l'attività di questa annualità si suddivide nei seguenti task:

Ulteriore sviluppo del sistema di monitoraggio della combustione ODC (brevetto ENEA)

Sarà ulteriormente sviluppato il sistema ODC, per aumentare le sue capacità di identificazione in tempo reale dei fenomeni precursori di instabilità e per portarlo a lavorare in condizioni di rilevanza industriale.

Lavorare sull'identificazione dei precursori implica sviluppare indici di instabilità basati su analisi statistica e non. ENEA si occuperà principalmente dell'analisi statistica. Gli strumenti di analisi non statistica dei dati (caotica, wavelet, POD) saranno invece sviluppati dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università ROMA TRE e preventivamente testati su dati numerici provenienti da simulazioni di tipo DNS forniti da ENEA. Per definire un criterio di instabilità più generale, ENEA vuole correlare le fluttuazioni del rilascio di calore con quelle di temperatura (associabili alla parte infrarossa del segnale di energia radiante): occorre iniziare uno studio di fattibilità, acquisendo un sensore specifico per IR, e definire la catena di misura. Per aumentare l'affidabilità del sistema ODC in ambito industriale, uno dei problemi maggiori da risolvere è quello dell'attenuazione controllata dell'energia radiante proveniente dal combustore. A tal scopo, ENEA progetterà e realizzerà un supporto con una serie di filtri grigi con diversa percentuale di attenuazione su un largo range spettrale e dotato di un sistema motorizzato che verrà controllato dal software Labview dell'ODC.

Esercizio dell'impianto ENEA COMET-HP

L'impianto COMET-HP sarà esercito a pressione maggiore dell'atmosferica cercando di portare l'impianto a condizioni di instabilità termo-acustica, monitorando lo stato con trasduttori di pressione ed ODC. I segnali campionati saranno analizzati con le tecniche già sviluppate.

Studi numerici (simulazioni LES) di fenomeni di flashback

Sarà effettuata la simulazione di tipo Large Eddy del combustore ONERA: in particolare, a valle dei risultati della precedente annualità, ENEA implementerà nel codice HearT le condizioni di ingresso di tipo non riflessivo, necessarie per cogliere fenomeni di 'flashback'. Sarà anche adottata una cinetica dettagliata per identificare la dinamica dei principali radicali. I risultati numerici saranno poi confrontati con quelli sperimentali disponibili.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico ENEA relativo al sensore ODC ed al filtraggio ottico dell'energia radiante
- Rapporto tecnico ENEA/ROMA TRE relativo ai test sperimentali dell'impianto COMET-HP a 5 bar
- Rapporto tecnico ENEA relativo alla simulazione, con il codice HearT, del combustore ONERA in condizioni di instabilità termo-acustiche e flashback

Principali collaborazioni: Università ROMA TRE - Dipartimento di Ingegneria

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

PARTE B: ATTIVITÀ POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

Le attività proseguono con la progettazione, realizzazione e sperimentazione di impianti pilota e dimostrativi di innovazione tecnologica finalizzati allo sviluppo di studi e sperimentazioni sulle nuove tecnologie e la realizzazione di impianti industriali Low Carbon, nella più ampia strategia di sviluppo di nuovi sistemi di separazione e cattura precombustione e postcombustione della CO₂ meno costosi e meno energivori degli attuali, nuove tecniche di rigenerazione dei solventi e di un campo di sperimentazione europeo di diverse tecniche di confinamento in strati sotterranei profondi del bacino carbonifero del Sulcis, delle tecniche di compressione, stoccaggio criogenico, trasporto e confinamento, della CO₂ catturata.

PARTE B1: ATTIVITÀ SOTACARBO

a. Tecnologie per la cattura della CO₂ in pre combustione e post combustione

L'obiettivo riguarda la messa a punto di tecnologie per la produzione e decarbonizzazione del syngas a monte della fase di combustione, e per la cattura della CO₂ dai fumi di combustione. Nel dettaglio si prevede di studiare e sperimentare la produzione di combustibili gassosi dal carbone attraverso il processo di gassificazione e l'approfondimento di processi di separazione della CO₂ dal syngas con solventi liquidi. Verranno in quest'ambito condotte diverse sperimentazioni su scala impianto, volte a caratterizzare la produzione di syngas, il suo trattamento e il loop completo di assorbimento e desorbimento della CO₂ presente nel syngas con misure di densimetria e viscosimetria a proseguo di attività già presenti nella

scorsa annualità della RdS. Le attività saranno prevalentemente svolte presso la piattaforma Pilota ed i laboratori Sotacarbo.

Verranno in quest'ambito effettuati test sperimentali di lunga durata di cogassificazione di carbone e biomassa sull'impianto dimostrativo da 5 MWt e verrà ottimizzato il sistema di trattamento dei reflui liquidi prodotti dal sistema di pulizia del syngas realizzato nella precedente annualità della RdS.

a.1 Cattura della CO₂ in pre-combustione e in post-combustione e trattamento del syngas

Il task riguarda la messa a punto di tecnologie per la decarbonizzazione del syngas a monte della fase di combustione. Nel dettaglio la finalità consiste nella produzione di combustibili gassosi dal carbone attraverso il processo di gassificazione e l'approfondimento di processi di separazione della CO₂ dal syngas con solventi liquidi. Verranno in quest'ambito condotte diverse sperimentazioni in impianto, volte a caratterizzare la produzione di syngas, il suo trattamento e il loop completo di assorbimento e desorbimento della CO₂ presente nel syngas con misure di densimetria e viscosimetria. Le attività saranno prevalentemente svolte presso la piattaforma Pilota e i laboratori Sotacarbo. In particolare si prevede di studiare l'assorbimento delle ammine in ciclo chiuso con il sistema di rigenerazione. Saranno ottimizzate le procedure di funzionamento e saranno analizzate le caratteristiche di degrado dell'ammina (MEA 3M, 5M e MDEA). In questo ambito saranno effettuate 220 ore di test sperimentali. Verranno in quest'ambito affidati al Politecnico di Milano, Dip. CMIC "Natta" studi di modellazione avanzata dei processi di pirolisi e ossidazione dei gas di coda provenienti dalla rigenerazione dei solventi utilizzati per la desolfurazione per la produzione di gas di sintesi, e la relativa attività di convalida sperimentale su impianto da laboratorio realizzato presso il Centro Ricerche Sotacarbo. In particolare, si tratterà di un processo di produzione di gas di sintesi per reazione di CO₂ con H₂S, entrambi generati o separati nei processi di purificazione, a temperature elevate per permettere la parziale riduzione della CO₂.

Inoltre verranno messe a punto le tecnologie per la decarbonizzazione dei fumi a valle della fase di combustione. Nel dettaglio si vogliono approfondire i processi di separazione della CO₂ da fumi di combustione (o gas che li emulano) con solventi liquidi. Verranno in quest'ambito condotte diverse sperimentazioni in impianto, volte a caratterizzare il loop completo di assorbimento e desorbimento della CO₂ da fumi con misure di densimetria e viscosimetria. Le attività saranno prevalentemente svolte presso la piattaforma Pilota e i laboratori Sotacarbo. In particolare si prevede di studiare l'assorbimento delle ammine in ciclo chiuso con il sistema di rigenerazione. Saranno ottimizzate le procedure di funzionamento e saranno analizzate le caratteristiche di degrado dell'ammina (MEA 3M, 5M e MDEA). In questo ambito saranno effettuate 100 ore di test sperimentali

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Attività sperimentali relative a tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione"
- Rapporto tecnico "Sviluppo di un sistema innovativo per il trattamento dei gas di coda provenienti dalla desolfurazione del syngas da carbone"
- Rapporto tecnico in collaborazione con DIE - "Cattura della CO₂ in post-combustione: attività in laboratorio ed in impianto"

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano, DIE

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione con biomasse

Verranno in questo ambito effettuati test sperimentali di cogassificazione carbone e biomassa sull'impianto dimostrativo da 5 MWt di lunga durata, con la possibilità di inviare uno stream di syngas al sistema di pulizia e trattamento dell'impianto pilota fino all'esercizio dimostrativo di un generatore elettrico basato su un motore a combustione interna. Inoltre verrà ottimizzato il sistema di trattamento dei reflui liquidi prodotti dal sistema di pulizia del syngas realizzato nella precedente annualità della RdS.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico "Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione

con biomasse”

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Cattura della CO₂ mediante ossi-combustione

L’obiettivo ha per finalità lo sviluppo e l’applicazione di tecnologie di cattura e sequestro della CO₂ attraverso l’ossi-combustione. La miscela gassosa prodotta dalla combustione caratterizzata da un’elevata presenza di molecole triatomiche (CO₂ e H₂O), ha un potere emissivo molto elevato, amplificato peraltro dalle condizioni di pressurizzazione della camera di combustione. I vantaggi in termini di efficienza sono legati alla possibilità di minimizzare le perdite di calore e massimizzare i recuperi termici mentre da un punto di vista economico la tecnologia, prevedendo l’allontanamento allo stato fuso delle ceneri prodotte dalla combustione, offre la possibilità di utilizzare tipologie di carboni di basso rango, più economici di quelli usuali e caratterizzati da una bassa temperatura di fusione delle ceneri. Si prevede di valutare la possibilità dello sviluppo di una tecnologia avanzata di ossi-combustione pressurizzata, con la eventuale realizzazione di un impianto pilota di potenza di poco inferiore a 50 MWt, il cui progetto esecutivo sarà basato su una tecnologia già testata, a livello sperimentale, in scala 5 MWt sull’impianto ISOTHERM-PWR di Gioia del Colle (BA), sviluppato e realizzato da SOFINTER SpA per la combustione di solidi e liquidi. Proseguirà in quest’annualità la caratterizzazione del coal slurry in input al “reattore” (tipica problematica dell’applicazione di ossi-combustione pressurizzata).

b.1 Preparazione ed alimentazione del coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione

Proseguirà in quest’annualità la caratterizzazione del coal slurry in input al “reattore” (tipica problematica dell’applicazione di ossi-combustione pressurizzata). Verranno in quest’ambito affidati al Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Architettura (DICAAR) dell’Università di Cagliari (Prof.ssa Tilocca) studi sperimentali di caratterizzazione delle miscele di acqua e carbone coal slurries.

Il proseguo degli studi si concentrerà sulla possibilità di ottenere un coal water slurry con caratteristiche di stabilità, fluidità e buona resa massica. Pertanto proseguiranno le sperimentazioni con l’affinamento della macinazione per ottenere condizioni di bimodalità ottimali della distribuzione granulometrica.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico “Produzione di miscele coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione”

Principali collaborazioni: Università di Cagliari, DICAAR

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.2 Sperimentazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione

In quest’ambito proseguirà l’attività per quanto riguarda la sezione di conversione degli SO_x e produzione di acido solforico. Durante la scorsa annualità è stato realizzato su skid un impianto pilota caratterizzato da una portata dei gas da trattare pari a 3 Nm³/h. L’impianto è composto da due unità ovvero la sezione di reazione costituita da un reattore catalitico (che lavora in continuo) e la sezione di assorbimento/produzione di acido solforico (che lavora in batch per la fase liquida). In questa annualità si prevede l’esecuzione dei test sperimentali di caratterizzazione e verifica dei principali parametri del processo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico “Sperimentazione di una sezione di recupero di H₂SO₄ da fumi di ossicombustione”

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

c. Monitoraggio e confinamento geologico della CO₂

Proseguono le attività legate al progetto globale che si pone come obiettivo il completamento della caratterizzazione del bacino del Sulcis come potenziale sito di stoccaggio dell’anidride carbonica. Tali attività trovano copertura finanziaria oltreché nella Ricerca di Sistema Elettrico anche nel progetto

finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna in maniera coerente e complementare. Sono in quest'ambito previste ulteriori indagini da superficie ed in galleria, per valutare le potenzialità del confinamento permanente della CO₂ negli strati profondi e non coltivabili del bacino carbonifero, in particolare nelle sottostanti formazioni acquifere, a una profondità superiore a 1200 metri. Tutto ciò premesso, il PAR 2015 prevede la prosecuzione delle attività sviluppate sino ad ora, sia per quanto concerne la predisposizione di un'integrazione alla documentazione da presentare alla Regione Autonoma della Sardegna per il rilascio di ulteriori autorizzazioni per le attività di prospezione e perforazione sia per quanto riguarda l'attività di rilievo geostrutturale e monitoraggio geochimico e sismico. In particolare, l'attività si articola nei seguenti task:

c.1 Definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e integrazione della documentazione in merito alle procedure autorizzative per attività di ricerca e prospezione

Verrà sviluppato uno studio preliminare per l'esecuzione di un pozzo esplorativo a 1.500 m e di pozzi superficiali affidando ad una società leader nel settore delle perforazioni una valutazione tecnica ed economica. Verrà integrata la documentazione riguardante le autorizzazioni di carattere ambientale (verifica di assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale) necessarie per lo svolgimento delle attività di indagine in campo all'interno dell'area di ricerca. E' previsto, in quest'ambito, un contratto verso la Golder SpA per il supporto alla redazione dello studio ambientale. Verrà inoltre affidata ad una società da individuare lo studio di fattibilità tecnico-economica per la realizzazione in una pozzo di esplorazione.

Risultati/Deliverable:

- Report relativo agli "Definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni"
- Report relativo alle "Predisposizione documentazione al fine del rilascio delle autorizzazioni ambientali, per quanto concerne le perforazioni profonde e superficiali"

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

c.2 Rilievo geostrutturale in galleria

Proseguirà lo studio dei parametri della fratturazione su analoghi geologici affioranti è una procedura ampiamente utilizzata nella ricerca di idrocarburi, e può essere utilizzata anche nel caso di valutazione di reservoir potenziali per lo stoccaggio geologico. Nell'area oggetto di questo studio, esiste una ulteriore possibilità di integrare i dati di superficie con quelli osservabili e misurabili nelle gallerie della vicina miniera di carbone, che raggiungono profondità di 500 metri e che quindi rappresentano una situazione intermedia tra la superficie e la profondità del potenziale reservoir, al di sotto dei 1000 m. Ad integrazione delle attività già eseguite nella scorsa annualità verranno studiate le formazioni geologiche costituenti il caprock ed il reservoir. Questi studi consistono in analisi della fratturazione al fine di definire i parametri petrofisici necessari per la modellazione statica/dinamica, la valutazione dei volumi disponibili, il contributo della permeabilità secondaria (per fratturazione) e la capacità di tenuta del caprock. Le stazioni geomeccaniche previste consentiranno di: 1) definire lo stile deformativo dei litotipi in esame; 2) determinare la densità di fratturazione; 3) valutare la connettività del network di fratture. Comparazione dei risultati ottenuti con i parametri già acquisiti in sotterraneo e con quelli provenienti dalle analisi in superficie. Verranno in quest'ambito affidate al CERI dell'Università Di Roma Sapienza (prof.ssa Bigi) le attività riguardanti il rilievo geostrutturale in galleria.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico relativo alla "Caratterizzazione geostrutturale dell'area del bacino carbonifero del Sulcis"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.3 Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis

In quest'ambito proseguiranno le attività di monitoraggio e caratterizzazione geochimica dell'area del bacino carbonifero del Sulcis attraverso l'attività di monitoraggio in continuo e l'acquisizione dei dati

provenienti dalle centraline già posizionate nei precedenti progetti sviluppati nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico e ubicate nella zona a nord dell'area di ricerca, integrando la rete con ulteriori sensori di rilevamento. Verranno in quest'ambito affidate al CERI dell'Università Di Roma Sapienza (prof. Bigi) le attività riguardanti il monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis.

Risultati/Deliverable:

- Report relativo al "Monitoraggio e caratterizzazione geochimica dell'area del bacino carbonifero del Sulcis"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.4 Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis

Per studiare il problema dell'eventuale risalita della CO₂, che normalmente avviene attraverso strutture geologiche come le faglie, dopo l'iniezione, è necessario che queste vengano caratterizzate per meglio comprenderne il comportamento. In particolare è stata individuata un'area specifica all'interno del permesso di ricerca che potrebbe risultare essere idonea a test di confinamento per verificare la tenuta/impermeabilità delle faglie. Pertanto verranno eseguite tre tipologie di indagine, sia i profili elettromagnetici che la sismica a riflessione ad alta definizione permetteranno di studiare lo sviluppo della faglia in profondità mentre la sismicità di background ci permette di definire la baseline prima di procedere con test di iniezione sulla faglia stessa.

Profili elettromagnetici e Sismica a riflessione

La prospezione elettromagnetica mediante metodo VLF e la sismica a riflessione in prossimità della faglia di Matzaccara hanno lo scopo di integrare i dati del rilevamento geologico fornendo informazioni sull'assetto geometrico (posizione, inclinazione e profondità) e sulle proprietà fisico-elettriche (conducibilità/resistività) della suddetta struttura. Tali proprietà possono facilmente correlarsi a parametri idrogeologici ed in particolare alla permeabilità. In particolare, numerosi studi hanno evidenziato l'efficacia dei suddetti metodi nella ricerca di faglie sepolte. Pertanto, queste metodologie sono, da anni, adottate proficuamente dai servizi geologici di numerosi paesi per la mappatura di strutture geologiche sepolte anche in aree caratterizzate dalla presenza di coperture di rilevante spessore. Verranno in quest'ambito affidati i seguenti contratti: Profili elettromagnetici al Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (CINIGEO) e Sismica a riflessione ad INGV/OGS.

Sismicità di background

In quest'ambito proseguirà lo studio della sismicità di fondo dell'area carbonifera del Sulcis per la definizione della baseline della sismicità naturale dell'area infittendo la rete di monitoraggio nell'area di probabile posizionamento dei futuri test di iniezione.

Verranno installate ulteriori stazioni sismiche in area circoscritta all'interno del permesso di ricerca, a completamento dei dati già acquisiti nei precedenti PAR. E' previsto in quest'ambito un contratto di acquisizione di competenze e conoscenze verso INGV. In questo campo INGV vanta un'esperienza indiscussa, legata al monitoraggio di processi di stoccaggio di gas naturale in Italia. Tale baseline costituirà il principale riferimento per le successive fasi di iniezioni della CO₂ al fine di discriminare tra sismicità naturale e quella eventualmente dovuta a cause antropiche/industriali. Verrà in quest'ambito affidato un contratto all'INGV.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Profili elettromagnetici"
- Rapporto tecnico "Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismica a riflessione"
- Rapporto tecnico "Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background"

Principali collaborazioni: Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (CINIGEO), INGV

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

d. Comunicazione e divulgazione dei risultati

A integrazione delle attività di ricerca, uno sforzo particolare viene rivolto alla comunicazione e diffusione dei risultati del progetto in diversi ambiti e forme. In particolare sono previste:

- iniziative editoriali con taglio volutamente divulgativo, ospitate presso altre testate giornalistiche nazionali e internazionali, oltre che nei siti aziendali e nel magazine digitale “Only Natural Energy” (testata giornalistica registrata dalla Sotacarbo e gestita in collaborazione con IEA Clean Coal Centre);
- la pubblicazione di articoli e documenti tecnici a carattere pubblico;
- l’organizzazione e partecipazione a workshop, seminari, convegni;
- progetto Zoe (Zero Emission), rivolto alla divulgazione e sensibilizzazione scolastica sui temi dell’ambiente e dell’energia.

Particolare menzione merita l’iniziativa relativa alla quarta edizione della “Sulcis Summer School on CCS Technologies”, Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO₂, che si terrà presso il Centro Ricerche Sotacarbo – Carbonia, organizzata congiuntamente da ENEA, Sotacarbo e Università di Cagliari nell’ambito delle attività del Polo Tecnologico Carbone Pulito, nel mese di luglio 2016.

Con questa iniziativa, ENEA e Sotacarbo, in collaborazione con l’Università di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali, CO₂ Geonet e IEA Clean Coal Centre, intendono consolidare un’iniziativa di valenza internazionale che si pone l’obiettivo di realizzare una sede stabile di approfondimento degli argomenti e delle problematiche relative al campo delle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂, e si rivolge a studenti universitari della laurea magistrale e del dottorato di ricerca provenienti da diversi percorsi formativi, oltre che a operatori ed esperti di impiantistica energetica, al fine di promuovere la loro partecipazione attiva in questo settore.

È proprio nelle attività di comunicazione e diffusione dei risultati, che si esplicita in modo più evidente la collaborazione tra Sotacarbo e IEA Clean Coal Centre, in virtù della quale viene riconosciuta la quota di iscrizione all’organizzazione sostenuta annualmente dalla Società.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico “Comunicazione e diffusione dei risultati: attività svolta da Sotacarbo S.p.A.”
- Rapporto tecnico “Attività legate a IEA-CCC”

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

PARTE B2: ATTIVITÀ ENEA

a. Tecnologie per la cattura della CO₂ in pre combustione e produzione di combustibili gassosi

Si prevede in quest’ambito la prosecuzione delle attività avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di separazione della CO₂ da syngas e fumi con solventi liquidi. Le attività saranno svolte sia presso ENEA, che in parallelo presso SOTACARBO, con attività di supporto alle già descritte attività di SOTACARBO. Sulla base delle esperienze precedentemente condotte nelle passate annualità presso gli impianti Sotacarbo, ENEA collaborerà alle attività svolte presso la piattaforma Pilota ed i laboratori Sotacarbo, collaborando alla predisposizione delle specifiche di prova, alla sperimentazione ed all’elaborazione dei dati.

Verranno inoltre condotte, presso C.R.E. Casaccia, attività di produzione di combustibili gassosi per testare nuove procedure di esercizio, nuovi componenti e sensoristica a supporto delle attività svolte presso Sotacarbo. In particolare si darà corso all’acquisizione di nuova componentistica e di interventi migliorativi sull’impianto GESSYCA (GEnereatore Sperimentale di SYngas da CARbone dotato di un gassificatore a letto fisso up-draft). Verrà quindi testato l’impianto equipaggiato con i nuovi componenti, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test.

Nell'ambito di queste attività, verrà affidato al Dipartimento di Scienze Chimiche (DSCG) dell'Università di Cagliari a proseguo di quanto svolto nella passata annualità, un'attività di caratterizzazione composizionale del syngas proveniente dalla gassificazione di carbone e biomasse, nonché del tar e delle ceneri. L'attività prevede l'ottimizzazione della procedura di prelievo del gas per la determinazione dei macrocostituenti e dei principali contaminanti del syngas, con particolare attenzione alla temperatura di prelievo del TAR, per consentire la raccolta delle frazioni più pesanti: sarà pertanto possibile effettuare una speciazione dei costituenti del tar più dettagliata. Verranno eseguiti campionamenti finalizzati all'analisi della composizione del syngas relativamente ai macrocostituenti (H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , N_2 , O_2 , H_2O) e contaminanti principali (H_2S , COS , HCl , HF , NH_3), alla presenza di polveri, e alla quantificazione e caratterizzazione composizionale del TAR.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico "Produzione di combustibili gassosi presso l'impianto GESSYCA";
- Rapporto Tecnico congiunto ENEA/SOTACARBO, relativo all'attività rif. Obiettivo a1- Parte B1
- Rapporto Tecnico congiunto ENEA/SOTACARBO, relativo all'attività rif. Obiettivo a2 - Parte B1
- Rapporto Tecnico "Caratterizzazione composizionale del syngas proveniente dalla gassificazione di carbone e biomasse" in collaborazione con UNICA-DSCG

Principali collaborazioni: Università di Cagliari, Dipartimento di Scienze Chimiche (DSCG)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO_2

L'obiettivo prevede la prosecuzione delle attività svolte nella passata annualità. La produzione di SNG (Substitute Natural Gas) da carbone presenta il vantaggio di ottenere un gas che immediatamente si può collocare sul mercato della distribuzione verso gli usi finali. Il processo richiede ancora importanti innovazioni e sviluppi in campo tecnico. Il miglioramento dell'efficienza energetica e la minimizzazione dell'impatto ambientale sono due sfide cruciali. L'obiettivo è quello di migliorare la competitività economica rispetto ai competitors (Gas Naturale e GPL) e ridurre l'utilizzo di "materie prime" ed energia. Ulteriori sviluppi del processo di produzione di SNG prevedono la sua applicazione nell'ambito del Power To Gas, dove il surplus di energia elettrica, tipico di alcune fonti rinnovabili a carattere aleatorio, viene convertito in uno stoccaggio di tipo chimico costituito da metano.

Si darà corso in questa annualità all'acquisizione di componenti e sensoristica relativi alla sezione per la produzione di SNG da carbone dell'impianto prova GESSYCA. L'impianto sarà equipaggiato della sensoristica e di tutti gli ausiliari (compressore syngas, sistema di campionamento, sezione di depolverazione, unità di essiccamento, unità di upgrading a membrana) necessari al corretto funzionamento delle sezioni di clean-up, conversione del syngas e upgrading fino alla produzione di gas ad elevato contenuto di metano. A valle verranno effettuati test sperimentali del processo di produzione di SNG a partire da miscele di idrogeno, monossido di carbonio e CO_2 su catalizzatori di natura commerciale. Verranno in tale ambito variati i principali parametri di processo quali la temperatura e la pressione e valutate le condizioni ottimali per ottenere un gas sintetico rispondente alle specifiche di differenti utilizzatori o per l'immissione nella rete gas.

Proseguirà in quest'ambito l'attività affidata al Dipartimento di Energia (DIE) del Politecnico di Milano volta alla sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori di tipo strutturato per la produzione di Synthetic Natural Gas da carbone. Nello specifico l'attività di ricerca condotta dal Politecnico verrà focalizzata sulla reazione di metanazione di miscele $H_2/CO/CO_2$, ottenute dalla gassificazione di carbone, condotta su catalizzatori a base di rutenio. Verranno dunque indagate le performances dei catalizzatori commerciali in presenza di miscele $H_2/CO/CO_2$ e si approfondirà lo studio dell'effetto della presenza di acqua (il principale prodotto di reazione in termini molari) sulla cinetica del processo, sviluppando espressioni cinetiche di tipo meccanicistico che tengano conto degli effetti inibitori.

Considerato che le tecnologie a membrana rappresentano una soluzione innovativa, economica, efficiente e sostenibile per il trattamento di combustibili gassosi, per la cattura della CO_2 e sua rimozione da miscele, proseguirà in quest'ambito l'attività affidata al Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna volta alla sintesi, caratterizzazione e prova di membrane

polimeriche per la purificazione del Synthetic Natural Gas. Sulla base di quanto emerso nella passata annualità si proseguiranno le attività sulle membrane polimeriche che si erano mostrate idonee per la purificazione del SNG; nello specifico l'attività verrà condotta studiando ulteriori aspetti quali: la durabilità (resistenza all'invecchiamento), la resistenza all'effetto di altri componenti sulla permeazione (umidità), la scalabilità del sistema e l'effetto di altri componenti sulle proprietà di trasporto.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico "Test sperimentali su catalizzatori commerciali per la produzione di SNG da CO e CO₂"
- Rapporto Tecnico "Sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori di tipo strutturato per la produzione di SNG" in collaborazione con Dipartimento di Energia (DIE) del Politecnico di Milano
- Rapporto Tecnico "Sintesi, caratterizzazione e prova di membrane per la purificazione del Synthetic Natural Gas" in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia (DIE), Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Sviluppo di diagnostica avanzata per applicazioni in ossi-combustione e monitoraggio della CO₂

Si prevede in quest'ambito il proseguo, dalla annualità precedente, dello studio di sistemi ottici innovativi per la misura in tempo reale dell'ossigeno nei prodotti di ossi combustione, al fine di controllare l'efficienza di combustione. Le attività finora condotte hanno portato alla individuazione di tecnologie innovative che potessero essere applicate allo sviluppo di uno strumento per l'ossigeno che fosse compatto, economico ed utilizzabile in ambito industriale. L'ambiente particolarmente ostile in cui effettuare le misure della concentrazione assoluta e/o relativa dei gas ($T > 700^\circ\text{C}$ e $p > 4$ bar), ha fatto ricadere la scelta sulle tecniche di tipo spettroscopico. In particolare, lo strumento che ci si prefigge di sviluppare sarà basato sulla spettroscopia ad emissione indotta da plasma RF. In questo triennio si vuole ottenere uno strumento che, in tempo reale, sia in grado di monitorare il contenuto di O₂ nei fumi provenienti da un processo di combustione.

Si prevede altresì in quest'ambito il progetto, la realizzazione e lo sviluppo di prototipi di filtri ottici per spettrometri ultraleggeri portatili finalizzati al rilevamento della CO₂ per il monitoraggio superficiale di ampie aree insistenti sui siti di stoccaggio geologico.

c.1 Monitoraggio dell'ossigeno in fumi di ossicombustione

Per quanto concerne il primo sistema, l'attività di ricerca è iniziata nella precedente annualità, e riguarda lo sviluppo di uno strumento per la misura della percentuale relativa e/o assoluta del contenuto dell'ossigeno molecolare nei fumi di combustione. In impianti che utilizzano la tecnologia di ossicombustione e di interesse nel progetto, particolarmente critico è il controllo e il monitoraggio dell'ossigeno molecolare perché i sensori attualmente presenti sul mercato non possono operare efficientemente a temperature maggiori di 700°C, pressioni superiori ai 4 bar e condizioni di opacità. Nella precedente annualità si è avviata una ricerca indirizzata allo sviluppo di uno strumento basato su caratteristiche completamente nuove e non ancora utilizzato nel settore della combustione. Il principio di funzionamento dello strumento si basa sulla spettroscopia ad emissione ottica (OES, Optical Emission Spectroscopy) degli atomi o molecole eccitati presenti in una camera da vuoto in cui si genera un plasma che è stato confinato mediante dei magneti permanenti. Spillando all'uscita del combustore i gas prodotti e immettendoli nella camera da vuoto in cui viene innescato il plasma, si acquisirà lo spettro emesso. Con l'osservazione della variazione relativa nel tempo, delle varie linee spettroscopiche delle specie presenti e soprattutto di quella relativa all'ossigeno atomico, si può, in principio, monitorare in tempo reale, la variazione dell'ossigeno molecolare nei fumi. Al termine della ricerca si vuole ottenere un sistema H/W e S/W che, in tempo reale, consenta di riconoscere la variazione (relativa o assoluta) della concentrazione dell'ossigeno nella miscela.

Nel corso di questa annualità lo studio verterà sul comportamento delle righe di emissione spettrale dell'ossigeno, in forma molecolare ed atomica, al variare dei parametri di processo a partire da una concentrazione nota di gas nella miscela preparata utilizzando alcuni dei gas contenuti nei fumi di combustione. L'obiettivo è quello di caratterizzare gli spettri di emissione per determinare l'andamento delle intensità emesse dalle righe associate all'ossigeno in rapporto alle righe spettrali delle altre specie gassose presenti. I risultati sperimentali verranno utilizzati per la costruzione delle curve di taratura e per la definizione di un algoritmo che mediante un processo di "reverse engineering" riesca a determinare la concentrazione assoluta o relativa dell'O₂ nella miscela preparata con gli stessi gas ma con concentrazioni incognite.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico "Sistemi ottici innovativi per la misura dell'ossigeno nei prodotti di ossi combustione"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.2 Monitoraggio della CO₂ mediante sistemi ottici

Si prevede altresì in quest'ambito il progetto, la realizzazione e lo sviluppo di prototipi di filtri ottici per spettrometri ultraleggeri portatili finalizzati al rilevamento della CO₂ per il monitoraggio superficiale di ampie aree insistenti sui siti di stoccaggio geologico della CO₂.

L'ENEA effettuerà uno studio di fattibilità di misura remota del livello di assorbimento ottico con il metodo proposto. Il confronto con i dati acquisiti dalla rete dei sensori di gas già presenti in loco (Sulcis) permetterà la valutazione e la taratura di questo nuovo approccio. Una stima preliminare delle caratteristiche dei dati ottenibili con l'approccio previsto per la camera HS operante nell'infrarosso (IR) è molto promettente. Ad esempio, 127 bande di acquisizione del segnale in circa 10 cm di apertura con larghezza di banda 31nm su tutta la gamma del medio infrarosso (MWIR) consentirebbero la risoluzione al suolo fino a 30mm a 100m di distanza. Il design estremamente compatto e leggero (circa 0,5 kg vs 5 kg di una delle migliori telecamere disponibili con caratteristiche simili, Middleton spectral Vision) deve essere adatto per l'osservazione da piccoli satelliti o droni. Per l'osservazione dallo spazio, si punterà a ottenere una risoluzione spaziale migliore di 100m che ora è disponibile esclusivamente con le camere RGB.

Nell'annualità si procederà con la definizione di un primo design e lo sviluppo dei prototipi di filtri ottici per gli spettrometri ultraleggeri portatili di rilevamento di CO₂. Lo studio prevede la formulazione delle specifiche di filtri interferenziali per la spettroscopia di gas: range spettrale di lavoro, performance ottica necessaria (larghezze di bande passanti, rapporto segnale/rumore ecc.) , materiali da impiegare, tecniche di realizzazione dei filtri. Questo studio sarà seguito dalla realizzazione dei prototipi dei filtri e dal design ottico dello spettrometro e della camera iperspettrale. Attività propedeutiche alla realizzazione di un sistema prototipale.

In particolare, nella annualità si provvederà al design preliminare della camera e dello spettrometro, al design del filtro ottico per l'acquisizione dei segnali in almeno una delle bande di assorbimento caratteristiche per il CO₂ ed alla realizzazione dei primi prototipi dei filtri variabili nel range spettrale di interesse.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico "Sviluppo di filtri ottici prototipali per spettrometri portatili finalizzati al rilevamento ambientale della CO₂"

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

d. Comunicazione e divulgazione dei risultati

Al fine di valorizzare i risultati dell'attività svolta nell'intero progetto, Parte A e Parte B, una particolare attenzione è rivolta agli aspetti di comunicazione e diffusione dei risultati, in diversi ambiti, forme e con l'organizzazione di iniziative di particolare rilievo.

Questa azione si articola attraverso:

- a pubblicazione di articoli e documenti tecnici a carattere pubblico;
- l'organizzazione di workshop, seminari, convegni;
- aggiornamento sito web e brochure impianti.

Un discorso a parte merita l'organizzazione della "Sulcis Summer School on CCS Technologies", Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO₂, giunta alla sua terza edizione. L'evento, che si terrà presso il Centro Ricerche Sotacarbo – Carbonia nel mese di Luglio 2016, è organizzato congiuntamente, e in stretta collaborazione, da ENEA, Sotacarbo e Università di Cagliari nell'ambito delle attività del Polo Tecnologico Carbone Pulito.

Con questa iniziativa gli organizzatori intendono consolidare un evento di valenza internazionale, che si propone come sede stabile di approfondimento e aggiornamento sugli argomenti e le problematiche relative alle tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂. L'iniziativa si rivolge a studenti universitari della laurea magistrale e del dottorato di ricerca provenienti da diversi percorsi formativi, oltre che a operatori ed esperti di impiantistica energetica, al fine di promuovere la loro partecipazione attiva in questo settore.

Nel corso dell'annualità verrà inoltre programmato un workshop tematico sui risultati ottenuti nel PAR 2014 e sulle attività svolte nell'ambito del PAR 2015.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico ENEA "Comunicazione e diffusione dei risultati: attività svolta da ENEA"

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE PARTE A

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a. Tecnologie di cattura in pre combustione della CO₂													
	a.1 Sviluppo di sorbenti solidi a base di CaO: utilizzo del grafene e di materiali a base di alluminio e silicio per la deposizione del calcio												
	a.2 Utilizzo di membrane perovskitiche per la separazione di O ₂ dall'aria ed il suo utilizzo per la rigenerazione dei sorbenti solidi per la cattura di CO ₂												
	a.3 Consolidamento dell'infrastruttura di ricerca zecomix nella produzione di energia elettrica 'low carbon' e sua evoluzione verso un'applicazione sostenibile in campo industriale												
b. Sviluppo di tecnologie di utilizzo della CO₂ per la produzione di combustibili e chemicals													
	Tecnologie di produzione di combustibili da CO ₂ e H ₂												
c. Cicli turbogas a CO₂													
	c.1 Cicli turbogas EGRss												
	c.2 Tecnologie avanzate per la compressione e trasporto della CO ₂ allo stato supercritico												
	c.3 Studi sulla combustione in cicli turbogas EGR												
	c.4 Simulazione di ossi-combustione di CH ₄ in atmosfera di CO ₂ supercritica												
	c.5 Monitoraggio della combustione ed identificazione delle instabilità												

PARTE B - POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

PROGRAMMA TEMPORALE PARTE B1 - ATTIVITÀ SOTACARBO

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a. Tecnologie per la cattura della CO₂ in pre combustione e post combustione													
	a.1 Cattura della CO ₂ in post e pre-combustione e trattamento del syngas												
	a.2 Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione con biomasse												
b. Cattura della CO₂ mediante ossi-combustione													
	b.1 Preparazione ed alimentazione del coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione												
	b.2 Sperimentazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione												
c. Monitoraggio e confinamento della CO₂													
	c.1 Definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e integrazione della documentazione in merito alle procedure autorizzative per attività di ricerca e prospezione												
	c.2 Rilievo geostrutturale in galleria												
	c.3 Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis												
	c.4 Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis												
d. Comunicazione e divulgazione dei risultati													

PROGRAMMA TEMPORALE PARTE B2 - ATTIVITÀ ENEA

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Tecnologie innovative per la cattura della CO ₂ in pre-combustione , post-combustione e produzione di combustibili gassosi												
b	Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO ₂												
c	Sviluppo di diagnostica avanzata per applicazioni in ossi-combustione e monitoraggio CO ₂												
d	Comunicazione e divulgazione dei risultati												

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI PARTE A - ENEA

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	TOTALE
a. Tecnologie di cattura della CO₂ in Pre Combustione										
	a.1 Sviluppo di sorbenti solidi a base di CaO: utilizzo del grafene e di materiali a base di alluminio e silicio per la deposizione del calcio	1162	41,15	24,60	0,25	3,0	0,0	0,0	20,0	89,0
	a.2 Utilizzo di membrane perovskitiche per la separazione di O ₂ dall'aria ed il suo utilizzo per la rigenerazione dei sorbenti solidi per la cattura di CO ₂	742	26,25	15,75	0,00	1,0	0,0	0,0	25,0	68,0
	a.3 Consolidamento dell'infrastruttura di ricerca zecomix nella produzione di energia elettrica 'low carbon' e sua evoluzione verso un'applicazione sostenibile in campo industriale	3460	122,50	73,50	0,00	28,0	0,0	0,0	50,0	274,0
	<i>Subtotale Ob. a</i>	5364	189,90	113,85	0,25	32,0	0,0	0,0	95,0	431,0
b. Sviluppo di tecnologie di utilizzo della CO₂ per la produzione di combustibili e chemicals										
	Tecnologie di produzione di combustibili da CO ₂ e H ₂	590	21,00	12,55	5,95	10,0	0,0	0,5	30,0	80,0
c. Cicli Turbogas a CO₂										
	c. 1 Cicli turbogas EGR	2145	76,0	45,6	0,0	8,5	0,0	1,5	0,0	131,6
	c.2 Tecnologie avanzate per la compressione e trasporto della CO ₂ allo stato supercritico	495	17,5	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	63,0
	c.3 Studi sulla combustione in cicli turbogas EGR	890	31,5	18,8	8,0	32,0	0,0	0,5	40,0	130,8
	c.4 Simulazione di ossi-combustione di CH ₄ in atmosfera di CO ₂ supercritica	1140	40,4	24,3	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	72,5
	c.5 Monitoraggio della combustione ed identificazione delle instabilità	1425	50,5	30,3	3,5	6,0	0,0	0,8	0,0	91,1
	<i>Subtotale Ob. c</i>	6095	215,9	129,5	19,3	46,5	0,0	2,8	75,0	489,0
	TOTALE	12049	426,8	255,9	25,5	88,5	0,0	3,3	200,0	1000,0

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento, include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri), pari a 35,4 €/h per la PARTE A (ENEA) e 34,7 €/h per le attività ENEA PARTE B. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto. Per quanto concerne la parte B (SOTACARBO) è stato applicato lo stesso rapporto tra costi diretti e spese generali.

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI PARTE B1 - ATTIVITÀ SOTACARBO

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Tecnologie di cattura della CO₂ in pre combustione e post combustione									
	<i>a.1 Cattura della CO₂ in post e pre-combustione e trattamento del syngas</i>	3800	100	60	40	25	50	10	0	285
	<i>a.2 Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione con biomasse</i>	4200	110	66	100	130	25	10	0	441
	<i>Subtotale Ob. a</i>	8000	210	126	140	155	75	20	0	726
b	Cattura della CO₂ mediante ossi-combustione									
	<i>b.1 Preparazione ed alimentazione del coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione</i>	1150	30	18	0	0	40	5	0	93
	<i>b.2 Sperimentazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione</i>	1000	25	15	20	30	0	5	0	95
	<i>Subtotale Ob. b</i>	2150	55	33	20	30	40	10	0	188
c	Monitoraggio e Confinamento geologico della CO₂									
	<i>c.1 Definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e integrazione della documentazione in merito alle procedure autorizzative per attività di ricerca e prospezione</i>	600	15	9	0	0	20	5	0	49
	<i>c.2 Rilievo geostrutturale in galleria</i>	1200	30	18	0	0	40	0	0	88
	<i>c.3 Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis</i>	600	15	9	0	0	50	0	0	74
	<i>c.4 Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis</i>	1200	30	18	0	0	120	7	0	175
	<i>Subtotale Ob. c</i>	3600	90	54	0	0	230	12	0	386
d	Comunicazione e Divulgazione dei risultati	1500	40	24	0	120	6	10	0	200
	TOTALE	15250	395	237	160	305	351	52	0	1.500

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI PARTE B2 - ATTIVITÀ ENEA

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione, Post-Combustione e produzione di combustibili gassosi	2016	70,0	42,0	16	3,5	35	18	0	184,5
b	Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂	1423	49,4	29,6	24	11	65	3,5	0	182,5
c	Sviluppo di diagnostica avanzata per applicazioni in ossi-combustione e monitoraggio CO₂									
	<i>c.1 Monitoraggio dell'ossigeno in fumi di ossi-combustione</i>	660	22,9	13,8	0,0	18,5	0,0	1,0	0,0	56,2
	<i>c.2 Monitoraggio della CO₂ mediante sistemi ottici</i>	467	16,2	9,8	0,0	2,0	0,0	0	0,0	28,0
	<i>Subtotale Ob. c</i>	1127	39,1	23,6	0,0	20,5	0,0	1,0	0,0	84,2
d	Comunicazione e divulgazione dei risultati	864	29,9	18,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	48,8
	TOTALE	5430	188,4	113,2	40,0	35,0	100,0	23,4	0,0	500,0

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

PARTE A - ENEA

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Spettrofotometro UV /visibile	4.250	250,0	100%
b	WS per analisi chimiche	1.400	132,0	100%
b	Pompa peristaltica impianto Fenice	4.754,09	950,82	100%
b	Gasromatografo	24.278,00	4.855,6	100%
c.3	Workstation e S/W simulazioni RANS/LES	34.526,00	5.753,76	50%
c.3	Workstation e S/W simulazioni RANS/LES	13.420,00	2.236,44	50%
c.4	Flussimetri per test-rig Romolus	4.795,00	4.795,00	100%
c.4	Server DELLR715	18.863,90	2.971,41	50%
c.5	Sistema ottico per misure PIV	30.988,00	3.098,8	50%
c.5	Pompa turbomolecolare impianto di sputtering a radiofrequenza	9.150	325,89	100%
c.5	WS sistema di controllo ODC	1.400,00	132,0	100%
	TOTALE	147.824,99	25.501,72	

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

PARTE B1: Attività SOTACARBO

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Acquisto muletto	15.000	15.000	100 %
a.1	Modifiche sistema assorbimento e rigenerazione	60.000	60.000	100 %
a.2	Strumentazione di misura	25.000	25.000	100 %
a.2	Analizzatore NOx e SOx per misura emissioni fumi impianto 5 MW	20.000	20.000	100 %
a.2	Implementazione impianto trattamento reflui	20.000	20.000	100 %
b.2	Strumentazione aggiuntiva all'impianto di recupero zolfo (misuratori di portata, analizzatori gas)	20.000	20.000	100 %
	TOTALE	160.000	160.000	

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

PARTE B2: Attività ENEA

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a	Fotocamera digitale	1.122,88	224,58	100%
a	Sistema di misura CO2	23.937,43	4.787,49	100%
a	Sistema di regolazione pressione impianto Gessyca	10.500,00	10.500,00	100%
a	PC ASUS TD-3286169	2.413,16	482,63	100%
b	Centralina gas a membrana e sistema riscaldamento reattori impianto Gessyca	24.000,00	24.000,00	100%
TOTALE		61.973,47	39.994,7	

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

PARTE A - ENEA

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Materiali, sostanze chimiche ricambi	3.000
a.2	Materiali (dolomite, olivina) e gas tecnici	1.000
a.3	componenti impianto ZECOMIX e VALCHIRIA	28.000
b.1	Fluidi, reagenti, consumo gascromatografo	10.000
c.1	Implementazione dell'assetto EGR STEP-1 sull'impianto AGATUR, gas e materiali	8.500
c.3	Licenza ANSYS FLUENT	32.000
c.5	Componenti modifica sistema ODC per operare ad alta pressione	6.000
TOTALE		88.500

PARTE B1: Attività SOTACARBO

Obiettivo/Task	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Consumabili per impianto pilota (Ammine, gpl, carbone)	25.000
a.2	Ottimizzazione impianto dimostrativo	10.000
a.2	Utilizzo impresa esterna per prestazione di personale per avviamenti	25.000
a.2	Consumabili (GPL, Carbone, olii, gas tecnici) per impianto dimostrativo	50.000
a.2	Smaltimenti reflui	25.000
a.2	Altri consumabili	20.000
b.2	Consumabili per sperimentazione	30.000
d.1	Quota iscrizione alla IEA CCC	95.000
d.1	Sulcis CCS Summer School	25.000
TOTALE		305.000

PARTE B2: Attività ENEA

Obiettivo/Task	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a	Materiale di consumo vario (combustibili, gas tecnici, fitting, ...)	3.500
b	Lavori e componenti per adeguamento impianto GESSYCA	11.000
c.1	Componenti per realizzazione prototipo sistema monitoraggio O2	18.500
c.2	Licenza s/w OptiLayer per sensore CO ₂	2.000
TOTALE		35.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

PARTE B1: Attività SOTACARBO

Obiettivo /Task	Contratti di Ricerca	Costo previsto (€)
a.1	Politecnico di Milano – Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G. Natta" Il dipartimento di chimica, materiali e ingegneria chimica del Politecnico di Milano ha una lunga tradizione per quel che concerne la modellazione dei processi chimici. Posseggono molteplici brevetti su vari processi chimici in particolare le attività del POLIMI, gruppo prof. Manenti, sono state inserite nell'obiettivo a.1 con l'attività di ricerca sulla modellazione e successiva validazione sperimentale di un processo sull'utilizzo dei gas di coda provenienti dalla rigenerazione dei solventi che possono essere convertiti in gas di sintesi.	50.000
b.1	Università degli studi di Cagliari – Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettonica, gruppo professoressa Tilocca La professoressa Tilocca vanta una notevole esperienza nelle tematiche riguardante le tecnologie di preparazione delle miscele Coal Water Slurry. In questa annualità della ricerca di sistema, obiettivo b.1, si affiderà alla professoressa Tilocca il proseguo della attività iniziate nelle altre annualità della RdS.	40.000
c.2	2 Contratti di ricerca con l'Università di Roma "Sapienza" Si occupano delle attività di rilievo geologico strutturale e studio delle deformazioni con particolare riguardo al riconoscimento e ricostruzione dei meccanismi deformativi nelle zone di taglio fragili-duttili associate a piani di faglia principali e la modellazione tridimensionale dei sistemi di fratture. Inoltre vantano importante esperienze nello studio della fratturazione e sul controllo della stessa sulla migrazione dei fluidi. In particolare le attività di ricerca e le competenze acquisite si basano sugli studi geologico – strutturali di analoghi naturali con emissioni di CO2 come la Caldera di Latera e Ciampino (RM). Nel PAR 2015 verranno affidati due contratti di ricerca all'Università di Roma riguardanti le attività c.2 e c.3.	40.000
c.3		50.000
c.4	Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (CINIGEO) Il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (CINIGeo) si propone di promuovere e coordinare le ricerche e le altre attività scientifiche e applicative nel campo dell'Ingegneria delle Georisorse, delle Geotecnologie, dell'Ambiente, dell'Energia e dello Sviluppo Sostenibile tra Università, altri Enti di ricerca e Industrie e di favorire il loro accesso e la loro partecipazione alla gestione di laboratori nazionali e internazionali. Afferiscono al Consorzio l'Università della Sapienza, Roma, e le Università degli studi di Bologna, Trieste e Cagliari. Nell'ambito di questa annualità verranno affidate al CINIGEO attività su caratterizzazione di un'area con strutture geologiche attraverso indagini elettromagnetiche.	14.000
c.4	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) L'INGV opera in stretto contatto con il Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca (MIUR) e ha legami privilegiati con il Dipartimento della Protezione Civile e con le altre autorità preposte alla gestione delle emergenze, sia a scala nazionale che a scala locale. Coopera inoltre con i Ministeri dell'Ambiente, della Pubblica Istruzione, della Difesa e degli Affari Esteri nel quadro di progetti strategici nazionali e internazionali. L'INGV è particolarmente attento alla diffusione della cultura scientifica attraverso pubblicazioni per le scuole, mostre dedicate alla geofisica, ai rischi naturali e ambientali e pagine dedicate su Internet. Nell'ambito di questa annualità verranno affidate all'INGV attività su caratterizzazione di un'area con strutture geologiche attraverso la misura di sismicità di background dell'area.	28.000
c.4	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) L'Ente opera e sviluppa la propria missione nell'Area Europea della Ricerca (E.R.A.) ed in ambito internazionale con prioritario riferimento ai settori della ricerca di base ed applicata in: Oceanografia (fisica, chimica e biologica); Geofisica e Geologia marina; Geofisica sperimentale e di esplorazione. L'istituto utilizza le proprie competenze nel campo delle Scienze della Terra, del Mare e delle aree polari per contribuire all'aumento ed alla diffusione della conoscenza e alla risoluzione pratica di problematiche ambientali, economiche e sociali, in coerenza con i contenuti del Programma Nazionale della Ricerca (PNR) e gli obiettivi strategici fissati dall'Unione Europea, con particolare interesse per Horizon 2020. Opera per salvaguardare e valorizzare le risorse naturali e l'ambiente, per valutare e prevenire i rischi geologici, ambientali e climatici, per diffondere le conoscenze e la cultura scientifica, anche in collaborazione con analoghi Istituti europei ed internazionali, con industrie high tech e con imprese qualificate, con l'obiettivo è di favorire il trasferimento dei risultati delle ricerche dal mondo scientifico a quello produttivo e di contribuire così allo sviluppo tecnologico e socio-economico del Paese. Nell'ambito di questa annualità verranno affidate all'OGS attività su caratterizzazione di un'area con strutture geologiche attraverso indagini sismiche a riflessione.	78.000
TOTALE		300.000

PARTE B1: Attività SOTACARBO

Obiettivo	Contratti di consulenza	Costo previsto (€)
a.1	Prestazione di personale per sperimentazione	25.000
c.1	Golder Associates Srl per integrazione documentazione per richiesta permesso di ricerca	20.000
d.1	Contratto per consulenza per attività di divulgazione con le scuole	6.000
TOTALE		51.000

PARTE B2: Attività ENEA

Obiettivo	Contratti di Ricerca	Costo previsto (€)
a	<p>Università di Cagliari - Dipartimento di Scienze Chimiche (DSCG) Caratterizzazione composizionale del syngas proveniente dalla gassificazione di carbone e biomasse. Analisi e caratterizzazione del Tar e delle ceneri. <i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo vanta un'esperienza pluridecennale nel campo della Chimica Industriale e di Laboratorio. L'attività scientifica è indirizzata allo studio ed alla caratterizzazione di solidi e liquidi per applicazioni in diversi campi: catalisi, adsorbimento, magnetismo. Il gruppo ha competenze che vanno dalla analisi, alla caratterizzazione e alla sintesi di materiali fino al testing delle loro performance in applicazioni di potenziale interesse industriale. I campi di applicazione vanno dai processi di purificazione di syngas all'impiego di materie prime rinnovabili per l'ottenimento di combustibili e chemical commodities. La presenza del gruppo di ricerca sul territorio sardo, permette di ridurre sensibilmente i costi di intervento. La filiera corta assicura inoltre la qualità e attendibilità delle misure</p>	35.000
b	<p>Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia (DIE) Viene affidata al DIE del Politecnico di Milano un'attività di ricerca relativa alla sintesi di catalizzatori di tipo strutturato più idonei per la produzione di Synthetic Natural Gas da carbone ed individuazione delle condizioni ottimali che favoriscono le loro prestazioni. <i>Motivazioni della scelta:</i> Gruppo leader nel settore della sintesi di catalizzatori di tipo strutturato in forma di monolite. Dispone di strumentazione atta a sintetizzare, caratterizzare e testare catalizzatori monolitici in differenti condizioni operative riducendo le perdite di carico, migliorando lo smaltimento del calore evitando il maneggiamento di sostanze pulviolente potenzialmente nocive.</p>	35.000
b	<p>Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) Viene affidata al DICAM dell'Università di Bologna un'attività di ricerca relativa alla sintesi, caratterizzazione e prova di membrane per la separazione della CO₂ e la purificazione del Synthetic Natural Gas. <i>Motivazioni della scelta:</i> Gruppo leader nella sintesi e caratterizzazione di membrane per la separazione di gas, caratterizzate da area superficiale per unità di volume molto elevata, modesto ingombro della sezione per la rimozione della CO₂ e costi di esercizio limitati. Specialisti in materiali polimerici, perfluorinati e membrane al palladio.</p>	30.000
TOTALE		100.000

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

PARTE A - ENEA

Ob.	Cobeneficiario - Oggetto dell'accordo / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1 a.2	<p>Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'informazione e di Economia Caratterizzazione in laboratorio di sorbenti CSCM con tecniche XRD, BET, SEM-EDS Studio sperimentale e modellistico sull'utilizzo di membrane a trasporto ionico, per la produzione di O₂ durante il processo di gassificazione del carbone in situ. Il gruppo dell'Università de L'Aquila, ha collaborato allo studio e progettazione dei principali componenti dell'Infrastruttura di Ricerca Zecomix (gassificatore, carbonatore) e di un test-rig per la misura della permeabilità di membrane. Inoltre il gruppo dell'Università de L'Aquila ha collaborato all'interno del PAR allo sviluppo di sorbenti solidi per cattura di CO₂, vantando pertanto, competenze specifiche per la loro sintesi e caratterizzazione.</p>	45

Ob.	Cobeneficiario - Oggetto dell'accordo / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.3	<p>Università di Roma 'Sapienza', Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale - Studi sull'integrazione di un modulo CSP in IR-Z</p> <p>Il gruppo della Università 'Sapienza' di Roma (SUR), ha collaborato alla simulazione dell'avviamento dell'Infrastruttura di Ricerca ZECOMIX attraverso la definizione, l'implementazione e la verifica di modelli di simulazione a parametri concentrati. SUR è attiva nei settori dei 'Sistemi per l'Energia e l'Ambiente' con particolare riferimento alla conversione energetica delle fonti rinnovabili. In questo contesto giova ricordare che il gruppo di ricerca in questione ha un buon numero di studi e pubblicazioni nel settore dei sistemi energetici alimentati da fonte solare, in particolare sistemi solari a concentrazione, eventualmente integrati con forni a biomassa e/o serbatoi di accumulo per la gestione dei periodi di scarsa insolazione</p>	25
a.3	<p>Politecnico di Torino, Dipartimento Energia - Studio e sperimentazione sull'integrazione in IR-Z di un modulo elettrochimico per l'ulteriore concentrazione della CO₂.</p> <p>Caratterizzazione sistematica della Carbon Capture Cell per l'utilizzo della stessa come valorizzatore energetico ad alta efficienza del syngas in uscita dal carbonatore di ZECOMIX con contestuale separazione della CO₂ da un "terzo" flusso di esausti da combustione. La parte sperimentale del lavoro prevederà prove sperimentali su una cella a scala laboratorio alimentata con composizioni simulate del syngas e dell'esausto, per valutare le mappe di performance ed eventuali effetti di contaminanti nei due flussi. Questo lavoro verrà corredato da un'analisi numerica delle prestazioni dei sottosistemi gassificatore, carbonatore e cella elettrochimica integrati.</p> <p>Il Politecnico di Torino collabora strettamente con il mondo dell'impresa e con quasi 700 contratti di ricerca in collaborazione con industrie e istituzioni governative si annovera fra le università italiane più collegate in ambito Europeo. Il Dipartimento di Energia, in particolare, è coinvolto nella caratterizzazione sperimentale e nella simulazione avanzata di celle a combustibile ed elettrochimiche, a scala sia residenziale che industriale, che ha portato il Politecnico a coordinare 2 progetti consecutivi all'interno della piattaforma FCH JU del VII Programma Quadro della Comunità Europea (SOFCOM e DEMOSOFC).</p>	25
b.1	<p>Politecnico di Torino -Dipartimento Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT) - Conduzione di test di reazione in impianto pre-pilota per la reazione di idrogenazione catalitica del CO/CO₂. L'obiettivo è quello di trovare le condizioni operative e i catalizzatori più opportuni per arrivare alla formazione di composti non-metanici: metano e soprattutto dimetiletere (DME)</p> <p>Il DISAT ha una lunga tradizione sullo studio dei processi di utilizzo di CO₂ sia con processi chimici che fotochimici. Il DISAT si è recentemente dotato di un laboratorio certificato per le attività in alta pressione, è pertanto un partner ideale per studiare la sintesi di DME da miscele H₂/CO₂ che richiedono pressioni elevate.</p>	30
c.2	<p>Università di Roma TRE, Dipartimento di Ingegneria (DING) - Studi teorici a supporto del 'design' termo-fluidodinamico delle macchine operanti con S-CO₂.</p> <p>Il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi Roma TRE annovera tra le sue attività di ricerca il tema "turbomacchine" con applicazioni in diversi settori tecnico/scientifici. Gli ambiti applicativi includono le turbomacchine radiali a fluidi organici, gli impianti per la climatizzazione e sovralimentazione a recupero energetico per autoveicoli, i sistemi di raffreddamento per turbine a gas, lo sviluppo di rotori per turbine eoliche, apparati solari ad alta temperatura (concentratori, reattori, turbine a gas), le turbine a gas alimentate con gas di sintesi, con radiazione solare concentrata e ibride. Il Dipartimento ha notevole esperienza, maturata in progetti internazionali, sull'analisi e l'ottimizzazione tecnico-economica degli impianti IGCC-CCS, (inclusa la sezione di cattura e compressione della CO₂), sul disegno di compressori, espansori e sistemi di raffreddamento per turbine a gas heavy-duty alimentate con combustibile ricco di idrogeno.</p>	35
c.3 c.5	<p>Università di Roma TRE, Dipartimento di Ingegneria(DING) - Test reattivi sul bruciatore ROMULUS per lo studio di miscele metano/aria.</p> <p>Definizione ed applicazione di modifiche dell'apparato sperimentale ROMULUS (sistemi di alimentazione e di accensione, preriscaldamento della CO₂, sistema di iniezione) per test reattivi su miscele metano/aria in un flusso Exhausted Gas preriscaldato.</p> <p>Analisi dati (caotica, wavelet e POD) provenienti dall'impianto COMET HP previa preparazione degli strumenti sulla base di risultati di simulazioni numeriche dirette (DNS).</p> <p>Il DING ha collaborato con ENEA da lungo tempo ed in particolare nel corso del precedente PAR, ha realizzato il bruciatore ROMULUS ed eseguito in collaborazione con ENEA i test 'non reattivi' per l'analisi aeroacustica. Il Dipartimento ha maturato una lunga esperienza pluriennale, internazionalmente riconosciuta, nell'utilizzo delle tecniche 'wavelet' per l'analisi di segnali aleatori ottenuti in flussi turbolenti e nel settore dell'aeroacustica. Il gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Camussi vanta una bibliografia molto vasta e qualificata.</p>	40
TOTALE		200

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Progetti ENEA

Progetto ASCENT (FP7)

(Advanced Solids Cycles with Efficient Novel Technologies)

ASCENT fornirà al termine del progetto, la cui durata è di 4 anni, tre installazioni di prova ('proof-of concept') di altrettanti processi per la separazione ad alta temperatura di CO₂ con produzione efficiente di energia low carbon.

ENEA è coinvolto:

- nel coordinamento del progetto (16 Partners europei di cui 5 SME e 1 Large Company) ;
- nella sintesi del materiale catalizzatore multifunzionale (Ni/Ca/Ca₁₂Al₁₄O₃₃) per il reforming del metano con produzione di idrogeno, e la simultanea separazione della CO₂ ad alta temperatura;
- nella 'dissemination' dei risultati ottenuti.

Rispetto alle tematiche trattate nel PAR, ASCENT ha per obiettivo lo sviluppo di sorbenti CSCM dove l'agente catalizzante è a base di Nickel, mentre nel PAR vengono sviluppati sorbenti CSCM dove il catalizzatore viene sostituito con il Fe.

Il progetto è in corso di svolgimento.

Progetto con ANSALDO SVILUPPO ENERGIA

"Esecuzione di attività di ricerca in merito alla diagnostica precoce di fenomeni di instabilità termoacustica"

In questo progetto, che terminerà entro fine novembre 2015, l'ENEA ha potuto installare il proprio sistema di monitoraggio della combustione ODC su un impianto turbogas reale di ENIPOWER a Ravenna. ANSALDO ha gentilmente concesso di utilizzare la propria testa ottica, già certificata alla pressione di esercizio (20 bar) del combustore da monitorare.

Gli obiettivi del PAR sono relativi ad un ulteriore sviluppo del sistema ODC, anche sulla base delle problematiche emerse nel monitoraggio di un impianto reale. Inoltre, nel PAR i test delle nuove soluzioni saranno effettuati in scala da laboratorio a pressione poco superiore a quella atmosferica.

Progetti SOTACARBO

Progetto ECCSEL

European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure.

Il progetto ECCSEL, finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del programma Horizon 2020 – INFRADEV-3, prevede la creazione di una rete europea di laboratori di ricerca sulle tecnologie CCS.

La partnership è composta da: NTNU (Norvegia, coordinatore), British Geological Survey (Regno Unito), BRGM (Francia), CERTH (Grecia), CIUDEN (Spagna), ETH Zurich (Svizzera), GIG – Central Mining Institute (Polonia), OGS (Italia), Polish Geological Institute (Polonia), Sintef (Norvegia), Sotacarbo (Italia), TNO (Olanda).

Scopo del progetto è mettere in comune le infrastrutture di ricerca dei partner (nel caso di Sotacarbo la piattaforma pilota) tramite il sistema dei "Transnational Accesses", che consentono ai partner o a enti esterni di usufruire delle infrastrutture stesse con fondi europei. Sotacarbo coordina inoltre l'organizzazione dei corsi di formazione per il training del personale delle aziende potenzialmente interessate ai "Transnational Accesses".

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

PARTE A - ENEA

Risultati PAR 2014	Note	Risultati attesi PAR 2015
<p>Cattura della CO₂ con sorbenti solidi tramite "calcium looping" e "mineral carbonation"</p> <p>L'infrastruttura ZECOMIX è stata predisposta per integrare il processo di gassificazione del carbone con la de carbonizzazione del syngas (principalmente composto da CO e H₂) nel carbonatore, attraverso l'uso di sorbenti solidi. Sono state condotte due campagne di misura sperimentali: (i) la prima è stata condotta per testare in condizioni batch la reazione SE-WGS (<i>Sorption Enhanced Water Gas Shift</i>) cioè la reazione tra CO e H₂O (eq. 1) in presenza di materiale solido per la separazione simultanea della CO₂ (eq.2) (i) la seconda, di carattere più impiantistico, è stata focalizzata su eventuali criticità durante l'accoppiamento tra l'isola di gassificazione ed il carbonatore.</p> <p>Sono stati analizzati sorbenti solidi a base di CaO per la cattura della CO₂ ad alta temperatura; in particolare è stato testato, un pretrattamento termico per stabilizzare la capacità sorbente della dolomite, studiando l'effetto che ha la composizione dell'atmosfera durante la rigenerazione del materiale solido sull'assorbimento della CO₂. Tale pretrattamento migliora sia la stabilità chimica del materiale che la prestazione del materiale sorbente fino al 24% registrato per il 150° ciclo di cattura CO₂ - rigenerazione materiale.</p> <p>Sono stati condotti, studi sperimentali di permeazione dell'ossigeno su una membrana tubolare di tipo BSCF (Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-δ}) in scala laboratorio nel range di temperatura 850 -1000 °C, pressione atmosferica ed utilizzando aria come fonte di ossigeno, dimostrando flussi di permeazione interessanti (5 μmol/cm²/s).</p> <p>Sono state eseguite le prime esperienze, sulla facility VALCHIRIA, di inertizzazione di scorie provenienti dall'industria dell'acciaio.</p>	<p>In questa annualità si prevede di condurre un'attività di studio e sperimentazione rivolta allo sviluppo ulteriore della tecnologia Calcium Looping, cercando soluzioni che rendano ancora più sostenibile il processo.</p> <p>Lo studio sui sorbenti solidi si rivolge verso nuovi materiali con migliore capacità sorbente, più economici e rigenerabili; materiali composti con funzionalità combinate, ossia di sorbente e catalizzatore, e materiali low-cost per il supporto del sorbente.</p> <p>Continua la sperimentazione sulle membrane perovskite, orientando lo studio verso una loro applicazione nel processo di separazione dell'O₂ dall'aria per migliorare l'efficienza del processo di cattura della CO₂ da parte dei sorbenti solidi e abbattere i costi di rigenerazione degli stessi.</p> <p>Prosegue lo studio di tecnologie per la valorizzazione delle scorie provenienti dall'industria, in particolare da cementifici e acciaierie).</p> <p>L'obiettivo identificato nel PAR2014 confluisce negli obb. a.1, a.2, a.3 del PAR2015</p>	<p>Sintesi e caratterizzazione chimica, strutturale e morfologica di un materiale composito formato da calcio/ossido di calcio e nano strutture a base di carbonio (grafene funzionalizzato) per migliorare l'efficienza di separazione della CO₂ ad alta temperatura (>550°C)</p> <p>Sintesi e caratterizzazione di Combined Sorbent-Catalytic Material (CSCM) per il reforming del metano e/o shift del CO e la simultanea separazione della CO₂ per la produzione di H₂.</p> <p>Applicazione delle membrane perovskitiche nel processo di separazione dell'O₂ dall'aria e il suo utilizzo come comburente in processi di combustione del carbone o del metano per migliorare l'efficienza di utilizzo dei sorbenti solidi nella cattura della CO₂ abbattendone i costi di rigenerazione. Alla sperimentazione saranno affiancati studi modellistici della reazione di combustione di metano o carbone con l'ossigeno permeato, nella regione vicino la superficie tubolare della membrana ceramica.</p> <p>Primo avviamento della sezione di potenza (μGT Turbec T100) di ZECOMIX e attività impiantistiche per rendere operativa la macchina al fine di poter sperimentare nelle successive annualità il ciclo integrato: gassificazione, decarbonizzazione e produzione di energia elettrica.</p> <p>Sperimentazione sull'infrastruttura VALCHIRIA sul processo di 'mineral carbonation' di residui provenienti da acciaierie.</p>
<p>Ampliamento del range operativo di sistemi turbogas sottoposti a variabilità del carico e della composizione del combustibile</p> <p>Nel corso del PAR2014 è stato progettato un bruciatore innovativo per turbogas caratterizzato da alta efficienza, alta stabilità e ampia flessibilità di carico e combustibile, basato sulla tecnologia Trapped Vortex/MILD. Il risultato dell'attività ha portato ad un brevetto ed ha stimolato la costituzione di una nuova società (Burning S.r.l) per lo sviluppo industriale del progetto.</p> <p>Nello stesso tempo sono stati eseguiti studi numerici, su apparati per i quali erano disponibili dati sperimentali, sulle instabilità termoacustiche nei processi di combustione relativi a sistemi turbogas sottoposti a variabilità di carico. Tali studi hanno lo scopo di identificare le condizioni operative nelle quali tali instabilità si instaurano e, nello stesso tempo, e validare il codice CFD HearT di proprietà ENEA.</p>	<p>L'attività di studio di nuovi combustori con tecnologia TV/MILD è conclusa. Mentre lo studio numerico dei processi di combustione in sistemi turbogas si riversa nell'ob. c.3, indirizzata verso impianti turbogas in configurazione EGR (Exhaust Gas Recirculation).</p> <p>Per il monitoraggio dei fenomeni di instabilità termo-acustica, sulla base delle esperienze fatte su impianti turbogas reali, si intende sviluppare il sensore ottico ODC (brevetto ENEA), per aumentare le sue capacità di identificazione in tempo reale dei fenomeni precursori di instabilità. Tale attività è inserita nell'ob. c.5</p> <p>Lo studio numerico delle instabilità termoacustiche proseguono, ma confluiscano nell'ob. c.5.</p>	<p>Sarà ulteriormente sviluppato il sistema ODC, per aumentare le sue capacità di identificazione in tempo reale dei fenomeni precursori di instabilità e per portarlo a lavorare in condizioni di rilevanza industriale. Lavorare sull'identificazione dei precursori implica sviluppare indici di instabilità basati su analisi statistica e non (caotica, wavelet, POD) che dovranno quindi essere effettuate.</p> <p>L'obiettivo è arrivare a correlare le fluttuazioni del rilascio del calore con quelle di temperatura. Per aumentare l'affidabilità del sistema ODC sarà risolto il problema dell'attenuazione controllata dell'energia radiante proveniente dal combustore. A tale scopo sarà progettato un filtro variabile, dotato di un sistema di motorizzazione controllato dal software dell'ODC. Al tempo stesso ENEA svolgerà uno studio di fattibilità per la progettazione di un filtro passa-banda operante nel range 250-1000 nanometri e con banda passante nel range 250-550 nanometri per focalizzare l'attenzione sulla dinamica dei principali radicali.</p>
<p>Cicli turbogas a CO₂</p> <p>Nel precedente triennio è iniziata l'attività di studio di cicli a CO₂. Si è iniziata l'attività di sviluppo di un dimostratore (AGATUR) per cicli turbogas EGR (<i>Exhaust Gas Recirculation</i>). L'impianto è dotato di una turbina micro-turbina a gas (Turbec T100 da 100kW) e di un vessel di circa 40 m³, il quale, connesso alla micro-turbina dal alto aspirazione, dovrà fungere da plenum per la creazione della miscela sintetica aria-CO₂. L'obiettivo finale è quello di ottenere il ricircolo del gas di scarico e la chiusura del ciclo turbogas</p> <p>Nel corso del PAR2014 è stato realizzato, a supporto dello studio sui cicli EGR, un bruciatore di laboratorio (ROMULUS) di tipo 'slot burner' per lo studio sperimentale del processo di mescolamento di gas reagenti con prodotti di combustione caldi (CO₂). Il bruciatore è stato caratterizzato con test sperimentali non reattivi.</p> <p>Sono iniziati gli studi attraverso, simulazione LES, relativamente a processi di ossi-combustione in condizione supercritiche, per investigare gli effetti dell'alta pressione e della forte diluizione con CO₂ sui regimi di combustione. L'obiettivo, oltre a sviluppare uno strumento numerico Large Eddy per gas reali (ampliamento applicativo del codice HearT), è quello di giungere alla definizione di una strategia di combustione in condizioni supercritiche (300 bar) ed alla progettazione di una piastra di iniezione per l'ossi-combustore di una macchina turbogas a CO₂ supercritica. Nella precedente annualità è stata realizzata una prima versione del codice HearT che deve essere ottimizzata.</p>	<p>L'attività prosegue, completando l'assetto sperimentale dell'impianto AGATUR, quale dimostratore di un ciclo turbogas EGR.</p> <p>Con questa annualità si inizia uno studio sulle tecnologie di compressione e trasporto della CO₂ in condizioni supercritiche, nata dalle attività sui cicli a S-CO₂ iniziata nel precedente PAR.</p> <p>Si prosegue l'attività sperimentale sul bruciatore 'ROMULUS'.</p> <p>Si prosegue anche l'attività di sviluppo del codice HearT per l'applicazione a processi di combustione in condizioni supercritiche.</p> <p>Tali attività confluiscano negli obb. c.1, c.2, c.3, c.4</p>	<p>Realizzazione del primo assetto sperimentale dell'impianto AGATUR (EGR-STEP1) con il quale la miscela gassosa, simulante il gas caldo di ricircolo a diverse portate, sarà prodotta mediante iniezione di portate controllate di aria e CO₂. Definizione e implementazione della strategia di controllo per l'esercizio dell'impianto.</p> <p>Saranno eseguiti studi teorici a supporto del 'design' termo-fluidodinamico delle macchine operanti a S-CO₂ e studi di modellazione numerica del ciclo di potenza avendo come applicazioni possibili:</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'integrazione di un sistema di compressione con un'isola di potenza di un impianto di conversione a S-CO₂ equipaggiato con tecnologie CCS) • un sistema di compressione stand-alone in grado di operare in coda a impianti di conversione 'capture ready' <p>Saranno condotti test sperimentali, con diagnostica avanzata sul bruciatore ROMULUS, in condizioni reattive con miscela metano/aria. Si procederà alle modifiche necessarie sul bruciatore per poi, nell'anno seguente, eseguire i test, in condizioni operative simili a quelle operate sull'impianto AGATUR, aggiungendo un flusso preriscaldato di EG.</p>

		Saranno ottimizzate le routines già implementate in HearT nella precedente annualità relative al calcolo delle proprietà dei gas reali. Lo sviluppo del codice comprenderà anche l'implementazione di schemi numerici opportuni e la validazione dei modelli introdotti.
Utilizzo della CO2 per produzione di combustibili Nel corso del PAR2014 si è completata l'attività legata al processo di metanazione, partendo da CO ₂ e H ₂ , sull'impianto FENICE che consente di trattare fino a 200 NL/h di CO ₂ e di ottenere una equivalente quantità di metano. I risultati ottenuti mostrano che l'impianto dimostrativo ha le stesse ottime performance di quello da laboratorio con rese di conversione superiori al 90%. Inoltre, nello stesso impianto, utilizzando opportuni catalizzatori, si può produrre anche metanolo e dimetil-etero (DME), combustibili alternativi per autoveicoli, dal basso impatto ambientale. Per questo scopo sono stati eseguiti i primi studi su un piccolo sistema in scala laboratorio. In particolare si è iniziato lo studio della fase di disidratazione del metanolo, attività propedeutica alla produzione diretta (one step process) di dimetil-etero da miscele CO ₂ /H ₂ .	L'attività prosegue nell'annualità 2015 e confluisce nell'ob. b.1	Definizione della miglior soluzione tecnologica per la produzione, da biossido di carbonio e idrogeno, di dimetil-etero, combustibile simile al diesel e destinato all'autotrazione,

PARTE B1 – Polo Tecnologico del Sulcis - SOTACARBO

Risultati PAR 2014	Note	Risultati attesi PAR 2015
a. Cattura della CO2 in Post e Pre-combustione di combustibili gassosi		
a.1 - Cattura della CO2 in pre-combustione e postcombustione e trattamento del syngas		
Come nei precedenti PAR, i test sperimentali sono stati effettuati al fine di approfondire le conoscenze del processo e ottimizzare le prestazioni dell'impianto. Particolare attenzione è stata rivolta alla misura della densità dell'ammina tramite i densimetri acquisiti nel PAR 2013 ed alla correlazione tra densità e saturazione dell'ammina.	Proseguono precedenti PAR	Continuerà la fase di test sulle ammine sia in condizione di cattura in precombustione che in condizioni di cattura in postcombustione.
a.2 - Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione con biomasse Produzione di combustibili gassosi, gassificazione del carbone e cogassificazione con biomasse		
Come nei precedenti PAR, i test sperimentali sono stati effettuati al fine di approfondire le conoscenze del processo e ottimizzare le prestazioni dell'impianto. Particolare attenzione è stata rivolta alla misura della densità dell'ammina tramite i densimetri acquisiti nel PAR 2013 ed alla correlazione tra densità e saturazione dell'ammina.	Proseguono precedenti PAR	Test di gassificazione con differenti tipologie di carbone miscele con biomasse. Analisi ed elaborazione dei dati sperimentali al fine di valutare le prestazioni del processo di gassificazione in prove di lunga durata. Progettazione della sezione di trattamento syngas e generazione energia elettrica.
b. Tecnologie per l'ottimizzazione dei processi di ossi-combustione		
b.1 – Preparazione ed alimentazione del coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione		
Sono state individuate le tecnologie per la preparazione del coal slurry	Proseguono precedenti PAR	Verranno testate alcune tecnologie necessarie alla preparazione delle miscele coal slurry e verranno definiti i parametri operativi ottimali.
b.2 - Definizione e trattamento degli effluenti tipici del processo e realizzazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione		
E' stato progettato e realizzato un impianto di trattamento dei fumi derivanti dall'ossicombustione per il recupero dell'acido solforico presente.	Proseguono precedenti PAR	Verranno effettuate delle campagne sperimentali per studiare ed ottimizzare il processo.
c. Storage della CO2: Confinamento geologico e monitoraggio		
c.1 – Definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e integrazione della documentazione in merito alle procedure		
E' stata presentata la domanda di autorizzazione alla caratterizzazione dell'area individuata.	Proseguono precedenti PAR	Si attende il rilascio dell'autorizzazione e verranno effettuate delle eventuali integrazioni richieste dalla Regione Autonoma della Sardegna
c.2 - Rilievo geostrutturale in galleria		
E' stata effettuata una prima indagine geostrutturale in galleria della zona al di sotto del produttivo	Proseguono precedenti PAR	Continuerà l'indagine geostrutturale di altre formazioni geologiche.
c.3 - Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis		
Sono continuate le indagini geochimiche con un numero elevato di campioni nell'area individuata per la realizzazione del laboratorio in superficie	Proseguono precedenti PAR	Continueranno le indagini con ulteriori campioni per una migliore determinazione della presenza della faglia non affiorante presente nella zona individuata
C.4 - Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis		
E' stata completata l'installazione della rete per lo studio della sismicità naturale presente nell'area di ricerca.	Proseguono precedenti PAR	E' stata individuata un'area dove sono presenti strutture geologiche (faglie) che saranno oggetto di test di sperimentazione e pertanto in tale zona verranno realizzate attività di ricerca per meglio caratterizzare il sito di interesse.
d. Comunicazione e diffusione dei risultati		
Sono state effettuate attività di divulgazione nell'ambito degli argomenti di ricerca. Si è tenuta la terza edizione della Sulcis CCS Summer School.	Proseguono precedenti PAR	Continueranno le attività di divulgazione e verrà organizzata la quarta edizione della Sulcis CCS Summer School

PARTE B2 - Polo Tecnologico del Sulcis - ENEA

Risultati PAR 2014	Note	Risultati attesi PAR 2015
a. Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione e produzione di combustibili gassosi		
Test e sperimentazioni effettuati al fine di approfondire le conoscenze del processo e ottimizzare le prestazioni dell'impianto. Particolare attenzione è stata rivolta alla misura della densità dell'ammina tramite i densimetri acquisiti nel PAR 2013 ed alla correlazione tra densità e saturazione dell'ammina. Modifiche e Sperimentazione di produzione di gas di sintesi sugli impianti c/o Sotacarbo.	<i>Proseguo delle attività della Taskforce dedicata all'avviamento e alla gestione degli impianti istituita nella passata annualità con la partecipazione di personale ENEA e Sotacarbo.</i>	Sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di separazione della CO ₂ da syngas e fumi con solventi liquidi. Acquisizione di nuova componentistica e esecuzione di interventi migliorativi sull'impianto GESSYCA. A seguire verranno su di questo testate differenti tipologie di combustibili e loro miscele, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test.
b. Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂		
Test di produzione di SNG in scala da laboratorio	<i>Proseguizione precedenti PAR</i>	Acquisizione di componenti e sensoristica relativi alla sezione per la produzione di SNG da carbone dell'impianto prova GESSYCA. A valle verranno effettuati test sperimentali del processo di produzione di SNG a partire da miscele di idrogeno, monossido di carbonio e CO ₂ su catalizzatori di natura commerciale.
c. Sviluppo di diagnostica avanzata per applicazioni in ossi-combustione e monitoraggio CO₂		
Studi e analisi sulla misura della concentrazione dell'ossigeno con sistemi a camera da vuoto e plasma innescato, per analisi di fattibilità di applicazione della tecnologia	<i>Proseguizione precedenti PAR (task c.1)</i> <i>E' stata avviata una nuova attività riguardante lo sviluppo di prototipi di filtri ottici per spettrometri ultraleggeri portatili finalizzati al rilevamento della CO₂ per il monitoraggio superficiale di ampie aree insistenti sui siti di stoccaggio geologico della CO₂ (task c.2)</i>	Caratterizzazione degli spettri di emissione per determinare l'andamento delle intensità emesse dalle righe associate all'ossigeno in rapporto alle righe spettrali delle altre specie gassose presenti. I risultati sperimentali verranno utilizzati per la costruzione delle curve di taratura e per la definizione di un algoritmo che, mediante un processo di "reverse engineering", riesca a determinare la concentrazione assoluta o relativa dell'O ₂ nella miscela preparata con gli stessi gas ma con concentrazioni incognite. Si avvierà la realizzazione di un sistema per test da laboratorio. Design preliminare del sistema (camera + spettrometro), design del filtro ottico per l'acquisizione dei segnali in almeno una delle bande di assorbimento caratteristiche per il CO ₂ ; realizzazione dei primi prototipi dei filtri variabili nel range spettrale di interesse.
d. Comunicazione e diffusione dei risultati		
Sono state effettuate attività di divulgazione nell'ambito degli argomenti di ricerca. Si è tenuta la terza edizione della Sulcis CCS Summer School.	<i>Proseguizione precedenti PAR</i>	Continueranno le attività di divulgazione e verrà organizzata la quarta edizione della Sulcis CCS Summer School

AREA	GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA CON BASSE EMISSIONI DI CARBONIO
Tema di Ricerca	ENERGIA DA FONTE NUCLEARE. FISSIONE NUCLEARE
Progetto B.3.1	SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE E COLLABORAZIONE AI PROGRAMMI INTERNAZIONALI PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Per il PT 2015-2017, il lavoro prevede di rendere disponibili, in sinergia con il precedente PT 2012-2014, una serie di prodotti così costituiti:

- a) Analisi e verifiche di sicurezza (safety & security) e sostenibilità dei sistemi nucleari e relativi cicli del combustibile;
- b) Attrezzature, prove sperimentali, modelli, programmi e strumenti di calcolo con modelli validati per le verifiche di sicurezza (safety e security) e la sostenibilità del nucleare da fissione.
- c) Progettazioni e qualifiche di componenti e sistemi per impianti nucleari di quarta generazione;
- d) Sviluppo di materiali per sistemi nucleari innovativi.

Tutto ciò al fine di contribuire ulteriormente allo sviluppo e al mantenimento delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per procedere alla analisi di sicurezza degli impianti nucleari attuali, con particolare attenzione alle possibili ricadute per l'Italia, e per verificare con competenza e indipendenza di giudizio, il livello qualitativo e lo sviluppo degli impianti nucleari di nuova generazione.

In ambito Generation-IV le infrastrutture di ricerca realizzate, concordate in sinergia con ANSALDO NUCLEARE e altre industrie del settore energetico, permettono alle industrie nazionali di essere competitive sia a livello europeo sia internazionale per accedere a commesse concernenti la realizzazione di sistemi nucleari di nuova generazione (MYRRHA, ASTRID, ALFRED, SVBR-100, HYPERION, BREST-300, CLEAR-I), sia di larga scala sia di tipo SMR. Tali attività avranno ricadute pressoché immediate sul tessuto industriale nazionale, considerando che i primi cantieri dovranno essere avviati nei prossimi 5-10 anni (es. SVBR-100 e CLEAR-I entro il 2020).

Tutte le attività verranno portate avanti nell'ambito di grandi iniziative internazionali/europee o di programmi bilaterali svolti in collaborazione con istituzioni di ricerca di Paesi coi quali l'Italia ha siglato accordi nel campo dell'energia nucleare.

Le competenze e le infrastrutture che saranno impiegate o sviluppate nell'ambito di questo tema costituiranno un insieme di capacità multidisciplinari che, in collaborazione e sinergia con altri soggetti del settore, potranno essere utilizzate per la riqualificazione ed il potenziamento del sistema scientifico ed industriale italiano in materia nucleare.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Il programma triennale 2015-2017, modulato sulla Strategia Energetica Nazionale (SEN), prevede che le attività di R&S siano incentrate su due macro aree:

- mantenimento e sviluppo di un sistema di competenze scientifiche in grado di assicurare una capacità indipendente di giudizio nel settore della sicurezza (safety & security) e della sostenibilità nel campo delle applicazioni della fissione nucleare;
- ricerca e sviluppo tecnologico relative a reattore innovativi di IV generazione.

E' unanimemente accettato, a livello mondiale, che il problema della sicurezza nucleare coinvolge tutti i Paesi, a prescindere dall'esistenza di centrali elettronucleari in esercizio nel loro territorio. In quest'ultimo caso la necessità di procedere a verifiche indipendenti di sicurezza e sostenibilità si focalizza sulla presenza di centrali nucleari entro il limite di 200 km dai confini nazionali. Si ricorda che la Commissione Europea ha

stabilito che ciascuna nazione debba effettuare una valutazione indipendente dello stato di sicurezza dei reattori PWR e BWR presenti nelle centrali nucleari installate nel territorio e anche di quelle frontaliere.

E' perciò assolutamente confermata la necessità di conservare e rafforzare le competenze e le infrastrutture tecniche e scientifiche di ricerca nel settore nucleare, sviluppando in particolare una capacità autonoma di valutazione delle diverse opzioni tecnologiche dal punto di vista della sicurezza e della sostenibilità.

Rimane chiaro che, a seguito del referendum abrogativo riguardante la costruzione e l'esercizio di nuove centrali elettronucleari, si è determinata la necessità di sospendere le attività di sviluppo tecnologico dei reattori nucleari della tipologia afferente alle generazioni GEN-II e GEN-III. Questo però non solleva l'Italia, in quanto Paese membro della UE, dal compito di mantenere un proprio nucleo di competenze e di procedere a studi e valutazioni di sicurezza degli impianti esistenti e futuri. Sulla base di tali studi, che permettono di individuare i principali punti critici dei vari impianti e le connesse vulnerabilità, si acquisiscono e/o accrescono le competenze e le capacità di procedere a simulazioni e valutazioni d'impatto sul territorio nazionale.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate e al fine di destinare in modo coordinato e non dispersivo gli investimenti che sono resi disponibili dal presente piano, tenendo conto delle attività già avviate per gli studi di sicurezza nelle precedenti annualità dell'AdP, è stato deciso di confermare nel Piano Annuale di Realizzazione 2015, in continuità con il PT 2012-2014.

E' evidente comunque, che in coerenza alla Strategia Energetica Nazionale (SEN), i temi di ricerca tecnologica del presente piano riguarderanno esclusivamente i reattori nucleari di IV generazione in quanto ad elevata sicurezza ed affidabilità e con massimo utilizzo del potenziale energetico del combustibile e controllata gestione dei rifiuti radioattivi.

In particolare le attività riguarderanno lo sviluppo e implementazione dei sistemi nucleari veloci refrigerati a piombo, Lead cooled Fast Reactor (LFR) e Small Modular Reactor (SMR), su cui l'Italia detiene una posizione di leadership progettuale e tecnologica in Europa, attività che sono inquadrate nelle iniziative internazionali (GIF) ed europee (SNETP, ESNII, EERA) alle quali il nostro Paese ha aderito.

Tutte le attività implementate vengono pianificate e concordate in collaborazione con ANSALDO NUCLEARE e con le industrie del settore.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate e al fine di destinare in modo coordinato e non dispersivo gli investimenti che sono resi disponibili dal presente piano, tenendo conto delle attività tecniche già realizzate in ambito Gen-IV, è stato deciso di reindirizzare il Piano Annuale di Realizzazione 2015, in continuità con il precedente piano triennale, su due linee progettuali:

- **Linea Progettuale 1: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare**
- **Linea Progettuale 2: Collaborazione internazionale per il nucleare di IV generazione**

Il problema della sicurezza nucleare coinvolge tutti i Paesi, a prescindere dall'esistenza nel proprio territorio di centrali elettronucleari in esercizio. Facendo riferimento alla normativa e alla legislazione italiana, che in tema di strategia energetica (2013) fa esplicito riferimento a SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform) ed ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative), e nel rispetto delle indicazioni fornite dalla Commissione Europea, che ha stabilito che ciascuna nazione si attrezzi per essere in grado di operare valutazioni indipendenti dello stato di sicurezza di queste centrali, risulta evidente quanto sopra evidenziato, vale a dire, la necessità di conservare e rafforzare le competenze e le infrastrutture tecniche e scientifiche di ricerca nel settore della sicurezza nucleare del nostro paese.

La partecipazione, consentita dall'Accordo di Programma, alle iniziative e piattaforme Europee come SNETP ed ESNII per la definizione di una strategia europea sulla produzione economica, sicura e sostenibile dell'energia nucleare, ha permesso all'ENEA di essere presente in diversi progetti europei del VII Framework Program EURATOM, indirizzati allo sviluppo/validazione di strumenti e metodi innovativi per l'analisi della sicurezza negli impianti nucleari, e di essere attrezzata per partecipare alle prossime Call inserite nel programma H2020 di Euratom. Le attività condotte da ricercatori ENEA nei progetti del 7° Framework Programme, tra cui si ricordano SARNET2, ASAMPESA_E, JASMIN, CESAM e NURESAFE, sono fortemente sinergiche con quelle svolte in ambito LP1 del PT 2012-2014 per mantenere e sviluppare le competenze nel campo della sicurezza nucleare. Queste attività fanno riferimento ad esperienze acquisite

nell'ambito di accordi internazionali di collaborazione con vari enti e università e ad accordi bilaterali, in particolare stipulati con le organizzazioni francesi CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ed IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), ma anche con la US-NRC (United States Nuclear Regulatory Commission), sulla base di un accordo a livello nazionale gestito da ISPRA. La partecipazione alla Call H2020, già in fase di attenta pianificazione, sarà favorita e positivamente accolta dai partner europei, grazie alle riconosciute capacità dei ricercatori ENEA coinvolti.

Con riferimento allo sviluppo dei reattori di IV generazione e dei sistemi SMR, con particolare riguardo a quelli a spettro neutronico veloce capaci di sostenere la chiusura del ciclo del combustibile per la minimizzazione dei rifiuti radioattivi e l'utilizzo ottimale delle risorse naturali, le attività sono inquadrare nella European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII) dello Strategic Energy Technology-Plan (SET-Plan), di cui anche l'ENEA è membro.

In questo contesto, sia ENEA sia il sistema industriale italiano (es. ANSALDO NUCLEARE) e il sistema universitario (CIRTEN), sono focalizzati sullo sviluppo concettuale, sulla progettazione di dettaglio, e sulla ricerca tecnologica, del DEMO-LFR ALFRED "Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator".

Inoltre ENEA, supportata da CIRTEN, ANSALDO NUCLEARE e SIET svolge attività di ricerca e sviluppo sui sistemi SMR anche ad acqua, come riportato nella SEN, e in sinergia ai maggiori progetti internazionali.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Nel PT 2012-2014 si è provveduto allo sviluppo di competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e la implementazione di collaborazioni internazionali per il nucleare di IV generazione.

Nel contesto dello sviluppo di competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare si è quindi provveduto a mettere a punto metodi e modelli fisico-matematici per la stima e la caratterizzazione dei rilasci e della dispersione di radionuclidi a seguito di sequenze incidentali severe, sviluppare e validare piattaforme di calcolo avanzate per l'analisi neutronica, termo-idraulica e incidentale, procedere alla riduzione delle incertezze associate ai codici di calcolo, sviluppare e qualificare librerie per schermaggio e dosimetria. Si è proseguito il lavoro di sviluppo di una metodologia per valutazioni di sicurezza in situazioni incidentali o pre-emergenza, realizzando studi probabilistici (PSA) e deterministici (DSA) per la stima del rischio da eventi iniziatori esterni (tipo sisma seguito da tsunami), le verifiche di sicurezza e l'analisi di sequenze incidentali. Nell'ambito della qualifica e caratterizzazione sperimentale di componenti critici e strumentazione prototipica, presso le facility sperimentali della SIET si sono realizzate campagne sperimentali per la qualifica di strumentazione innovativa, e per la validazione di modellistica e codicistica. Si è anche proceduto alla preparazione di prove per testare le performance dei tubi a baionetta nel caso dell'acqua.

Relativamente alla implementazione di collaborazioni internazionali per il nucleare di IV generazione, il progetto si è incentrato sulla filiera dei reattori veloci refrigerati a piombo - Lead Cooled Fast Reactor (LFR) – e sui sistemi Small Modular Reactor (SMR) veloci che riscuotono particolare interesse in Europa e da parte dell'industria nazionale.

Le principali attività di ricerca e sviluppo hanno riguardato lo sviluppo e validazione di codici di calcolo per l'analisi termo-fluidodinamica la progettazione di dettaglio del nocciolo, la progettazione del sistema primario e dei sistemi di rimozione del calore (SG, DHR, RVACS), lo sviluppo di strumentazione e sistemi di controllo a supporto del progetto.

Si è inoltre provveduto ad avviare, e in parte completare, la caratterizzazione di acciai e rivestimenti strutturali in condizioni di irraggiamento e corrosione da piombo, di particolare rilevanza per lo sviluppo della tecnologia degli LFR.

Si è implementato ed esercito un laboratorio per la chimica del refrigerante, avviando studi e analisi sui fenomeni base del controllo dell'ossigeno disciolto in metallo liquido.

Infine si sono implementate infrastrutture di ricerca di enorme rilevanza (HELENA), e aggiornate le infrastrutture esistenti (CIRCE, NACIE, LECOR, LIFUS5), con lo scopo sia di caratterizzare lo scambio termico

nel nocciolo, sia di caratterizzare sperimentalmente i sistemi di trasporto termico (DHR, SG).

Nell'ambito del progetto ENEA si è quindi dotata delle necessarie infrastrutture, e delle competenze scientifiche e tecnologiche richieste per affrontare in piena autonomia lo sviluppo tecnologico di un sistema nucleare veloce refrigerato a piombo che sia di riferimento internazionale per la filiera LFR-Gen. IV

Si è inoltre inserito nel contesto Gen-IV LFR e SMR il reattore veloce TAPIRO, quale strumento per il supporto alla progettazione neutronica di un sistema LFR o SMR a piombo.

Obiettivo finale dell'attività

Coerentemente agli obiettivi europei espressi dal *SET-PLAN* e dal programma di ricerca Europeo *HORIZON 2020*, e alla *Strategia Energetica Nazionale*, vengono proposte le seguenti due linee di attività.

Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare.

L'utilizzo dell'energia nucleare per la promozione di una *low-carbon economy* promossa in ambito *SET-PLAN*, prevede che ogni stato membro preservi e sviluppi competenze nel settore della sicurezza nucleare, attività comunque imprescindibili per garantire la corretta gestione delle residue attività nucleari in Italia.

Il nostro Paese necessita anche, in un quadro di collaborazioni europee e internazionali, di sviluppare e mantenere una capacità di valutazione relativamente alle nuove opzioni tecnologiche nel campo dei reattori nucleari di IV generazione.

A questo scopo si dovranno effettuare analisi di sicurezza mediante l'uso di codici di calcolo avanzati, realizzare prove per qualificazione di componenti e verifiche di sistema, presso strutture nazionali quali quelle disponibili presso i centri di ricerca ENEA del Brasimone e di Casaccia e la partecipata SIET di Piacenza.

La collaborazione e l'integrazione internazionale sono condizioni imprescindibili sia per l'acquisizione degli strumenti, delle metodologie e delle tecnologie più avanzate necessari alla realizzazione di questi obiettivi, sia per la conoscenza e corretta applicazione degli standard per la valutazione della sicurezza come indicato dalle autorità preposte. A questo scopo continuerà la partecipazione alle diverse iniziative Europee (SNETP, EERA, ESNII, EURATOM), ai principali comitati e gruppi di lavoro internazionali (IAEA, OECD-NEA, GIF), e alle attività svolte nel quadro di accordi bilaterali con la Francia (CEA e IRSN).

Collaborazione ai programmi internazionale per il nucleare di IV generazione

Le attività di R&S relative ai sistemi nucleari di quarta generazione saranno focalizzate esclusivamente sulla filiera dei reattori veloci refrigerati a piombo - Lead Cooled Fast Reactor (LFR) - che riscuotono particolare interesse in Europa e da parte dell'industria nazionale.

Nell'ambito del *SET-PLAN*, all'interno del quale si sviluppa l'Iniziativa Industriale Europea per il Nucleare Sostenibile (ESNII), e a cui partecipano ANSALDO NUCLEARE, ENEA e CIRTEN, sono stati promossi e vengono sostenuti due progetti afferenti alla tecnologia dei metalli liquidi pesanti: il reattore di ricerca sottocritico e dimostratore della filiera dei sistemi ADS MYRRHA, e il dimostratore industriale dell' LFR, ALFRED.

In particolare, l'iniziativa progettuale ALFRED (Advanced Lead cooled Fast Reactor European Demonstrator) è coordinata da ANSALDO NUCLEARE e viene sviluppata prevalentemente da ENEA supportata dal CIRTEN e dal tessuto industriale italiano.

Recentemente, a supporto del progetto ALFRED, è stato istituito il Consorzio Internazionale FALCON (*Fostering ALFRED CONstruction*), a cui partecipano ANSALDO NUCLEARE, ENEA, ICN (Romania) e CV-REZ (Repubblica Ceca).

Il Consorzio, facendo leva sulla progettualità acquisita dall'industria italiana, sul know-how e sulle infrastrutture di ricerca disponibili presso ENEA, mira a indirizzare il supporto dell'Europa sul progetto ALFRED. In ambito FALCON è già stato individuato il sito per la costruzione del DEMO in Romania, ed è già stato pianificato l'accesso ai fondi infrastrutturali europei per la fase di progettazione finale, ricerca e sviluppo nonché per la fase successiva di costruzione ed esercizio del DEMO ALFRED.

Nel contesto europeo descritto, ENEA riveste un ruolo di leadership sia sul piano progettuale che di sviluppo tecnologico per quanto riguarda i sistemi LFR-GEN IV.

Le principali attività di ricerca dovranno quindi supportare le attività di R&S in supporto al reattore ALFRED,

e dovranno essere implementate secondo i seguenti temi principali:

- **Progettazione e Analisi di Sicurezza.** Sviluppo e validazione di codici di calcolo per l'analisi di sicurezza; supporto alla progettazione e analisi di sicurezza del combustibile nucleare; progettazione di dettaglio del nocciolo del dimostratore; studi di dinamica spaziale.
- **Qualifica Materiali strutturali e studi di fabbricazione.** Caratterizzazione acciai e rivestimenti strutturali in condizioni di irraggiamento e corrosione da piombo.
- **Sviluppo Componenti e Sistemi Innovativi.** Mediante l'ulteriore implementazione delle infrastrutture di ricerca presso ENEA, si provvederà alla sviluppo e qualifica di componenti e sistemi innovativi rilevanti per lo sviluppo del reattore ALFRED (SG, DHR, PP, FPB, RVACS, IC, ISI&R, etc..)

Le attività di R&S si inseriranno nel più ampio contesto delle iniziative (SNETP, ESNII, ESFRI, EERA) e gruppi di lavoro internazionali (IAEA, OECD-NEA, ESS) e degli accordi bilaterali principalmente con CEA (Francia) e CASHIPS (Cina).

Descrizione dell'attività a termine

Gli obiettivi programmatici dell'intero progetto sono a breve, medio e lungo termine, e precisamente:

- **A breve termine:** contribuire a mantenere le competenze tecniche e scientifiche necessarie agli studi sulla sicurezza dei reattori. Sviluppare ulteriormente una capacità autonoma di valutazione delle diverse opzioni tecnologiche, in particolare dal punto di vista della sicurezza e della sostenibilità anche grazie ad accordi bilaterali con grandi istituzioni di ricerca quali il CEA e l'IRSN francesi, i laboratori del DOE americano, ecc., consentire all'Italia di partecipare alle grandi iniziative di R&S internazionali/europee (GIF, INPRO, SNETP, IGD-TP, programmi EURATOM, etc.).
- **A medio e lungo termine:** Conservare ad alto livello le competenze sul nucleare da fissione per rendere possibile la valutazione e il contributo agli sviluppi in sicurezza dei progetti di reattori innovativi proposti in ambito internazionale. Supportare il sistema di ricerca nucleare italiano per lo sviluppo di reattori di IV generazione (LFR) e SMR, con relativo ciclo del combustibile in termini di competenze, infrastrutture di ricerca, laboratori, processi di qualificazione, ecc.
- **Nel lungo termine:** sfruttare le competenze e le infrastrutture di ricerca così sviluppate per partecipare a pieno titolo alla progettazione, realizzazione ed operazione di un prototipo dimostrativo reattore refrigerato a piombo e di sistemi nucleari di quarta generazione a ciclo chiuso quale il *Lead-cooled Fast Reactor* (DEMO – LFR ALFRED) in ambito *European Sustainable Nuclear Industrial Initiative* e GIF.

Principali risultati previsti alla fine del triennio

- ✓ Sviluppo e validazione di codici e metodi per studi e analisi di sicurezza e sostenibilità e di metodologie avanzate per la valutazione delle conseguenze incidentali in impianti nucleari
- ✓ Caratterizzazione sperimentale di componenti critici e strumentazione prototipica per verifiche e valutazioni rilevanti per la sicurezza.
- ✓ Sviluppo e validazione di codici e metodi per studi e analisi di sicurezza per sistemi nucleari a fissione di quarta generazione refrigerati a metallo liquido.
- ✓ Impianti sperimentali, infrastrutture di ricerca, attrezzature capaci di supportare il Paese nella leadership internazionale sui sistemi nucleari di quarta generazione.
- ✓ Componenti prototipici e sistemi innovativi progettati e validati sperimentali per applicazioni energetiche.
- ✓ Know-how nel settore energetico e nucleare da fissione di quarta generazione, partecipato anche dal sistema industriale italiano, che permette l'acquisizione di quote importanti nel settore energetico della ricerca e sviluppo a livello internazionale.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Nell'ambito del progetto B.3.1. non sono previste attività in collaborazione con CNR e RSE.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Lo sviluppo ed accrescimento delle competenze scientifiche nel campo della sicurezza e sostenibilità del nucleare da fissione, proprio per le sue finalità, non può essere valutato in modo diretto ai fini di una quantificazione del beneficio che gli utenti del sistema elettrico nazionale possono trarre. Il valore aggiunto dell'attività va inquadrato come un "must" a livello strategico dell'Italia come nazione progredita, in quanto dotandosi di una propria e autonoma competenza nel campo della sicurezza nucleare, evita di essere asservita e/o condizionata dagli interessi e dalle necessità di Paesi che, seppure amici e vicini, hanno pur sempre una loro prioritaria linea da seguire, specialmente nel caso di un evento incidentale rilevante che coinvolga aree territoriali appartenenti a più Nazioni. La conservazione di un sistema di competenze scientifiche in grado di assicurare, in maniera autonoma ed indipendente, la gestione di emergenze derivanti da incidenti, anche severi, che potrebbero aver luogo nell'immediata vicinanza dei nostri confini è di fondamentale importanza per il nostro Paese.

Nel medio e lungo termine inoltre, i Paesi europei, potrebbero dover rivedere il proprio mix energetico per problemi connessi alla sicurezza di approvvigionamento energetico, agli elevati costi. L'opzione nucleare potrebbe quindi ancora nel lungo periodo un ruolo non trascurabile nel sistema energetico europeo e nazionale. I sistemi nucleari di quarta generazione, e in particolare i sistemi LFR e SMR, potrebbero assolvere a tale compito.

Quindi condizione necessaria per lasciare aperta l'opzione nucleare da fissione in Europa, in particolare di quarta generazione, è lo sviluppo di competenze e infrastrutture di ricerca in ambito LFR e SMR nel contesto delle collaborazioni internazionali, su cui il sistema di ricerca italiano e l'industria nazionale del settore già gioca un ruolo di leadership sia a livello comunitario che internazionale.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

LINEA PROGETTUALE 1: SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE

Nella prima annualità del PTR 2015-2017 le attività sono organizzate sulla base dei seguenti quattro obiettivi:

- a. Metodi e Analisi per Verifiche di Sicurezza, Security e Sostenibilità
- b. Safety Assessment e Valutazioni d'Impatto
- c. Validazioni Analitiche e Verifiche Sperimentali
- d. Diffusione dell'Informazione e dei Contenuti della Ricerca

I quattro obiettivi sono divisi in task, temi e linee tematiche, alcuni sviluppati solo da ENEA ed altri con i contributi di alcune delle università e politecnici consorziati in CIRTEN (Pisa, Roma "Sapienza", Palermo, Milano, Torino) e del subcontraente SIET. Qui di seguito vengono forniti i dettagli delle attività, della durata, dei costi e delle organizzazioni coinvolte nei vari obiettivi.

a. Metodi e analisi per verifiche di sicurezza, security e sostenibilità

a.1 Dati Nucleari e Sicurezza Nocciolo

Tema a1.1 - Dati Nucleari per la Sicurezza Reattore

- **LT1.1.a: Produzione e Validazione Librerie di Sezioni d'Urto**

In continuità con le attività svolte nel PT2012-14, si intende concludere quelle relative alla libreria di sezioni d'urto "general-purpose" a gruppi fini VITJEFF32.BOLIB per lo schermaggio e il danno da radiazione nei reattori a fissione. Per tale libreria, basata sul più recente file di dati nucleari valutati OECD-NEADB JEFF-3.2 e processata con il codice LANL NJOY-2012.53, si intende produrre in particolare il relativo manuale dettagliato per poter poi proporre l'inserimento della nuova libreria nella collezione OECD-NEADB. Inoltre s'intende avviare l'attività di processamento dati, tramite la versione ENEA-Bologna del codice ORNL SCAMPI, dedicata alla produzione della nuova libreria a gruppi larghi di lavoro

BUGJEFF32.BOLIB (derivata da VITJEFF32.BOLIB) per specifiche applicazioni di schermaggio e dosimetria del recipiente in pressione nei reattori ad acqua leggera.

- *LT1.1.b: Aggiornamento delle librerie di sezioni d'urto di attivazione del package ANITA*
Proseguirà l'attività di aggiornamento e validazione delle librerie di decadimento e sezioni d'urto per il sistema ANITA-2000, allo scopo di preparare un nuovo package ANITA da rilasciare in futuro alla NEA Data Bank. Al fine di utilizzare le più recenti librerie valutate di sezioni d'urto, si intende produrre una libreria di sezioni d'urto, a 175 gruppi in formato EAF, a partire dalla libreria valutata JEFF-3.2 (o altra libreria disponibile), essendo EAF l'unico formato di libreria di sezioni d'urto di attivazione leggibile dal codice di attivazione ANITA-4M (contenuto nel package ANITA-2000). Si partirà dall'originale formato ENDF-6 tramite processamento col sistema NJOY.
- *LT1.1.c: Messa a punto di una metodologia per valutazione di sezioni d'urto per analisi margini di sicurezza*
Scopo finale di questa linea tematica è mettere a punto una metodologia in grado di valutare sezioni d'urto nucleari di interesse per le analisi di sicurezza neutronica per gli impianti nucleari. Tale metodologia si compone delle seguenti fasi: una fase sperimentale, comprensiva di un'analisi preliminare dei dati acquisiti, una di valutazione numerica degli stessi, una di post-processamento, ed una finale di validazione. Tale metodologia sarà applicata alla sezione d'urto di cattura radiativa dell'isotopo ^{157}Gd data la sua importanza nella sicurezza neutronica dei reattori a fissione di II e III generazione. La fase sperimentale sarà svolta in collaborazione con l'INFN ed il CERN di Ginevra. Per il PAR 2015 sono previsti: studi di sensibilità e incertezza finalizzati all'analisi dell'impatto della sezione d'urto sulle valutazioni di sicurezza nucleare, studio numerico per l'ottimizzazione dei campioni di ^{157}Gd da utilizzare per gli scopi prefissi e acquisizione dei campioni e loro invio a laboratori specifici per la loro caratterizzazione e controllo di qualità. Per acquisire maggiore sensibilità nella valutazione dei dati nucleari che saranno acquisiti durante l'esperimento, verrà effettuato un caso studio di valutazione su dati nucleari già esistenti sul ^{157}Gd .

Tema a1.2 - Metodi per Analisi di Sicurezza Nocciolo

- *LT1.2.a: Analisi neutronica con metodi Monte Carlo di impianti nucleari di tipo PWR*
Applicazione delle metodologie già impiegate nel PT2012-14 - per stimare i flussi neutronici e le dosi gamma in varie posizioni nel pozzo reattore e a varie profondità nel calcestruzzo sacrificale nell'EPR (disaccoppiamento del calcolo di autovalore in-core dal calcolo di sorgente fissa ex-core utilizzando dei codici e "patch" MCNP scritti in-house) - ai PWR, in funzione attuale, usando il reattore TIHANGE come modello. Si procederà al calcolo del danneggiamento neutronico al vessel di TIHANGE con le stesse metodologie e al confronto dell'approccio sopracitato con un nuovo approccio impiegando uno solo calcolo (senza disaccoppiare la parte autovalore dalla parte sorgente fissa).
- *LT1.2.b: Analisi neutronica con codici deterministici di impianti nucleari di tipo PWR*
Nel PT2012-14 sono stati eseguiti studi per quantificare il fenomeno del tilt di potenza in reattori ad acqua pressurizzata. Il tilt di potenza, definito come la differenza relativa tra la potenza effettiva media di un dato quadrante e quella teorica calcolata su un quarto di nocciolo, è un fenomeno riscontrato nei noccioli PWR di II generazione come quelli francesi da 900 MWe, molti dei quali sono installati in prossimità dei confini nazionali (siti di Tricastin, Cruas e Bugey). Scopo delle attività è approfondire l'analisi del fenomeno del tilt di potenza e del suo impatto sui margini di sicurezza di nocciolo e, allo stesso tempo, continuare con il consolidamento e l'approfondimento di competenze per valutazioni di Safety di nocciolo. In questa annualità si intende effettuare la misura, in condizioni statiche, della separazione numerica degli autovalori, cioè della distorsione rispetto alla simmetria radiale del modo fondamentale, tramite l'analisi dello spettro degli autovalori dell'operatore di Boltzmann discretizzato. L'obiettivo è quello di dimostrare che la scelta del riflettore, modificando tale separazione, gioca un ruolo fondamentale sul fenomeno del disaccoppiamento neutronico del nocciolo.

Risultati/Deliverable

- LP1.a1.1.a Produzione e Validazione Librerie di Sezioni d'Urto
- LP1.a1.1.b Production of a new neutron activation cross section library in EAF format for Anita-4M code on the basis of the most recent evaluated data

- LP1.a1.1.c Messa a punto di una metodologia per valutazione di sezioni d'urto per analisi margini di sicurezza
- LP1.a1.2.a Analisi neutronica con metodi Monte Carlo di impianti nucleari di tipo PWR
- LP1.a1.2.b Analisi neutronica con codici deterministici di impianti nucleari di tipo PWR

Durata: ottobre 2015 – agosto 2016

a.2 Elementi per la sostenibilità del ciclo del combustibile nucleare

Tema a2.1 - Sicurezza intrinseca di elementi di combustibile irraggiati

La sicurezza intrinseca contro diversioni degli elementi di combustibile dei reattori ad acqua pressurizzata (PWR) è dovuta all'alto valore del rateo di dose gamma. La significativa quantità di radiazioni gamma anche dopo un processo di decadimento di 30 anni, infatti, fornisce a questo tipo di assembly una barriera intrinseca di auto protezione contro furti e/o usi malevoli del plutonio in essi contenuto. Recentemente sono tuttavia sorti forti dubbi sulla precisione con cui è stato calcolato, agli inizi degli anni 70, il rateo di dose gamma; in particolare sembra risulti sovrastimato. Scopo di questa attività, da svolgersi in ambito OECD/NEA, è quello di ridurre l'incertezza associata a tale valore e valutare più correttamente l'entità della sovrastima. Le attività saranno svolte con codici di calcolo deterministici e stocastici. In particolare per il PAR 2015 si intende simulare il bruciamento di due assembly di PWR, uno con combustibile UOX e l'altro con combustibile MOX, per ottenere la composizione isotopica del combustibile allo scarico.

Tema a2.2 - Aspetti metodologici per la sicurezza delle sorgenti radioattive

L'attività consiste nella partecipazione all'esercizio internazionale GALAXY SERPENT v2. L'esercizio si inquadra tra le iniziative internazionali di security a cui l'ENEA partecipa (GINCT, Nuclear Forensics, CBRNe EU initiatives) ed è teso a migliorare e ottimizzare, a livello nazionale, i criteri e le procedure per gestire la sicurezza delle sorgenti radioattive in considerazione delle minacce ad esse collegate, dal traffico illecito al possibile utilizzo in ordigni per dispersione di radioattività ("Radiological Dispersal Devices" o "bombe sporche"). I due elementi fondamentali dell'esercizio sono la costituzione di una libreria forense nucleare nazionale e la capacità di definire per ciascuna sorgente radioattiva una "firma" (signature), intesa come insieme dei parametri fisico-chimici necessari e sufficienti per l'univoca individuazione della stessa. L'esercizio è distinto in tre fasi: a) simulazione della costituzione di una libreria forense nucleare nazionale; b) verifica dell'eventuale corrispondenza tra una sorgente radioattiva recuperata e le sorgenti radioattive nella libreria; e c) possibilità di identificare la sorgente radioattiva utilizzata nell'esplosione di una "bomba sporca". Le attività saranno documentate in un rapporto finale comprendente: la descrizione dettagliata di ciascuna fase dell'esercizio, la descrizione della metodologia d'indagine adottata, i risultati ottenuti e gli sviluppi futuri.

Tema a2.3 - Quadro internazionale su Resistenza alla Proliferazione, Nuclear Security, Sostenibilità

In continuità con i precedenti Piani Triennali, si fornisce una sintesi delle principali attività che si svolgono a livello internazionale in ambito di resistenza alla proliferazione, nuclear security e in generale sostenibilità del ciclo del combustibile. Si darà particolare rilievo agli esiti del Nuclear Security Summit, il quarto dal 2010 e ultimo in questo formato, che si svolgerà nella primavera del 2016 a Washington D.C.

Risultati/Deliverable

- LP1.a2.1 Sicurezza intrinseca di elementi di combustibile irraggiati
- LP1.a2.2 Aspetti metodologici per la sicurezza delle sorgenti radioattive: l'esercitazione GALAXY SERPENT v2
- LP1.a2.3 Quadro internazionale su Resistenza alla Proliferazione, Nuclear Security, Sostenibilità

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

a.3 Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre iniziative sulla gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi

Tema a3.1 - Contributo alla Piattaforma IGD-TP

La strategia italiana nel settore dei rifiuti radioattivi di bassa e media attività è sufficientemente definita per quello che riguarda le caratteristiche del deposito nazionale, la modalità di individuazione del sito e le performances che questa struttura dovrà garantire in tutte le fasi della sua vita (costruzione, esercizio, chiusura). Le cose non stanno in questa maniera per quello che riguarda l'alta attività. Le ragioni sono

certamente nell'intrinseca difficoltà nel definire una strategia per questa tipologia di rifiuti, ma anche nella diffusa convinzione che i nostri rifiuti, spediti all'estero per il ritrattamento, rimangano lì a tempo indeterminato. Per questo l'opzione dello stoccaggio provvisorio presso il parco tecnologico/deposito nazionale presenta molti punti che necessitano di approfondimento. Soprattutto occorre analizzare le condizioni che consentirebbero di evitare che il deposito "provvisorio" potesse diventare, di fatto, definitivo. Questo infatti è il vero tallone d'Achille per conseguire il consenso per la localizzazione del PTDN. La normativa europea consente la realizzazione di accordi bilaterali per smaltire i rifiuti presso un paese già attrezzato con strutture adeguate. Questa è sicuramente la strada da perseguire per un Paese come il nostro che ha una volumetria di alta attività piuttosto ridotta. L'obiettivo è quindi quello di procedere all'attivazione di accordi intergovernativi, ed è importante creare le condizioni per questi accordi con una serie di azioni tecniche continue, coordinate e mirate. In questa annualità verranno trattati, in modo dettagliato, i vari aspetti di rilevanza nazionale relativi alla tematica. La presenza attiva dentro IGD è una condizione prioritaria e necessaria per costruire le condizioni necessarie. A questo vanno affiancate azioni di approfondimento su temi specifici quali, per esempio, le modalità di gestione dei rifiuti di attività intermedia.

Tema a3.2 - Indagini radioecologiche relative alla localizzazione in sicurezza del deposito nazionale

La legislazione italiana è l'unica, a livello europeo, che prevede l'obbligo, per gli impianti costruiti dopo il 1995, di rispettare il criterio di "non rilevanza radiologica" (10 µSv/anno) per eventuali dosi alla popolazione. A ciò occorre aggiungere l'obbligo, sancito dalle convenzioni internazionali, di tutelare la biodiversità. In questo contesto le indagini radioecologiche connesse al deposito nazionale assumono una grande importanza perché sono sufficienti rilasci decisamente più bassi del fondo naturale per superare i fatidici 10 µSv/anno. Tenendo conto della rilevanza dell'impegno, il tema dovrebbe essere affrontato con risorse molto più rilevanti di quelle previste nel PAR, ma è comunque possibile, importante e necessario cominciare ad approfondire gli aspetti metodologici di queste indagini. I punti da affrontare sono: a) la determinazione dello stato zero; b) la caratterizzazione del sito per individuare i percorsi di migrazione dei nuclidi; c) il trasferimento degli stessi nuclidi alla biosfera e all'uomo nei diversi scenari di rilasci normali, rilasci incidentali e impatto dei nuclidi residui nelle situazioni di post chiusura e post periodo di sorveglianza.

Risultati/Deliverable

LP1.a3.1 Contributo alla Piattaforma IGD-TP

LP1.a3.2 Indagini radioecologiche relative alla localizzazione in sicurezza del deposito nazionale

Durata: novembre 2015 – settembre 2016

b. Safety assessment e valutazioni d'impatto

b.1 Sicurezza delle centrali nucleari prossime al territorio nazionale

Tema b1.1 - Indagine sulla sicurezza delle centrali frontaliere distanti meno di 200 km dal territorio nazionale

Le attività programmate nel task si sviluppano su un'unica tematica, molto vasta, in cui vengono analizzate e valutate le principali caratteristiche di sicurezza dei reattori presenti nelle centrali nucleari frontaliere. A seconda della nazione confinante, Francia, Germania, Svizzera, Slovenia/Croazia, sono presenti reattori PWR o BWR, caricati con il solo UOX o con combustibile misto UOX-MOX. Verrà trattato l'argomento del rischio legato al "nuclear ageing", giustificato dal fatto che l'età media dei reattori nucleari europei ha superato i 29 anni e che un numero crescente di essi sta raggiungendo i limiti di progetto dei 30 o 40 anni. Verranno fatte considerazioni sulle problematiche di sicurezza legate alla "life time extension", verrà considerato il pacchetto di "lessons learned" provenienti dai vari studi di safety assessment realizzati sulla base dell'attività richieste nell'ambito degli Stress Test, si cercherà di raccogliere ed organizzare dati relativi ai più significativi transitori incidentali avvenuti nei reattori di queste centrali e di individuare le vulnerabilità intrinseche delle tipologie BWR e PWR in generale e dello stato attuale degli specifici impianti presenti nelle centrali frontaliere in particolare. Questa attività sarà svolta sulla base di informazioni

ricavabili dalla letteratura open a livello internazionale e nazionale locale e i risultati ottenuti saranno quindi, come richiesto dalla filosofia generale del PAR, disponibili e aperti a tutti.

Risultati/Deliverable

LP1.b1.1 Indagine sulla sicurezza delle centrali frontaliere distanti meno di 200 km dal territorio nazionale

Durata: novembre 2015 – agosto 2016

b.2 Valutazioni di rischio e scenari incidentali

Tema b2.1 - Analisi PSA e DSA relative all'implementazione delle salvaguardie di sicurezza per la gestione degli incidenti severi nei reattori nucleari

L'implementazione delle salvaguardie di sicurezza per ridurre il rischio dovuto agli incidenti severi è uno dei requisiti fondamentali derivante dalle lezioni acquisite dall'incidente di Fukushima. Tali apparati, come i sistemi per la ritenzione del corium all'interno del vessel oppure per la ventilazione attraverso filtri del contenimento per l'abbattimento della pressione, sono concepiti ai fini della prevenzione e mitigazione delle conseguenze degli incidenti severi. In questo ambito lo studio si focalizza sui sistemi passivi, cioè non richiedenti alcun input esterno, sui quali viene fatto affidamento per esercitare funzioni di sicurezza come la rimozione del calore dal contenimento ed il controllo e l'abbattimento della quantità di idrogeno che potrebbe liberarsi a seguito della fusione del core. Nel contesto del "risk informed decision making", che associa gli aspetti deterministici a quelli probabilistici per la valutazione della sicurezza, l'attività proposta consiste di diverse fasi: a) Stato dell'arte dei sistemi passivi utilizzabili per la "gestione" degli incidenti severi e che quindi possono essere presi in considerazione per essere implementate nelle linee guida relative nelle procedure di emergenza; b) Analisi di sicurezza dal punto di vista probabilistico, tesa a fornire elementi per la valutazione delle prestazioni, in termini di disponibilità/affidabilità. Ciò include anche la considerazione per taluni aspetti non specifici dei sistemi passivi, come il fattore umano, ma che in qualche modo con essi interagiscono nell'ambito della messa a punto delle strategie per far fronte agli incidenti severi.

Tema b2.2 - Valutazione comparativa dei sistemi passivi e attivi ai fini dello sviluppo dei reattori avanzati

L'introduzione dei sistemi passivi viene considerata come uno dei fattori più importanti ai fini dell'aumento della sicurezza dei reattori di terza e quarta generazione, nonché per lo sviluppo dei reattori di piccola taglia, quali gli SMR (Small Modular Reactors). Tuttavia studi più approfonditi rivelano come tale vantaggio derivante dall'impiego dei sistemi passivi di sicurezza rispetto a quelli attivi non sia così evidente: pertanto diventa utile valutare i benefici nonché le sfide che la adozione delle due tipologie di sistemi nei vari reattori pongono. La valutazione comparativa sarà effettuata a livello di sistema in termini di prestazioni ed affidabilità, prescindendo in ogni caso dai fattori economici.

Tema b2.3 - Calcolo integrale di scenari incidentali

L'incidente di Fukushima, Chernobyl and Three Mile Island hanno focalizzato l'interesse della comunità scientifica sulle strategie necessarie per la mitigazione degli incidenti severi. Svariate analisi per la gestione di incidenti severi sono state effettuate al fine di analizzare la successione di eventi che caratterizzano l'incidente: i danni al nocciolo del reattore e le sue eventuali fasi di degradazione, il periodo di grazia atteso e l'eventuale rilascio dei prodotti di fissione al fine di dimostrare l'adeguatezza della strategia di gestione dell'incidente. Sebbene l'energia nucleare non sia parte del mix energetico italiano, centrali nucleari sono disposte ai confini italiani, pertanto l'analisi di scenari incidentali significativi per i reattori frontaliere deve essere considerata attività di strategica importanza per la salvaguardia del territorio nazionale e la protezione della popolazione italiana. L'attività da svolgere in questa tematica consisterà nell'analizzare, utilizzando il codice MELCOR, acquisito nell'ambito del Programma di Ricerca della USNRC "Cooperative Severe Accident Research Program" (CSARP), transitori di interesse che possano verificarsi, con data probabilità di accadimento, in reattori frontaliere PWR e BWR. In relazione ai reattori di tipo BWR l'attività consisterà nell'analizzare il transitorio incidentale verificatosi nell'unità 1 della centrale di Fukushima Daichi nel 2011, con particolare attenzione all'intervento dei sistemi passivi presenti nel reattore. In relazione ai PWR, l'analisi delle fasi di degradazione nocciolo e il conseguente inventario di materiale radioattivo

rilasciato sarà effettuata facendo riferimenti a transitori non mitigati di elevato interesse per la sicurezza di questo tipo di reattori.

Risultati/Deliverable

- LP1.b2.1 Analisi PSA e DSA relative all'implementazione delle salvaguardie di sicurezza per la gestione degli incidenti severi nei reattori nucleari
- LP1.b2.2 Valutazione comparativa dei sistemi passivi e attivi ai fini dello sviluppo dei reattori avanzati
- LP1.b2.3 Calcolo integrale di scenari incidentali

Principali collaborazioni: CIRTEN (UNUPI, tema b2.1 e UNIRM1, tema b2.3).

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

b.3 Studi in appoggio alla Emergency Preparedness

Tema b3.1 - Modelli per calcoli di concentrazione di materiale radioattivo disperso a breve-medio raggio in aree caratterizzate da configurazioni architettoniche tipiche delle principali città italiane

Nell'ambito delle valutazioni di sicurezza nucleare e dell'entità dell'impatto di rilasci di materiale tossico verso l'ambiente esterno a causa di incidenti severi in centrali nucleari, e in continuità con gli studi iniziati nel precedente PT 2012-2014, in questo tema prosegue l'attività di selezione, valutazione e validazione dei modelli più adatti al calcolo dell'impatto di un incidente grave, di origine nucleare, nel territorio nazionale. In caso di rilasci nucleari, generalmente il territorio interessato è molto vasto, in quanto la nube radioattiva generata può essere spinta da venti fino a distanze molto lontane dalla fonte di rilascio. Studi di trasporto a medio-grandi distanze e valutazioni del conseguente impatto, sono congruamente presi in conto e studiati nel tema B3.2. Nel tema B3.1 invece si studieranno le situazioni d'impatto da dispersione atmosferica e deposizione all'interno del tessuto di aree urbane caratterizzate da diversa tipologia architettonica e da differenti tipologie di ostacoli. Le situazioni incidentali più vicine alle investigazioni che verranno svolte si concentrano su eventi incidentali originati localmente, a seguito di azione umana malevola (tipo esplosione di una bomba sporca a causa di un attacco terroristico) o di malfunzionamento di impianti nucleari presenti nel territorio nazionale (tipo reattori di ricerca). Questo tema si complementa quindi con quello successivo, e si focalizza sull'analisi e valutazione dell'entità del materiale disperso in aree urbane con configurazione tipica delle principali città italiane e sui più rilevanti fenomeni o strutture locali che attenuano o esaltano la concentrazioni di materiale radioattivo (ostacoli, edifici, portici, gallerie, tunnel, piazze, spazi aperti). La zona di interesse è l'atmosfera sotto lo strato limite planetario (PBL) perché l'esplosione avviene a livello del suolo e quando gli inquinanti vengono trasportati lontano dal "punto zero", subendo forti effetti locali (urti con ostacoli, vorticosità, dispersioni funzione della distribuzione architettonica dell'area, spinta del vento a bassa quota verso canalizzazioni) sono così violentemente dispersi che gli effetti della potenziale perforazione del PBL possono essere considerati trascurabili. Questa attività trova terreno fertile anche in EDEN, il più grande progetto europeo di security e di valutazioni anti-CBRNe, e il codice che si sta sviluppando in ENEA, RADCAL-III, proprio sulla base di questi studi, sta sollevando l'interesse di molti partner ed end-users stranieri.

Tema b3.2 - Metodi per la valutazione dell'impatto radiologico nel breve termine e per l'individuazione delle contromisure per la gestione delle conseguenze a medio-lungo termine a seguito di incidenti in impianti nucleari

L'attività consiste nella messa a punto di una metodologia per la valutazione dell'impatto radiologico a breve e medio-lungo termine a seguito di incidenti ad impianti nucleari europei. Sarà simulato, con opportuni codici di calcolo fast-running, il trasporto in atmosfera su lunghe distanze del materiale radioattivo emesso durante l'incidente; sarà poi valutato, sulla base delle concentrazioni in aria e delle deposizioni al suolo, l'impatto radiologico al fine di poter determinare e quantificare le opportune contromisure da adottare per ridurre le conseguenze alla popolazione. Le valutazioni saranno fatte sia per la fase acuta dell'incidente, per cui le possibili contromisure sono l'evacuazione, lo sheltering e la somministrazione di iodio stabile, che per la fase cronica, per cui le contromisure possibili sono il controllo delle matrici alimentari e la decontaminazione. Si farà ricorso a termini sorgente semplici e già calcolati, per incidenti di media gravità o di massima gravità. L'attività sarà propedeutica ad un futuro studio sistematico

del potenziale di impatto sul territorio nazionale di incidenti ai reattori nucleari sia frontalieri (distanza inferiore ai 200 km) che extra-frontalieri.

Risultati/Deliverable

- LP1.b3.1 Advanced models for the calculation of concentrations of radioactive material dispersed in the short-medium range in urban areas characterized by architectural configurations typical of major Italian cities
- LP1.b3.2 Methodological aspects for the evaluation of the radiological impact of severe nuclear accidents: codes, numerical examples and countermeasures

Principali collaborazioni: CIRTEN (UNIPA, tema b3.1).

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Sperimentazione e calcoli in appoggio agli studi sulla sicurezza

c.1 Simulazioni integrali di sistema e sperimentazione presso gli impianti SIET

Per la valutazione della sicurezza dei reattori nucleari è necessario poter disporre di codici e modelli adeguatamente validati per la simulazione numerica del comportamento dell'impianto in condizioni incidentali. Per i reattori avanzati in particolare, che presentano soluzioni innovative per la realizzazione delle funzioni di sicurezza, come i sistemi passivi per la rimozione del calore di decadimento, la verifica dei requisiti di sicurezza esige di effettuare la simulazione sperimentale. Presso i laboratori della SIET di Piacenza sono state effettuate, nel corso degli ultimi 30 anni, diverse campagne sperimentali aventi come obiettivo la certificazione di reattori avanzati (AP600, SBWR) e lo studio di sistemi innovativi per la sicurezza che hanno reso disponibili un insieme di attrezzature, competenze e dati sperimentali. Tutto ciò è indispensabile sia per la validazione di codici e modelli numerici, sia per la conduzione di prove sperimentali su sistemi e componenti, vale a dire per una corretta valutazione della sicurezza dei reattori attuali e futuri. Nel PAR2015 tali valutazioni verranno eseguite sviluppando il tema qui sotto descritto.

Tema c1.1 - Validazione e verifica di codici TH e relativi Modelli per studi e valutazioni di sicurezza

L'obiettivo di preservare la capacità di progettazione ed interpretazione di campagne sperimentali, attraverso l'utilizzo dei più idonei e validati strumenti di calcolo, nel corso delle precedenti annualità del PAR è stato perseguito attraverso un'attività di validazione-verifica (V&V) dei codici termo-idraulici di sistema e dei relativi modelli utilizzando i dati sperimentali già disponibili della facility SPES2 (simulatore integrale AP600). Ricordiamo che tale facility è dotata di sistemi di sicurezza passivi che ad oggi suscitano un rinato interesse in vista della loro applicazione in impianti del tipo SMR. Tale attività di V&V è stata sviluppata tramite la messa a punto e il successivo miglioramento di modelli per codici Termoidraulici di Sistema (CATHARE e TRACE) impiegati per simulazione di alcuni dei test della matrice di prova condotta su SPES2 intorno agli anni 90.

I risultati di tale attività hanno messo in luce: a) L'opportunità di approfondire ulteriormente alcune delle fenomenologie tipiche del comportamento dei sistemi di sicurezza passivi: con particolare riguardo alla valutazione dell'affidabilità dei sistemi di sicurezza per lo smaltimento del calore residuo di decadimento (PRHR (Passive Residual Heat Removal) installato sull'AP600 della Westinghouse). L'efficienza del PRHR viene aumentata refrigerando tale sistema in una piscina riempita di acqua in condizioni standard (P=1 atm, T=25 C). All'inizio degli anni 2000 in SIET venne costruita una facility sperimentale chiamata PERSEO (in-Pool Energy Removal System for Emergency Operation). Su tale facility venne condotta una campagna di prove sperimentali i cui risultati possono essere utilizzati per la validazione dei codici di calcolo. A tale scopo si prevede di sviluppare il modello TRACE della facility PERSEO e di testare la capacità di tale codice nella descrizione dei fenomeni di condensazione sulla base del confronto tra i dati sperimentali a disposizione e i risultati delle simulazioni TRACE. Tale attività permetterà di migliorare il modello di SPES2 e la confidenza sui risultati ottenuti; b) La necessità di migliorare ulteriormente il nodding CATHARE anche sulla base degli spunti forniti dagli sviluppatori del codice durante l'ultimo CATHARE Users' CLUB. La prima di tali modifiche dovrebbe riguardare il remesh del 3D utilizzato per descrivere il comportamento del downcomer anulare dell'impianto SPES2. Tale componente dell'impianto risulta essere una parte

veramente cruciale in quanto attraverso esso fluisce il fluido caldo che dal core dell'impianto va verso gli scambiatori di calore e il fluido freddo che viene iniettato dai sistemi di emergenza nel tentativo di gestire in sicurezza un evento incidentale. Un'adeguata simulazione delle fenomenologie che entrano in gioco in tale componente, sono essenziali per una corretta riproduzione dell'evoluzione del transitorio di Small Break Loca studiato nella precedente annualità. Inoltre il modello CATHARE ulteriormente sviluppato potrà essere utilizzato in questa e nelle successive annualità del triennio per la simulazione di altri transitori incidentali selezionati tra quelli della matrice di prova di SPES2.

Risultati/Deliverable

LP1.c1.1 Miglioramento dei modelli dei codici integrali CATHARE e TRACE per la simulazione di specifici aspetti della facility integrale SPES2

Principali collaborazioni: CIRTEN (UNIPA).

Durata: ottobre 2015 -settembre 2016

c.2 Valutazione e sperimentazione di componenti e sistemi passivi per il miglioramento della sicurezza nei reattori futuri

Nel corso del PT2012-2014, sono state svolte attività di simulazione e sperimentali per la caratterizzazione della termoidraulica di scambiatori di calore compatti per l'utilizzo in sistemi di rimozione del calore di reattori SMR, inoltre si sono confrontate le prestazioni di soluzioni diverse. In particolare, le attività svolte nel PAR2014 hanno riguardato, per la parte sperimentale, la conduzione di test termoidraulici su uno scambiatore a tubi a baionetta, e per quanto ha riguardato la simulazione, il confronto tra scambiatori a tubi elicoidali ed a baionetta. Il programma di attività per il PAR2015 prende le basi da quanto realizzato nel PAR precedente tenendo conto che le attività avranno una prospettiva triennale e considerando che, per verificare il miglioramento del livello di sicurezza nei reattori nucleari del futuro, gli studi condotti negli anni precedenti hanno mostrato l'importanza della capacità di analizzare sistemi innovativi di rimozione della potenza termica generata per via nucleare. Questo processo di trasporto dalla sorgente al pozzo termico deve realizzarsi in modo affidabile, con livelli di temperatura adeguati per i materiali e l'esercizio. Di seguito vengono descritti con maggior dettaglio i tre temi del task.

Tema c2.1 - Sviluppo e validazione di una metodologia progettuale per sistemi di rimozione e trasporto della potenza termica

L'attività per il PAR2015 si propone di generalizzare una metodologia progettuale valida per l'applicazione a reattori di diversa concezione attraverso i seguenti passi:

- a) Sviluppo di una metodologia numerica per la caratterizzazione delle potenze rimuovibili da parte del pozzo ultimo, "isolation condenser" o altri sistemi, basati sulla circolazione naturale e sulle specifiche termiche dello scambiatore di calore tra circuito primario e circuito secondario.
- b) Caratterizzazione teorica dei meccanismi di scambio termico e di trasporto che permettano di dimostrare la funzionalità e affidabilità dei sistemi ipotizzati (dalla sorgente termica al pozzo).
- c) Validazione della metodologia con indagini mirate alla progettazione e costruzione degli scambiatori di calore compatti, di interesse anche per le industrie del settore.
- d) Applicazione della metodologia ai reattori avanzati di riferimento.

Tale metodologia, sarà inizialmente focalizzata allo studio di sistemi di sicurezza passivi che facciano uso di scambiatori di calore compatti e per la sua validazione preliminare ci si avvarrà del data base sperimentale su scambiatori a tubi elicoidali ed a baionetta costruito tramite le prove condotte in passato presso i laboratori della SIET. Sulla base di questa validazione preliminare si valuterà la necessità di realizzare una facility ad hoc, in scala ridotta rispetto alle installazioni sperimentali della SIET. Tale facility, che verrebbe realizzata nel corso del triennio presso il POLITO, avrebbe il vantaggio di una strumentazione mirata alla validazione dei codici di calcolo utilizzati per le analisi numeriche (come il RELAP5), permetterebbe la validazione delle leggi di scalatura di sistemi passivi per la rimozione di calore residuo e dovrebbe essere caratterizzata da sufficiente versatilità per studi rivolti ai possibili sviluppi sugli SMR in un contesto Europeo.

Tema c2.2 - Validazione dei modelli RELAP5 dello scambiatore di calore HERO-2

Per quanto riguarda la definizione dell'attività sperimentale che verrà condotta nei laboratori della SIET, la base di partenza sono i risultati delle prove condotte sullo scambiatore di calore a tubi a baionetta HERO-2. Le analisi preliminari dei test termoidraulici in regime stazionario per la caratterizzazione dello scambio termico hanno mostrato alcune discrepanze che richiedono un ulteriore approfondimento da parte di SIET. A valle di questa attività ci si attende un data base corretto che sarà utilizzato da ENEA e POLIMI per la validazione dei modelli RELAP5 dello scambiatore dei tubi a baionetta utilizzati per la definizione della matrice sperimentale (ENEA) e per le analisi relative allo scambiatore implementato in un SMR PWR (POLIMI).

Tema c2.3 - Progettazione, realizzazione ed interpretazione di prove sperimentali per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento

I modelli validati permetteranno di definire una matrice di test in regime transitorio per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento in condizioni rappresentative di un reattore SMR ad acqua pressurizzata.

SIET condurrà le prove sperimentali sullo scambiatore HERO-2, opportunamente connesso con tubi di condensazione in piscina, per il trasferimento del calore al pozzo termico. Per queste prove si utilizzerà la configurazione dello scambiatore HERO-2 attuale. Vale a dire che, per le condizioni di prova, la pressione nella facility non supererà i 70 bar, la massima potenza per tubo sarà limitata a 22 KW e la temperatura del vapore non potrà superare i 400 °C.

Per le successive annualità si considereranno gli sviluppi relativi agli SMR in un contesto Europeo per procedere ad un upgrading della facility che permetta di raggiungere pressioni più elevate (sostanziali modifiche all'impianto di alimentazione dell'acqua e sostituzione dei riscaldatori dei tubi HERO-2) e/o di aumentare la potenza da fornire alla sezione di prova (sostituzione riscaldatori o riscaldamento per effetto Joule).

Risultati/Deliverable

- LP1.c2.1 Sviluppo e validazione di una metodologia progettuale per sistemi di rimozione e trasporto della potenza termica
- LP1.c2.2 Validazione dei modelli RELAP5 dello scambiatore di calore HERO-2
- LP1.c2.3 Progettazione, realizzazione ed interpretazione di prove sperimentali per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento

Principali collaborazioni: CIRTEN (POLITO, tema c2.1; POLIMI, temi c2.2 e c2.3); SIET (temi c2.2 e c2.3).

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

Organizzazione di seminari tematici, workshop e partecipazione a congressi

L'ENEA, come già fatto nel PT2012-14, si impegna a provvedere alla diffusione delle attività di ricerca che verranno svolte nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-MiSE, linea progettuale LP1, organizzando una serie di seminari, oltre al kick-off e al workshop finale. Oltre a questi eventi topici, è prevista la preparazione di un numero di documenti tecnici da pubblicare attraverso il sito Web dell'ENEA e su riviste scientifiche a tiratura nazionale e internazionale, e la partecipazione a workshop e congressi internazionali con la produzione di contributi elaborati sfruttando i temi di ricerca presenti nel PAR 2015. Per questa annualità è prevista la redazione di 10 rapporti tecnici (RdS) trattanti tematiche dell'obiettivo A, 6 RdS con tematiche dell'obiettivo B, 4 RdS con tematiche dell'obiettivo C e 1 RdS, il cui titolo è riportato qui sotto, come sintesi delle attività di raccolta e diffusione dei risultati conseguiti, per un totale di 21 RdS.

Risultati/Deliverable

LP1.d Raccolta e diffusione dei risultati conseguiti nel PAR2015, linea progettuale relativa allo sviluppo di competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

Durata: novembre 2015 - settembre 2016.

LINEA PROGETTUALE 2: COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE

Nell'ambito delle attività per il nucleare di IV generazione le attività sono focalizzate sulla tecnologia dei reattori a piombo, includendo SMR veloci.

In tale settore infatti sia l'industria nazionale che gli istituti di ricerca hanno mostrato enorme interesse e partecipazione, considerando anche la rilevanza internazionale del parco di apparecchiature sperimentali presenti in ENEA: reattore TAPIRO per dati nucleari, impianti CIRCE, NACIE e HELENA per termoidraulica e qualifica componenti, impianti LECOR e GIORDI per prove materiali in piombo, impianto LIFUS5 e CIRCE-SGTR per prove di sicurezza, infrastrutture SIET a supporto degli SMR.

L'obiettivo principale del presente piano è quindi il supporto alle attività di ricerca e sviluppo finalizzate alla costruzione del reattore dimostrativo a piombo, di concezione ENEA-ANSALDO, denominato ALFRED, e allo sviluppo concettuale e tecnologico di un SMR veloce.

Come nel precedente piano, sono state individuate tre macro aree di intervento, tutte afferenti allo sviluppo dei reattori di IV generazione e dei sistemi SMR refrigerati a piombo, che rappresentano altrettanti ambiti di criticità per ALFRED.

La prima macro area di intervento è denominata "PROGETTAZIONE DI SISTEMA ED ANALISI DI SICUREZZA". Il progetto di un sistema LFR di grande o di piccola taglia (ALFRED, SMR), deve rispondere ai tre requisiti fondamentali di sicurezza, sostenibilità ed economicità affinché esso possa essere accettato ed attuato.

La seconda macro area ("SVILUPPO MATERIALI E CHIMICA DEL REFRIGERANTE") ha un carattere decisamente tecnologico. E' principalmente dedicata ad esplorare l'applicabilità di differenti tecnologie di protezione dei materiali alla realizzazione di guaine di combustibile per reattori refrigerati a piombo. Si tratta di tecnologie sviluppate da centri di ricerca italiani che verranno applicate e qualificate sperimentalmente in condizioni simili a quelle operative. Saranno inoltre avviati studi di caratterizzazione in piombo su acciai austenitici innovativi (DS-SS, *double stabilized stainless steel*), che risultano molto promettenti in termini di resistenza al creep termico e neutronico, e al rigonfiamento neutronico. Verranno infine realizzate prove di compatibilità in piombo fluente negli impianti LECOR e HELENA per la caratterizzazione di coating e materiali strutturali.

La terza macro area, denominata "TERMOIDRAULICA DEL REFRIGERANTE" ha carattere teorico-sperimentale e viene condotta con gli impianti di prova (NACIE, CIRCE, HELENA) del centro Brasimone. Le attività si articolano su: preparazione delle esperienze, conduzione delle prove, analisi numerica dei risultati, messa a punto e accoppiamento dei metodi di calcolo.

a. Progettazione di sistema e analisi di sicurezza

a.1 Progettazione nocciolo LFR

Prendendo a riferimento la configurazione del nocciolo di ALFRED riveduta ed analizzata nell'ambito del precedente piano triennale dell'Accordo di Programma, si intende estendere lo studio all'analisi di fenomeni locali di perturbazioni occorse durante il normale funzionamento di impianto (ad esempio: estrazione spuria della barra di controllo con maggiore importanza).

Modificando i modelli di analisi così da riprodurre fedelmente la configurazione alterata del sistema, saranno effettuate analisi neutroniche per dedurre l'impatto sia sull'intero nocciolo (in termini di reattività globale), sia sugli elementi di combustibile adiacenti alla posizione ove la perturbazione ha avuto luogo (in termini di potenza espressa da questi).

Le informazioni ricavate dall'analisi neutronica saranno dunque utilizzate in primo luogo per saggiare la capacità del sistema di protezione del reattore di osservarle e dunque di intervenire (con l'affidabilità richiesta per evitare falsi positivi, dunque arresti spuri del sistema); quindi, saranno effettuate analisi

termoidrauliche sugli elementi che hanno subito le maggiori alterazioni tanto in termini assoluti che relativi (qualora questi effetti dovessero manifestarsi su due elementi differenti).

Scopo ultimo dello studio è pertanto la valutazione delle nuove condizioni termiche degli elementi di combustibile al fine di verificare il rispetto dei limiti di sicurezza anche nella nuova configurazione perturbata, o la protezione degli elementi per intervento del sistema di protezione del reattore prima del raggiungimento del limite assunto.

Un altro task a supporto della progettazione del nocciolo dei sistemi nucleari veloci refrigerati a piombo riguarderà l'analisi dell'incertezza di dati nucleari su parametri integrali.

La valutazione della confidenza dei principali parametri di progettazione neutronica e termoidraulica di nocciolo – legata alle incertezze che intrinsecamente affliggono i dati nucleari e che vengono dunque propagate fino ai parametri integrali di interesse ingegneristico – è uno dei passaggi chiave per l'assestamento di un progetto, essendo proprio questo tipo di analisi a consentire di ricavare un valore affidabile per i margini ingegneristici di sicurezza.

In vista di procedere con l'applicazione di queste metodologie di analisi al caso del reattore ALFRED, si richiede, preliminarmente, un affinamento delle tecniche e degli strumenti di analisi, nonché una qualifica delle procedure e delle sensibilità dispiagate dagli esperti nell'implementazione dei modelli e nell'esecuzione delle valutazioni. Investigando, in un contesto internazionale, l'approccio più opportuno per perseguire questo affinamento, si è considerato strategico partecipare al benchmark proposto in seno all'Agenzia per l'Energia Nucleare (AEN) dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), orientato proprio alla valutazione dell'impatto delle incertezze dei dati nucleari – con particolare riguardo a quelle dei dati nucleari relativi agli attinidi minori – su parametri integrali di nocciolo, avendo come riferimento comune per lo studio un Sodium Fast Reactor (SFR) da 1200 MW(th) operato come bruciatore di attinidi minori. Tale riferimento è stato scelto sulla base del fatto che, in un reattore veloce refrigerato a sodio, alcuni parametri cinetici e di sicurezza critici (come l'effetto di vuoto, sopra tutti) – che già, dunque, richiederebbero una conoscenza il più possibile precisa dell'effetto della propagazione delle incertezze – sono sensibilmente deteriorati dall'introduzione di attinidi minori nel combustibile: una precisa valutazione del grado di affidabilità della stima di tali parametri consentirebbe infatti di individuare valori precisi per i margini di sicurezza, evitando così di incorrere nelle due possibili alternative di una loro sottostima, a scapito della sicurezza, o sovrastima, a scapito dell'economicità del sistema.

Nel dettaglio, per lo svolgimento del benchmark si procederà alla modellazione, e successiva analisi, del sistema SFR di riferimento con strumenti di analisi che consentano di evidenziare tutte le proprietà di sensibilità del progetto ai dati nucleari. Quindi, facendo riferimento a librerie di incertezze di dati nucleari, e di correlazione delle stesse, sarà effettuata una analisi di propagazione fino ai parametri integrali.

Un altro aspetto cruciale della progettazione di nocciolo, con particolare riferimento a sistemi veloci refrigerati a piombo è la validazione degli strumenti di analisi utilizzati per la caratterizzazione delle configurazioni oggetto di studio.

Se, da un lato, attività di validazione delle metodologie e dei codici di analisi termoidraulica di elemento sono state effettuate ampiamente in passato, è al momento scarsa l'analoga attività relativa agli strumenti di analisi neutronica. Per questo motivo si rende essenziale procedere, nella presente annualità, ad una campagna di modellazione e analisi di esperienze rappresentative (quali le prove effettuate nei due reattori a potenza zero VENUS-F e LR-0): dal confronto tra i risultati analitici e quelli sperimentali, si dedurranno informazioni relative alle procedure e agli accorgimenti di modellazione più idonei a riprodurre i risultati sperimentali, che consentiranno di definire i criteri più efficaci per l'applicazione di strumenti di analisi neutronica al progetto e alla verifica di nocciolo di sistemi LFR.

Al tempo stesso saranno dedotte informazioni fondamentali circa l'affidabilità dei risultati ottenibili dall'impiego di tali codici rispetto a sistemi reali, supportando il processo decisionale del progettista.

Risultati/Deliverable

- LP2.a1.a Tridimensional analysis of local perturbations on the core reactivity and the thermal/hydraulics of the fuel elements
- LP2.a1.b ENEA results of the OECD/NEA Benchmark for nuclear data uncertainties propagation

LP2.a1.c Results of the validation campaign of neutronic codes and recommendations for the correct application to LFR systems

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2015 -settembre 2016

a.2 Dati nucleari e supporto alla progettazione

Nell'ambito del "NEA Expert Group on Integral Experiments for Minor Actinide Management", cui ENEA partecipa, è in corso un'analisi di fattibilità di una campagna sperimentale di irraggiamento di Attinidi Minori (AM) da condursi nel reattore sorgente veloce TAPIRO.

Tali dati sono di enorme valenza per la progettazione neutronica di un sistema nucleare veloce.

Propedeutica alla fase di irraggiamento degli AM sarà una campagna sperimentale di caratterizzazione neutronica del TAPIRO nel suo stato attuale. Nel corso di tale campagna preliminare saranno studiati, fra l'altro, metodi di aggiustamento di dati nucleari finalizzati al miglioramento delle librerie base di sezioni d'urto sulla base delle informazioni provenienti da misure integrali. In tali metodi lo scopo è raggiunto mediante un trattamento appropriato dei dati sperimentali associati alle corrispondenti matrici di varianza e covarianza. Il formalismo di aggiustamento richiede inoltre l'elaborazione di matrici di sensitività di parametri integrali ai dati nucleari. Queste matrici sono ottenute usualmente mediante un approccio perturbativo.

Il lavoro da svolgere nel presente PAR sarà focalizzato sull'analisi e sulla valutazione del formalismo di aggiustamento, oltre che sullo studio di possibili applicazioni in vista delle campagne sperimentali in TAPIRO, quali l'applicazione di particolari valutazioni alla ottimizzazione degli esperimenti in un'ottica di miglioramento di specifici importanti dati nucleari.

Relativamente allo sviluppo della metodologia perturbativa HGBT-BU applicata ai sistemi LFR, l'attività proposta riguarda l'analisi di sensitività nel campo non-lineare neutroni/nuclidi relativo ai reattori veloci di IV generazione, con particolare riferimento al reattore refrigerato a piombo ALFRED.

Per l'analisi si utilizzerà la metodologia perturbativa HGPT-BU implementata nel codice ERANOS. In particolare, verranno svolte analisi dettagliate in relazione a:

- quantità di elementi specifici alla fine del ciclo di vita del reattore;
- coefficienti di reattività (per es., effetto Doppler ed effetto di vuoto del refrigerante) durante il burn-up;
- reattività residua al termine del ciclo di vita del reattore;
- dose a lunghissimo termine associata ai prodotti di fissione a lunghissima vita (iodio-129 e tecnezio-99) e alle tracce residue di attinidi minori.

I parametri da analizzare possono riguardare, inoltre, la composizione isotopica iniziale del combustibile ed i dati nucleari.

E' prevista un'analisi dell'errore delle quantità integrali menzionate sulla base delle incertezze dei dati fisici di base. Ciò consentirà in particolare di mettere in rilievo eventuali carenze dei dati stessi.

Risultati/Deliverable

LP2.a2.a Assessment of a cross section adjustment formalism using experimental data from the TAPIRO reactor

LP2.a2.b Rapporto sulla metodologia perturbativa HGPT-BU applicata all'analisi del reattore ALFRED.

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.3 Analisi di sicurezza

Nell'ambito dell'analisi di sicurezza di sistemi veloci refrigerati a metallo liquido, un ruolo fondamentale è giocato dall'analisi numerica del comportamento del combustibile nucleare.

Nel precedente piano triennale, in relazione alle linee di ricerca sulla sicurezza dei reattori veloci di IV generazione raffreddati a piombo svolte a supporto alla progettazione del combustibile nucleare, si è svolto quanto segue.

1. Sviluppo e aggiornamento dei modelli del codice europeo di fuel pin performance, TRANSURANUS, al fine di migliorarne la capacità per le analisi di combustibile proposte per i reattori veloci a piombo.
2. Validazione dei modelli del codice attraverso il confronto con dati sperimentali.
3. Modellazione e analisi termo-meccanica delle barrette di combustibile adottate nel reattore a piombo scelto come riferimento (ALFRED - Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator), al fine di ottimizzarne il design e le caratteristiche di sicurezza.

Nell'ambito di queste attività è stata evidenziata la necessità di effettuare alcuni aggiornamenti al codice relativamente alla formazione e al rilascio di gas di fissione durante la fase di irradiazione e i transitori (e.g. rampe di potenza).

Pertanto, per il PAR 2015, si propongono attività focalizzate su questi fenomeni come di seguito riportate:

- l'aggiornamento del modello inter-granulare dei gas di fissione, per il trattamento del rilascio dovuto al micro-cracking al bordo dei grani (burst release model). Questa attività prevede anche la validazione a fronte di dati sperimentali del OECD/NEA IFPE database;
- lo sviluppo/aggiornamento di un modello preliminare per la diffusione intra-granulare dei gas di fissione, che sia accoppiato con i meccanismi di "trapping" e "resolution" durante i transitori. Il trattamento di questo problema in condizioni dipendenti dal tempo richiederà lo sviluppo di un algoritmo dedicato;
- lo sviluppo/aggiornamento di un modello preliminare per i gas di fissione nelle High Burnup Structure (HBS).

Per quanto riguarda lo sviluppo e validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione, nell'ambito del precedente piano sono stati messi a punto e qualificati dei modelli numerici per le analisi di sicurezza di un reattore veloce refrigerato a metallo liquido (i.e. reattore EBR-II):

- un modello termoidraulico tridimensionale qualificato per il codice di sistema RELAP5-3D©,
- un modello del canale sperimentale XX09 con il codice ANSYS CFX per fare valutazioni di dettaglio sulla distribuzione di temperatura all'interno del fuel assembly,
- un modello Monte Carlo (MCNP), per il calcolo dei parametri nucleari e della distribuzione di potenza, e
- un modello per il codice deterministico di cinetica neutronica in transient (i.e. INL PHYSICS).

La disponibilità di questi modelli consentirà di poter affrontare la simulazione dell'esperimento SHRT45r (un-protected loss of flow) nel quale l'andamento di temperatura è determinato dai coefficienti di reattività del core del reattore.

Pertanto, per l'anno 2015, si propongono le seguenti attività:

- finalizzazione dell'attività sul reattore EBR-II, attraverso la simulazione termoidraulica / neutronica del test SHRT-45r (unprotected loss of flow).

Per quanto riguarda lo sviluppo del codice di multifisica FRENETIC, sviluppato nel precedente piano per analisi di sicurezza, le attività previste per il PAR2015 hanno l'obiettivo di ampliare le capacità del codice di modellare diversi fenomeni fisici e quello di proseguire le attività di convalida, nonché l'applicazione del codice al reattore ALFRED.

In merito al modulo neutronico, è prevista l'implementazione di una metodologia per modellare le espansioni termiche, in tal modo consentendo di tener conto delle controreazioni dovute a questo effetto. Inoltre, è previsto l'implementazione di un modello per descrivere il flusso fotonico, il quale permette di considerare il contributo dei fotoni al calore totale depositato nel nocciolo del reattore. Entrambi questi modelli devono essere compatibili con l'approccio spazio-temporale all'analisi neutronica proposto da FRENETIC.

Nell'ambito della partecipazione al progetto di ricerca coordinato da IAEA, il modulo termoidraulico (individualmente) ed il codice (complessivamente) verranno convalidati attraverso il confronto dei risultati

con i dati sperimentali misurati in due transitori dell'Experimental Breeder Reactor-II (EBR-II) dell'Argonne National Laboratory.

Infine, si prevede di procedere all'applicazione del codice all'analisi di transitori del reattore ALFRED, auspicabilmente sulla base di input da ANSALDO/ENEA.

Per quanto attiene agli studi di flow blockage, e in sinergia con il progetto europeo H2020 SESAME, è in fase di design una nuova sezione di prova (BFPS) FPS con griglia spaziatrice. Tale sezione di prova è un mock-up di ALFRED FA-19 pin e quindi servirà per la caratterizzazione termoidraulica e dello scambio termico nei sottocanali del FA del dimostratore al piombo ALFRED.

La nuova sezione è stata definita in collaborazione con ANSALDO NUCLEARE e avrà anche il compito di investigare l'effetto termico del bloccaggio di sottocanali del FPS. I valori di diametro, passo su diametro, flusso termico della sezione di prova sono rappresentativi del FA di ALFRED. La sezione di prova è destinata ad essere installata su NACIE-UP dove si prevedono portate con velocità di sottocanale prossime a quelle nominali di ALFRED FA.

Al fine di individuare i corretti tipi di bloccaggio e di piazzare opportunamente la strumentazione, verrà eseguito uno studio di pre-test attraverso modelli CFD di casi di bloccaggio interno. Tali studi porteranno come conclusione alla definizione completa della strumentazione della sezione di prova ed alla definizione di una matrice di test sperimentali che dia informazioni senza che sia distruttiva per la sezione di prova stessa.

Relativamente allo sviluppo di strumentazione neutronica per nocciolo LFR, quella commercialmente disponibile orientata al possibile impiego in-core in ALFRED ha mostrato le seguenti criticità:

- le camere a fissione devono essere inserite allo start-up e rimosse al raggiungimento del 10% della potenza nominale;
- i SPND (self-powered neutron detector) possono monitorare adeguatamente e con continuità il regime di potenza nominale del reattore ed essere installati in configurazione fissa negli elementi di combustibile e riflettori.

Lo scarso impiego degli SPND-pronti come strumentazione di controllo per flussi neutronici veloci suggerisce la necessità di approfondire il loro studio, vista la possibile mancanza di una strumentazione adeguata a seguire il regime di potenza nominale.

Nuove geometrie, nuovi materiali e nuove configurazioni possono essere studiate al fine di concepire modelli ottimizzati.

Prototipi innovativi potranno pertanto essere costruiti e testati nei flussi veloci del reattore TAPIRO, al fine di confermare sperimentalmente le caratteristiche di sensibilità previste da progetto.

La prova sperimentale richiede l'esecuzione di una rampa di potenza in salita e una in discesa, realizzando l'escursione massima possibile, dalla potenza '0' alla potenza nominale e viceversa. È richiesta una registrazione in continuo dei segnali ricavati per post-processing dei dati e, in parallelo, la registrazione del profilo di variazione della potenza con il tempo.

I tempi di prova sono vincolati dal reattore e dalla pendenza delle rampe di variazione della potenza: le prove proposte non sono prove di irraggiamento, nel senso che l'obiettivo non è raggiungere una soglia di fluenza, bensì limitarsi a registrare i segnali corrispondenti alle variazioni di potenza, così da verificare le prestazioni previste a progetto.

Si prevede quindi nel reattore TAPIRO

- misura del minimo valore di corrente rivelabile;
- misura della sensibilità ai neutroni;
- misura della sensibilità gamma.

E' prevista quindi una fase di prototipazione dello strumento con allestimento di una catena elettronica di acquisizione del segnale, e successivamente la definizione di una procedura sperimentale dettagliata per la successiva sperimentazione in TAPIRO.

Risultati/Deliverable:

- LP2.a3.a Advancement in FGR modeling for transient analysis of FR fuel
- LP2.a3.b Post-test analysis of SHRT45r transient performed on the EBR-II FR
- LP2.a3.c Advances in the development of the code FRENETIC for the coupled dynamics of lead-cooled reactors
- LP2.a3.d Pre-test CFD analysis of the Blockage Fuel Pin Simulator (BFPS) test section for the NACIE-UP facility
- LP2a3.e Progettazione di SPND innovativi ottimizzati per la misura di flussi neutronici veloci e procedura sperimentale per prove di irraggiamento

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

a.4 Simulazione dell'interazione tra refrigerante, fuel e prodotti di fissione in sistemi LFR

Nell'ambito dello studio dell'interazione chimica tra fuel, coolant e prodotti di fissione per lo sviluppo di reattori veloci di IV generazione refrigerati a piombo (LFR), si propone di studiare, con un approccio combinato teorico-sperimentale, le conseguenze di un evento di fessurazione della guaina che porta al contatto tra combustibile e refrigerante. In continuità con quanto fatto nel precedente piano, si continuerà lo studio dei possibili composti che si potrebbero formare dall'interazione chimica del fuel irraggiato con il Pb nelle condizioni di temperatura e pressione operative tipiche dei reattori in oggetto, sia da un punto di vista teorico che sperimentale.

Verranno determinati sperimentalmente mediante diverse tecniche di analisi termica (Calorimetria a scansione differenziale, analisi termo gravimetrica, ecc) i parametri termodinamici di composti di Pb con isotopi stabili dei principali prodotti di fissione e confrontati con i corrispondenti parametri stimati mediante metodi semiempirici o mediante informazioni derivanti da simulazioni DFT, con l'obiettivo di validare un approccio teorico da utilizzarsi su composti attinoidi per i quali la sperimentazione è complessa e molto costosa.

Le prove sperimentali in piombo fuso saranno dunque effettuate con sostanze chimiche in grado di riprodurre il comportamento chimico-fisico di elementi e composti presenti nel combustibile nucleare irraggiato.

Le simulazioni verranno condotte sfruttando la teoria del funzionale di densità implementata in codici quali Gaussian09 e VASP (Vienna Ab-initio Simulation Package) ed avvalendosi del supporto del centro di supercalcolo CINECA. Verranno effettuate anche analisi in diffrazione a raggi X dalle quali sarà possibile ricavare parametri di reticolo, utili per l'identificazione delle fasi, per confronto con dati riportati in letteratura, e per la validazione degli approcci teorici. Le proprietà termodinamiche così determinate verranno quindi utilizzate per effettuare e successivamente ottimizzare l'analisi termodinamica del sistema fuel-coolant all'equilibrio. Tale studio verrà condotto sfruttando codici basati sulla minimizzazione dell'energia libera di Gibbs.

Un analogo approccio teorico-sperimentale verrà seguito nella valutazione della solubilità di elementi e composti presenti nel fuel o eventualmente formati in seguito ad interazione fuel-coolant, nonché di fenomeni di diffusione al fine di stabilire se questi possano avere effetti sulla sicurezza di questo tipo di reattori. A tale fine verranno realizzati esperimenti ad hoc per studiare la zona di reazione tra piombo ed elemento di interesse mediante analisi SEM-EDX o altra tecnica di caratterizzazione superficiale.

Risultati/Deliverable

- LP2.a4.a Studio delle interazioni tra combustibile, prodotti di fissione, e refrigerante in sistemi LFR

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Materiale e Fabbricazioni

b.1 Qualifica, modellizzazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR

Le attività sono suddivise nei seguenti task.

1. Sviluppo di ricoperture a base FeCrAl per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo.

Sulla base dei risultati conseguiti nelle precedenti annualità, le attività di R&D saranno focalizzate sull'ottimizzazione dei processi di deposizione CVD per pack cementation e thermal spray sui substrati P91, 15-15 Ti e AISI 316L considerandone l'applicazione ai componenti reali in un contesto produttivo:

- verranno messi a punto i parametri di deposizione e/o di mascherature al fine di ottimizzare un protocollo da esportare su scala industriale per il rivestimento di simulacri e manufatti,
- verrà quindi investigato l'effetto di trattamenti termici post deposizione e/o messa a punto dei parametri di opportuni trattamenti termici post deposizione necessari per il ripristino delle proprietà microstrutturali e meccaniche del substrato,
- verranno infine messi a punto i parametri delle lavorazioni meccaniche pre e post deposizione per l'ottenimento di particolari proprietà superficiali e tolleranze.

Verranno prodotti provini che verranno sottoposti a testing.

2. Sviluppo di ricoperture per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo mediante tecniche di ablazione laser.

Riguardo alla linea di sviluppo di rivestimenti compositi Al₂O₃ amorfa/nanocristallina mediante tecniche di deposizione per ablazione laser (PLD):

- si provvederà, impiegando l'equipaggiamento ed i protocolli messi a punto negli anni precedenti a realizzare campioni cilindrici per effettuare prove di creep su tubi pressurizzati,
- verranno quindi effettuate prove di corrosione in Pb fluente a diversi tempi di esposizione (anche tempi lunghi, e a temperature e tenori di ossigeno variabili),
- verranno infine effettuate prove di corrosione in piombo liquido stagnante ad alta temperatura (800°).

3. Caratterizzazione meccanica e mediante irraggiamento di materiali strutturali ricoperti per applicazioni nucleari.

A supporto delle attività di sintesi, i campioni rivestiti prodotti durante la campagna sperimentale saranno sottoposti a testing per verificarne le proprietà meccaniche, di adesione al substrato e le caratteristiche microstrutturali per mezzo di.

- prove di flessione,
- trattamenti termici ciclici,
- caratterizzazioni per micro e nano indentazione,
- caratterizzazione microstrutturali per diffrazione di raggi X,
- caratterizzazione microstrutturale al microscopio elettronico a scansione ed in trasmissione,
- analisi elementare per spettroscopia a dispersione di energia.

Inoltre, al fine di ottenere informazioni circa il comportamento sotto irraggiamento neutronico dei rivestimenti basati su leghe FeCrAl, prodotti con tecniche PVD e CVD, e dei rivestimenti compositi Al₂O₃ amorfa/nanocristallina depositi per ablazione laser, continuerà la campagna di irraggiamenti con ioni pesanti cominciata nelle annualità precedenti e volta a verificare la stabilità dimensionale, microstrutturale e la conservazione delle proprietà di adesione al substrato. I campioni rivestiti verranno irraggiati variando energia, parametri di impatto, dose, rateo di dose e temperatura. I materiali irraggiati saranno quindi sottoposti a caratterizzazione per micro/nanoindentazione e caratterizzazione microstrutturale per microscopia ottica ed elettronica.

4. Prove di CREEP-RUPTURE su materiali strutturali ricoperti per applicazioni in sistemi refrigerati a metallo liquido pesante.

Ad integrazione delle attività di caratterizzazione di materiali strutturali ricoperti, verranno continuate le prove termomeccaniche a lungo termine di "CREEP-RUPTURE" su provini rivestiti, simulando le condizioni operative tipiche del sistema LFR.

Nello specifico saranno testati campioni di lega grade 91 ricoperti con nitrato di titanio Arc-PVD e campioni di lega 316 SS ricoperti con tantalio per chemical vapour deposition. I campioni ricoperti e quelli vergini, per confronto, verranno testati a creep sia in piombo che in aria. Il tenore di ossigeno disciolto nel piombo fuso sarà rigorosamente controllato.

5. Caratterizzazione delle proprietà meccaniche, di corrosione in piombo e di swelling dell' acciaio doppio stabilizzato DS4.

In continuità con le attività svolte nel corso dello scorso triennio di accordo di programma sullo sviluppo della lega austenitica doppio-stabilizzata DS4, si procederà, dopo la produzione della lega, con la caratterizzazione dei lotti prodotti:

- verrà portato a termine lo studio delle proprietà a trazione e l'analisi microstrutturale della lega,
- verrà portata avanti la caratterizzazione a creep in aria del materiale,
- verranno continuate le prove di irraggiamento con ioni pesanti.

6. Caratterizzazione e modelling dei processi di ossidazione in metallo liquido pesante.

Continuerà la campagna sperimentale di caratterizzazione di materiali strutturali ricoperti in piombo stagnante presso il laboratorio della chimica del piombo del CR Brasimone.

Si provvederà a studiare il comportamento a corrosione in piombo liquido sia degli acciai substrato (15-15Ti, AISI 316L e T91) che delle varie tipologie di coating sintetizzate, per valutarne l' idoneità come barriera anticorrosione in metallo liquido pesante. Negli anni precedenti sono stati ottenuti primi risultati riguardanti l'acciaio 15-15Ti(Si) ed i rivestimenti in nitrato di titanio ottenuti per Arc PVD in piombo liquido statico a 550°C, in condizioni di saturazione di ossigeno e per 2000 ore.

Per il PAR 2015 l'attività sperimentale proseguirà studiando nuovi coatings e ponendo particolare attenzione allo studio nelle condizioni di basso ossigeno disciolto, di particolare interesse per la realizzazione del dimostratore ALFRED.

Verranno svolte prove di corrosione in piombo statico al variare del contenuto di ossigeno disciolto e del tempo di esposizione dei coating basati su leghe FeCrAl ottenuti mediante pack cementation e FeCrAlY ottenute per plasma spray.

Inoltre ci si pone l'obiettivo di approfondire le attuali conoscenze sui meccanismi di ossidazione degli acciai in piombo fuso. Una ossidazione superficiale controllata (denominata Active Oxygen Control, AOC), ottenuta mantenendo una bassa concentrazione di ossigeno nel metallo fuso, ha dimostrato essere un mezzo efficace per promuovere la formazione di un film di ossido autorigenerante sulla superficie degli acciai, riducendo così i processi di degrado.

D'altra parte è stato dimostrato che a temperature al di sopra dei 450 ~ 500°C, a seconda dell' acciaio considerato e dalle condizioni sperimentali, la tecnica non è efficace e si osservano gravi attacchi di corrosione. Lo sviluppo di uno strato di ossido ricco in cromo sulla superficie dell'acciaio, che funge da barriera fisica per ulteriore ossidazione in molti ambienti, non è efficace in HLM ad alta temperatura. L'analisi di una gran mole di dati sperimentali individua la causa dell'instaurarsi di processi ossidativi distruttivi nell'aumento della diffusività dell'ossigeno attraverso lo strato ossidato, il cui meccanismo non è ancora compreso. Una linea di ricerca che ha ricevuto poca o nessuna attenzione dalla comunità scientifica è che i processi di ossidazione osservati ad alte temperature in metallo liquido pesante possano essere associati all'interazione chimica degli acciai col metallo liquido con la formazione di ossidi complessi. La formazione di ossidi difettivi, permeabili all'ossigeno, o composti basso-fondenti, possono spiegare la permeabilità all'ossigeno ed i processi ossidativi osservati.

La verifica di questa ipotesi richiede una caratterizzazione accurata della composizione e della struttura dello strato ossidato su scala microscopica per l'individuazione delle fasi presenti, la loro struttura, composizione e distribuzione spaziale.

Per questo, campioni di acciaio grade 91 e AISI 316L, verranno sottoposti a prove di corrosione in piombo statico al variare del contenuto di ossigeno disciolto, temperatura e tempo di esposizione e saranno caratterizzati per microscopia elettronica in trasmissione e scansione, diffrazione di raggi x, spettroscopia Raman e spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente.

Ad integrazione e supporto dell'attività sperimentale, si provvederà alla determinazione mediante metodi computazionali delle grandezze termodinamiche e strutturali relative agli ossidi misti del piombo coi costituenti dell'acciaio. Lo studio teorico sarà volto alla valutazione della composizione di equilibrio, stabilità termodinamica e proprietà di trasporto dell'ossigeno dei composti del sistema in studio.

Risultati/Deliverable:

- LP2.b1.a Sviluppo di ricoperture a base FeCrAl per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo
- LP2.b1.b Sviluppo di ricoperture per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo mediante tecniche di ablazione laser
- LP2.b1.c Report sulla caratterizzazione di rivestimenti mediante prove di irraggiamento con ioni pesanti
- LP2.b1.d Prove di CREEP-RUPTURE su materiali strutturali ricoperti per applicazioni in sistemi refrigerati a metallo liquido pesante
- LP2.b1.e Caratterizzazione delle proprietà meccaniche e di corrosione in piombo liquido dell'acciaio doppio stabilizzato DS4
- LP2.B1.f Caratterizzazione e modelling dei processi di ossidazione in metallo liquido pesante

Principali collaborazioni: CIRTEN, CSM SpA

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante

Gli oxygen getters sono elementi metallici fortemente affini all'ossigeno, in grado di ossidarsi rapidamente sequestrando l'ossigeno da un determinato ambiente di lavoro. In virtù di questa caratteristica, tali elementi vengono comunemente impiegati per la purificazione dall'ossigeno di gas ad alta temperatura contenenti piccole quantità di ossigeno come impurezza.

Nell'ambito del PT 2015-2017, il Laboratorio di Chimica del Piombo RACHEL del C.R. ENEA Brasimone si prefigge di studiare sperimentalmente l'efficacia di elementi metallici come oxygen getters per piombo liquido, cioè come additivi in grado di purificare il metallo liquido dall'eccesso di ossigeno disciolto e mantenere l'ossigeno a basse concentrazioni.

L'attività è di notevole importanza nel contesto della problematica del controllo dell'ossigeno in piombo liquido, essendo quest'ultimo un punto centrale per lo sviluppo dei reattori nucleari di IV generazione raffreddati a piombo.

Gli elementi metallici scelti per lo studio sono magnesio, tantalio, titanio e zirconio. I primi due elementi sono scelti in quanto, secondo la letteratura, sono fortemente inclini all'ossidazione ad alta temperatura. Il terzo e il quarto elemento sono scelti in quanto anch'essi inclini all'ossidazione e caldo e in quanto già tipicamente utilizzati come oxygen getters per ambienti gassosi. Tra questi, il magnesio è già stato impiegato in passato come oxygen getter per piombo liquido all'interno di impianti sperimentali a loop (es. impianto LECOR del C.R. Brasimone).

Nella prima annualità del piano triennale (2015-2016), lo studio sperimentale sarà focalizzato sullo screening test in piombo liquido degli elementi Mg, Ta, Ti e Zr al fine di individuare tra questi l'elemento con maggior efficacia nel condizionare il piombo liquido a basso contenuto di ossigeno. La prova verrà effettuata immergendo gli elementi metallici in piombo liquido all'interno di apposite capsule sperimentali già in dotazione. L'efficacia degli elementi selezionati verrà valutata monitorando durante il corso della prova la variazione di concentrazione di ossigeno in piombo con sensori di ossigeno specifici per la determinazione in metallo liquido. Gli elementi metallici presenteranno forma e dimensioni tra loro uguali, in particolare gli elementi saranno sotto forma di filo e saranno fissati a un tubo di allumina da immergere in piombo.

L'elemento metallico che durante lo screening test nelle capsule si sarà dimostrato più efficace nel purificare il metallo liquido dall'ossigeno verrà testato nelle successive annualità (2016-2017) in un impianto sperimentale a piscina appositamente disegnato per lo studio del controllo dell'ossigeno in piombo liquido. Per quanto riguarda quest'ultima prova sperimentale, verrà utilizzato un oxygen getter con forma e dimensione tali da massimizzare l'area superficiale di contatto con il piombo (ad es. spugnette metalliche) al fine di garantire una maggiore efficacia chimica. In aggiunta, verranno utilizzate apposite cartucce a maglia fine in acciaio inox quali supporto per l'immersione dell'oxygen getter nel piombo liquido. Il supporto a cartuccia è fondamentale per ovviare al problema del galleggiamento degli elementi metallici (dovuta alla minore densità rispetto al piombo) e per trattenere i prodotti di ossidazione al suo interno.

Tali studi saranno effettuati anche mediante l'impianto BID-ONE che sarà concettualizzato durante il PAR2015, e la cui costruzione verrà avviata nell'ambito del medesimo piano annuale per renderlo pienamente operativo per le attività oggetto del presente task.

Per quanto riguarda il controllo dell'ossigeno nei sistemi a metallo liquido pesante, nell'ambito del piano triennale 2015-2017 il Laboratorio di Chimica del Piombo RACHEL svilupperà ed implementerà un sistema di controllo dell'ossigeno in piombo e piombo-bismuto per impianti a loop situati presso il C.R. Brasimone (HELENA; NACIE-UP, LECOR). L'obiettivo è quello di esercire gli impianti con metallo liquido a bassa concentrazione di ossigeno (10^{-6} – 10^{-8} % in peso) o eventualmente mantenere costante la concentrazione di ossigeno durante l'esercizio degli impianti. Ciò è fondamentale per garantire una buona fluidodinamica del metallo liquido circolante nell'impianto, in quanto l'ossigeno, se presente in elevate concentrazioni, può portare alla formazione di ossidi di piombo e ostruire le strutture del circuito. L'attività è inoltre di fondamentale importanza nel contesto della tematica del controllo dell'ossigeno in piombo e piombo-bismuto per lo sviluppo dei reattori nucleari operanti a piombo.

Il sistema di controllo dell'ossigeno da implementare includerà il monitoraggio della concentrazione di ossigeno nel metallo liquido. Il monitoraggio verrà eseguito mediante sensori ceramici per l'ossigeno specifici per la determinazione dell'ossigeno in metallo liquido. A questo scopo, sensori per l'ossigeno verranno fabbricati con differenti caratteristiche (es. diverso elettrodo interno di riferimento e diversa struttura protettiva in acciaio) in modo da poter operare sia in metallo liquido fluente nell'impianto sia in condizioni statiche durante lo stoccaggio in serbatoio. Il controllo dell'ossigeno a bassa concentrazione verrà effettuato mediante impiego di una miscela gassosa deossigenante Ar/H₂. La miscela verrà utilizzata sia per il condizionamento del metallo liquido nel serbatoio di stoccaggio sia per il successivo mantenimento a basso ossigeno nell'impianto in esercizio (es. iniezione nel vaso di espansione).

Per la prima annualità del piano triennale, l'attività di lavoro sarà incentrata sulla fabbricazione di sensori di ossigeno in ceramica per gli impianti e relativi serbatoi di stoccaggio.

Un sensore di ossigeno per metallo liquido è costituito da un elettrolita in ceramica conduttivo per l'ossigeno (zirconia stabilizzata) e da un elettrodo interno di riferimento. L'applicazione pratica prevede l'utilizzo di un tubo chiuso ad una estremità in zirconia e di un sistema elettrodico di riferimento contenuto all'interno del tubo. I parametri che influenzano le performance dei sensori di ossigeno in metallo liquido sono molteplici: conducibilità ionica dell'elemento ceramico, resistenza meccanica e allo shock termico della ceramica, conducibilità elettrica del sistema di riferimento, etc.. Tra questi, l'ultimo parametro risulta molto importante in quanto determina la temperatura minima di lettura del sensore nel metallo liquido. Il valore di temperatura minima per cui si ha una lettura accurata e affidabile è influenzato quindi dal tipo di riferimento interno utilizzato.

Sulla base della temperatura operativa dell'impianto, verranno perciò costruiti sensori per ossigeno con diverse tipologie di elettrodi di riferimento: aria (es. Pt-aria o perovskite-aria) e metallo/metallo ossido (es. Bi/Bi₂O₃ e Cu/Cu₂O). Una volta fabbricati e prima di essere installati sugli impianti, i sensori verranno sottoposti a test di calibrazione in metallo liquido saturo di ossigeno al fine di verificare la concordanza dei valori di lettura con i valori teorici attesi e la loro accuratezza. Notevole importanza avrà la struttura di supporto e protezione in acciaio dei sensori ceramici in quanto essi dovranno sopportare forti shock termici e sforzo di taglio esercitati dal metallo liquido fluente. La protezione dei sensori verrà garantita da foderi di acciaio per impedire la rottura dell'elemento ceramico.

Oltre alla fabbricazione e ai test dei sensori di ossigeno fabbricati, l'attività relativa al primo anno includerà anche l'acquisto della strumentazione per il controllo dell'ossigeno sugli impianti a loop e prime prove sperimentali nei serbatoi di stoccaggio. La strumentazione comprenderà un generatore di idrogeno e un sistema digitale per il controllo del gas Ar/H₂. La miscela, richiesta per condizionare e mantenere il metallo liquido a bassi valori di ossigeno, verrà infatti prodotta miscelando argon puro da bombola con idrogeno puro prodotto mediante generatore elettrolitico da laboratorio. I due componenti gassosi verranno dosati (in proporzioni da valutare) e controllati mediante sistema digitale.

Nelle successive annualità (2016-2017), si proseguirà con lo studio del controllo dell'ossigeno sia nei serbatoi di stoccaggio che nell'impianto in esercizio.

Risultati/Deliverable:

- LP2.b2.a Studio di elementi metallici come Oxygen Getters per piombo liquido. Implementazione impianto di prova per la chimica del refrigerante BID-ONE
- LP2.b2.b Implementazione di un OCS (Oxygen Control System) per impianti a metallo liquido pesante

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

c. Termoidraulica del refrigerante

c.1 Sperimentazione e modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi

Nell'ambito del precedente piano triennale è stata documentata l'attività svolta per la progettazione, l'approvvigionamento e la strumentazione del sistema secondario di CIRCE, denominato sezione di prova HERO. Questo consentirà l'esecuzione di una prima campagna sperimentale che permetterà di caratterizzare a livello sperimentale le prestazioni del Generatore di Vapore (GV) del DEMO-LFR.

Durante il PAR 2015 si prevede di continuare questa attività completando la preparazione della facility sperimentale e sviluppando apposite nodalizzazioni per codici di calcolo termoidraulici di sistema, basate sulle informazioni disponibili nell'engineering handbook dell'impianto preparato durante il PAR 2014. In particolare, sono previste le seguenti attività:

- la sezione di prova HERO sarà completata e installata nell'impianto CIRCE;
- sarà rivista ed aggiornata la nodalizzazione monodimensionale per il codice RELAP5/Mod3.3;
- sarà sviluppata una nodalizzazione 3D dell'impianto CIRCE per il codice di sistema RELAP5-3D© e qualificata preliminarmente attraverso un confronto code to code delle perdite di carico e dei modelli di scambio termico;
- saranno effettuate scoping analyses a supporto della progettazione dei test sperimentali ed, infine, i calcoli di pre-test.

Uno dei principali problemi di sicurezza del progetto di reattore nucleare refrigerato a metallo liquido è la rottura dei tubi del generatore di vapore. Infatti, tale evento può implicare la propagazione di un'onda di pressione nel vessel principale che può causare, direttamente o indirettamente, il danneggiamento di strutture interne al vessel del primario. In caso di grandi o piccole perdite, il vapore rilasciato dal secondario del reattore, a pressione più elevata, può essere trascinato dal flusso principale verso l'ingresso del core, causando inserzioni di reattività. Un altro aspetto rilevante è il fatto che tale evento potrebbe avere un impatto sul sistema di controllo della chimica del refrigerante primario, compromettendone l'affidabilità ed il buon funzionamento.

Lo sviluppo di un sistema capace di identificare in tempo la presenza di una piccola rottura nel tubo del generatore di vapore, potrebbe essere utilizzata per prevenire il prolungato funzionamento del reattore in caso di piccole perdite, o il degradare della piccola perdita in SGTR: quindi diminuire la probabilità di quello che è, ad oggi, considerato l'incidente di riferimento per la sicurezza del reattore LFR.

Durante l'attività PAR 2014 è stato definito il layout e l'upgrade della facility LIFUS5, attraverso la specifica di fornitura, al fine di poter realizzare un'attività sperimentale che possa consentire la caratterizzazione delle piccole perdite. Nell'ambito del PAR 2015 si propone di:

- completare la costruzione dell'impianto;
- sviluppare ed implementare il sistema di controllo e acquisizione dell'impianto;

A partire dal PT2012-2014 è stato sviluppato un tool di accoppiamento tra codici di sistema e codici CFD RELAP5/FLUENT.

Ad oggi l'interesse della comunità di ricerca internazionale in ambito nucleare per tali applicazioni di calcolo è alto (ad esempio in alcuni progetti HORIZON2020). I risultati ottenuti in tale ambito fino ad oggi hanno dato visibilità al sistema italiano in campo europeo.

Lo strumento sviluppato è stato applicato allo studio di apparecchiature sperimentali a loop (NACIE) mostrando un buon accordo con i dati derivanti da campagne sperimentali.

Nel corso delle attività sono state apportate molte modifiche della metodologia di accoppiamento atte a ridurre il costo computazionale necessario. E' stata inoltre condotta un'applicazione preliminare

semplificata con modello CFD bidimensionale assial-simmetrico rivolta alla simulazione di apparecchiature sperimentali a piscina (CIRCE). L'applicazione ha richiesto modifiche nelle variabili scambiate alle interfacce in modo da garantire la stabilità del calcolo effettuato.

Le simulazioni hanno riprodotto test sperimentali isotermi in circolazione forzata. In particolare tests stazionari con iniezione di gas (gas-lift enhanced circulation) sono stati simulati per diverse portate di gas iniettato ottenendo un buon accordo ($\pm 5\%$) con i dati sperimentali.

Nell'ambito del nuovo accordo di programma PAR2015, si propone di continuare lo sviluppo di tale metodologia di calcolo in modo da ottimizzare il modello finora sviluppato e condurre simulazioni numeriche relative a test non isotermi sull'apparecchiatura a piscina CIRCE con potenza variabile fornita dal Fuel Bundle e eventuale transizione da Full Power a Decay Heat Removal conditions.

E' inoltre necessario sviluppare un modello termoidraulico tridimensionale della pool in modo tale da investigare fenomeni prettamente tridimensionali relativi al mixing e alla stratificazione termica e sviluppare una nodalizzazione RELAP5 della facility sperimentale CIRCE in configurazione HERO in modo da poter effettuare simulazioni numeriche in tale configurazione.

Infine proseguiranno le attività implementate nel precedente triennio, dedicate all'accoppiamento del codice FEM-LCORE (CFD) e CATHARE.

Il codice FEM-LCORE permette di simulare il core di un reattore veloce raffreddato a piombo attraverso il metodo agli elementi finiti e un modello poroso che omogeneizza la complessa geometria degli elementi di combustibile.

Il codice di termoidraulica CATHARE è lo strumento di riferimento europeo per le analisi di sicurezza e il licenziamento degli impianti, ed è stato recentemente sviluppato in modo da supportare i metalli liquidi, in particolare il piombo, come fluido di processo.

L'accoppiamento tra i due codici viene realizzato attraverso la piattaforma di calcolo SALOME, utilizzando le librerie MED e ICoCo che permettono di scambiare dati, campi e proprietà tra i vari codici. In questo modo, le equazioni di bilancio per la massa, quantità di moto ed energia sono accoppiate alle interfacce di separazione tra il dominio 3D del codice CFD e il dominio 1D del codice di termoidraulica attraverso l'utilizzo di uno accoppiamento di tipo "defective boundary", dove il codice 1D viene utilizzato per l'intero dominio, mentre le variazioni derivate dalla simulazione 3D vengono imposte come termini aggiuntivi nelle condizioni al contorno.

La facility TALL-3D, presso il KTH di Stoccolma (Svezia), è una facility sperimentale dedicata alla studio della circolazione di piombo liquido. Recentemente è stata introdotta una sezione tridimensionale in uno dei suoi circuiti proprio con lo scopo di produrre dati sperimentali da confrontare con simulazioni di codici accoppiati CFD/termoidraulica pe i metalli liquidi.

Verrà quindi sviluppato un input deck per il codice CATHARE adattato alla simulazione accoppiata col codice FEM-LCORE e verranno simulati alcuni test della matrice sperimentale della facility TALL-3D.

Risultati/Deliverable:

- LP2.c1.a Installazione della sezione di prova HERO nella facility CIRCE: sviluppo nodalizzazioni e progettazione della campagna sperimentale
- LP2.c1.b Specifica della fornitura del sistema di controllo e acquisizione dell'impianto LIFUS5/Mod3.
- LP2.c1.c Verifica e validazione sull'accoppiamento del codice di sistema RELAP5 e il codice di fluidodinamica computazionale FLUENT applicato su sistemi a piscina
- LP2.c1.d Validazione dell'accoppiamento FEM-LCORE/CATHARE attraverso la simulazione della facility TALL-3D

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.2 Studi sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR

Durante la presente annualità verrà realizzato un upgrade della strumentazione della facility a piombo HELENA, realizzata ed esercita nel precedente piano triennale.

L'impianto HELENA risulta strategico per le attività in ambito fissione/GenIV in quanto ha come fluido di lavoro il piombo puro. In tal senso consente di sviluppare a pieno e studiare la tecnologia relativa al dimostratore a piombo ALFRED. La presenza di una pompa meccanica di circolazione con portate massime di 60 kg/s permette di realizzare test ad elevata portata/velocità sia in ambito termoidraulico (sezioni di prova, FPS, etc.) che in ambito materiali (prove di corrosione). Gli obiettivi della presente annualità consistono nella:

- messa in servizio dell'impianto di ripompaggio metallo liquido dalla baderna della pompa al vaso di espansione;
- coibentazione, test e messa in servizio del circuito secondario ad acqua in pressione compreso di sistema di acquisizione dati e controllo;
- upgrade strumentazione;

Relativamente alla facility NACIE, l'obiettivo del task consiste nell'effettuare test di qualifica del flow meter termico prototipico di ideazione ENEA e realizzazione Thermocoax. In seguito alla qualifica si realizzeranno alcuni transitori PLOFA con sezione di prova MYRRHA-FPS-19 (bundle con filo a 19 pin) al fine di una validazione dei codici accoppiati e di sistema. Inoltre verranno fatti dei test stazionari per la caratterizzazione dell'attuale sezione di prova FPS.

Nella passata annualità era stato definito il design ed il progetto di un flow meter innovativo per metalli liquidi che garantisca buona precisione alle basse portate e basse perdite di carico. Attualmente sul mercato non esiste una tecnologia con queste caratteristiche. Attraverso una collaborazione ENEA/Thermocoax si è realizzato il prototipo che attualmente si trova al C.R. Brasimone.

Lo strumento va però qualificato e provato in vista di un futuro utilizzo e possibile brevetto. Una prima fase di test di qualifica dello strumento verrà fatta in acqua per definire tecniche corrette DACS che fanno parte integrante dello strumento stesso e sono essenziali per il suo corretto funzionamento. In una seconda fase, lo strumento viene montato sulla facility NACIE-UP, calibrato in LBE ed utilizzato per test termoidraulici.

La facility avrà inoltre una serie di migliorie nel campo della strumentazione e corretto esercizio della stessa. In particolare verranno acquisiti trasduttori di pressione assoluti per metallo liquido attualmente in test presso altri impianti e verrà testato un nuovo trasduttore di pressione differenziale montato a cavallo della sezione di prova FPS. Le altre migliorie riguarderanno l'installazione di un filtro in gamba fredda, il miglioramento del sistema di drenaggio/caricamento per la gestione degli ossidi, il miglioramento del sistema di circolazione assistita attraverso il montaggio di uno sparger sulla linea di iniezione gas. Quest'ultima modifica dovrebbe comportare una miglioria delle performance dell'impianto ed allargarne la possibilità di utilizzo. Dove possibile, e come misura di mitigazione sugli ossidi in attesa di un vero e proprio OCS, verrà utilizzato come gas di copertura e di iniezione Ar-H₂ al 3% in modo da limitare la presenza di ossigeno nell'impianto.

E' inoltre prevista una modifica ad un ramo della facility per predisporla all'installazione di opportuna sonda ad ossigeno.

Infine, la facility SOLIDX, oggetto di fornitura nella precedente annualità verrà dotata di apposito sistema di regolazione e controllo. La facility consentirà di raccogliere i primi dati sul congelamento del piombo attraverso una fitta rete di termocoppie.

Lo scopo del task nella presente annualità è di fare il commissioning della facility e realizzare calcoli di pre-test mediante analisi CFD. Verrà dettagliata una matrice di prova. I dati raccolti serviranno per validare in futuro eventuali modelli numerici in appoggio.

In ogni caso, i dati raccolti saranno i primi sulla fenomenologia in piombo.

Risultati/Deliverable:

- | | |
|----------|--|
| LP2.c2.a | Instrumentation upgrade and commissioning tests in the HLM facility HELENA |
| LP2.c2.b | Upgrade and experimental tests in the HLM facility NACIE-UP with a prototypical thermal flow meter |
| LP2.c2.c | Experimental tests in the solidification facility SOLIDX |

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

Nell'ambito dell' AdP ENEA-MiSE, sarà organizzato da ENEA, un Workshop Nazionale ad accesso libero dal titolo "LFR-Gen IV: Stato attuale della tecnologia e prospettive di sviluppo" .

Il Workshop, promosso nell'ambito delle attività inerenti reattori di IV Generazione dell' AdP MiSE-ENEA, e avente scopo divulgativo (target mezzi di stampa, università italiane, industria nazionale) sarà finalizzato a :

- analizzare lo stato attuale della tecnologia dei sistemi LFR partendo dal lavoro svolto in ambito ADP;
- supportare la programmazione delle attività future, definendo le priorità di intervento in ambito italiano ed europeo;
- armonizzazione le strategie di sviluppo mediante l'incontro di tutti gli stakeholder italiani.

Il Workshop assumerà quindi il duplice obiettivo di condividere lo stato dell'arte dei sistemi LFR tra gli stakeholder italiani definendo al contempo, in maniera condivisa e sinergica con il contesto Europeo, le linee di intervento future in ambito LFR.

Nell'ambito del workshop saranno tema di discussione tutte le questioni di maggior rilevanza per la progettazione e implementazione dei sistemi LFR/ADS, spaziando dalla progettazione del nocciolo, al combustibile nucleare, alla componentistica nucleare, alla chimica del refrigerante, alla termoidraulica e all'analisi di sicurezza.

Risultati/Deliverable:

LP2.d Raccolta delle Lecture del Workshop Tematico "LFR-Gen IV: Stato attuale della tecnologia e prospettive di sviluppo"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
LP1.SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE													
a. Metodi e analisi per verifiche di sicurezza, security e sostenibilita'													
	<i>a1 Dati nucleari e sicurezza nocciolo</i>												
	<i>a.2- Elementi per la sostenibilit� del ciclo del combustibile nucleare</i>												
	<i>a.3 Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre Iniziative sulla gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi</i>												
b. Safety assessment e valutazioni d'impatto													
	<i>b.1 Sicurezza delle centrali nucleari prossime al territorio nazionale</i>												
	<i>b.2- Valutazioni di rischio e scenari incidentali</i>												
	<i>b.3- Studi in appoggio alla Emergency Preparedness</i>												
c. Sperimentazione e calcoli in appoggio agli studi sulla sicurezza													
	<i>c.1 Simulazioni Integrali di Sistema e Sperimentazione presso gli Impianti SIET</i>												
	<i>c.2 Valutazione e sperimentazione di componenti e sistemi passivi per il miglioramento della sicurezza nei reattori futuri</i>												
d. Comunicazione e diffusione dei risultati													
LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE													
a. Progettazione di sistema e analisi di sicurezza													
	<i>a.1 Progettazione del nocciolo</i>												
	<i>a.2 Dati nucleari a supporto alla progettazione</i>												
	<i>a.3 Analisi di sicurezza</i>												
	<i>a.4 Rilascio e migrazione dei prodotti di fissione</i>												
b. Sviluppo materiali e chimica del refrigerante													
	<i>b.1 Qualifica, modellizzazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR</i>												
	<i>b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante.</i>												
c. Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante													
	<i>c.1 Sperimentazione e modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi</i>												
	<i>c.2 Studi Sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR</i>												
d. Comunicazione e diffusione dei risultati													

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
LP1. SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE										
a	Metodi e analisi per verifiche di sicurezza, security e sostenibilità									
	<i>a.1 Dati nucleari e sicurezza nocciolo</i>	650	25,0	15,0	0,0	8,5	0,0	4,0	0,0	52,5
	<i>a.2- Elementi per la sostenibilità del ciclo del combustibile nucleare</i>	230	8,3	4,9	0,0	7,5	0,0	2,0	0,0	22,7
	<i>a.3 Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre iniziative sulla gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi</i>	250	9,3	5,5	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	16,8
	<i>Subtotale Ob. a</i>	1130	42,6	25,4	0,0	16,0	0,0	8,0	0,0	92,0
b	Safety assessment e valutazioni d'impat									
	<i>b.1 Sicurezza delle centrali nucleari prossime al territorio nazionale</i>	130	7,1	4,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	12,4
	<i>b.2- Valutazioni di rischio e scenari incidentali</i>	345	13,8	8,2	0,0	0,0	0,0	3,5	40,0	65,5
	<i>b.3 Studi in appoggio alla Emergency Preparedness</i>	275	8,0	4,8	0,0	0,0	0,0	2,5	10,0	25,3
	<i>Subtotale Ob. b</i>	750	28,9	17,3	0,0	0,0	0,0	7,0	50,0	103,2
c	Sperimentazione e calcoli in appoggio agli studi sulla sicurezza									
	<i>c.1 Simulazioni Integrali di Sistema e Sperimentazione presso gli Impianti SIET</i>	160	4,7	2,8	0,0	0,0	0,0	0,5	10,0	18,0
	<i>c.2 Valutazione e sperimentazione di componenti e sistemi passivi per il miglioramento della sicurezza nei reattori futuri</i>	200	8,3	5,0	0,0	0,0	110,0	2,5	40,0	165,8
	<i>Subtotale Ob.c</i>	360	13,0	7,8	0,0	0,0	110,0	3,0	50,0	183,8
d	Comunicazione e diffusione dei risultati									
		90	5,0	3,0	0,0	11,0	0,0	2,0	0,0	21,0
	Totale LP1	2330	89,5	53,5	0,0	27,0	110,0	20,0	100,0	400,0

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	TOTALE
LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE										
a	Progettazione di sistema e analisi di sicurezza									
	<i>a.1 Progettazione del nocciolo</i>	1100	35,9	21,5	0,0	35,0	0,0	4,0	10,0	106,4
	<i>a.2 Dati nucleari a supporto alla progettazione</i>	700	22,8	13,7	0,0	0,0	0,0	4,0	30,0	70,5
	<i>a.3 Analisi di sicurezza</i>	1100	35,9	21,5	3,0	15,0	0,0	3,0	40,0	118,4
	<i>a.4 Rilascio e migrazione dei prodotti di fissione</i>	100	3,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	20,2
	<i>Subtotale Ob.a</i>	3000	97,8	58,7	3,0	50,0	0,0	11,0	95,0	315,5
b	Sviluppo materiali e chimica del refrigerante									
	<i>b.1 Qualifica, modellizzazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR</i>	1.300	42,4	25,4	27,0	20,0	80,0	8,0	45,0	247,8
	<i>b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante,</i>	700	22,8	13,7	5,0	55,0	0,0	0,0	0,0	96,5
	<i>Subtotale Ob.b</i>	2000	65,2	39,1	32,0	75,0	80,0	8,0	45,0	344,3
c	Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante									
	<i>c.1 Sperimentazione e modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi</i>	900	29,4	17,6	125,0	0,0	0,0	4,0	60,0	236,0
	<i>c.2 Studi Sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR</i>	1600	52,2	31,3	70,0	40,0	0,0	2,0	0,0	195,5
	<i>Subtotale Ob.c</i>	2500	81,6	48,9	195,0	40,0	0,0	6,0	60,0	431,5
d	Comunicazione e diffusione dei risultati									
		70	2,3	1,4	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	8,7
	Totale LP2	7570	247	148	230	170	80	25	200	1100
	TOTALE PROGETTO	9900	336,5	201,5	230,0	197,0	190,0	45,0	300,0	1500,0

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG, 19/2013/RdS

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento, include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e, consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie (600 k€) e con la partecipata FN (100 k€)

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri, pari a 38,4 €/h per la linea LP1 e 32,6 €/h per la linea LP2. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

LP1. SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo e Task	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)	Uso attrezzatura
///	///	///	///	///

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo e Task	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Acquisto campioni di 157Gd per valutazione delle sezioni d'urto nucleari di interesse per le analisi di sicurezza neutronica per gli impianti nucleari	7.000
a.1	Licenza codice di calcolo FRAPCON	1.500
a.2	Licenza codice di calcolo COSY	7.500
d.1	Organizzazione di seminari tematici, workshop e costi d'iscrizione per partecipazione a congressi	11.000
TOTALE		27.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

In ambito LP1, l'acquisizione di competenze viene dal contributo chiesto a SIET-Piacenza, Le attività sono tutte concentrate nell'obiettivo C: "Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi sulla sicurezza" e in particolare nel task C,2: "Valutazione e sperimentazione di componenti e sistemi passivi per reattori avanzati", Il dettaglio delle attività è riportato nelle sezioni precedenti, dove sono descritte le specifiche tematiche, L'importo è pari a 110.000.00 €,

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Sigla	Denominazione obiettivi	Importo (€)	Università	Motivazioni
b. Safety assessment e valutazioni d'impatto				
	b2.1 "Analisi PSA e DSA relative l'implementazione delle salvaguardie di sicurezza per la gestione degli incidenti severi nei reattori nucleari".	20.000	UNIPI	Università che dispone di competenze riconosciute a livello internazionale per valutazioni di questo tipo e collabora da lungo tempo con ENEA.
	b2.3: "Calcolo Integrale di Scenari Incidentali".	20.000	UNIRM1	Università leader per calcoli incidentali con l'uso di codicistica incidentale e collaborazione pluriennale con ENEA sul tema.
	b3.1: "Modelli per calcoli di concentrazione di materiale radioattivo disperso a breve-medio raggio in aree caratterizzate da configurazioni architettoniche tipiche delle principali città italiane".	10.000	UNIPA	Università che dispone di un gruppo di ricerca nel settore con competenze adeguate per valutazioni di questo tipo e collabora da lungo tempo con ENEA.
c. Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi sulla sicurezza				
	c1.1: "Validazione e verifica di codici TH e relativi Modelli per studi e valutazioni di sicurezza".	10.000	UNIPA	Università che dispone di competenze sull'uso del codice TRACE riconosciute a livello internazionale e collabora da lungo tempo con ENEA.
	c2.1: "Sviluppo e validazione di una metodologia progettuale per sistemi di rimozione e trasporto della potenza termica"	25.000	POLITO	Politecnico da tempo impegnato in attività di questo tipo, in possesso di competenze riconosciute a livello internazionale, Collabora da lungo tempo con ENEA.
	c2.3: "Progettazione, realizzazione ed interpretazione di prove sperimentali per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento".	15.000	POLIMI	Politecnico da tempo impegnato in attività di questo tipo, in possesso di competenze riconosciute a livello internazionale, Collabora da lungo tempo con ENEA.
TOTALE		100.000		

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

- ASAMPSA_E – Advanced safety assessment: extended PSA (2013-2016)
- CESAM – Code for European severe accident management (2013-2017)
- CP-ESFR – Collaborative Project on European Sodium Fast Reactor (2009-2013)
- DEVCO - Training and tutoring for expert of the nuclear regulatory authorities (NRAs) and their technical safety organization (TSOs) (2012-2014)
- EDEN – End-User driven DEMO for CBRNE (2013-2016)
- FASTNET – Fast Nuclear Emergency Tools (iniziato nel 2015)
- GOFAST_R – European gas cooled fast reactor (2010-2013)
- IVMR – In Vessel melt retention severe accident strategy for existing and future NPPs (iniziato nel 2015)
- JASMIN - Joint advanced severe accidents modelling and integration for Na-cooled fast neutron reactors (2011-2015)
- NUGENIA PLUS (AIR-SFP) – SFP Behaviour in loss of cooling of water accidents (iniziato nel 2015)
- NURESAFE – Nuclear reactor safety simulation platform (2013-2015)
- SARNET2 – Severe accident network of excellence 2 (2009-2013)
- THINS – Thermal Hydraulic of Innovative Nuclear Systems (2010-2014)

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Denominazione obiettivi	Risultati	
	PAR2014	PAR2015
a - METODI E ANALISI PER VERIFICHE DI SICUREZZA, SECURITY E SOSTENIBILITÀ		
a1 - Dati Nucleari e Sicurezza Nocciolo		
a1.1 - Dati Nucleari per la Sicurezza Reattore		
<ul style="list-style-type: none"> • Produzione e Validazione Librerie di Sezioni d'Urto 	<p>Si è proceduto al processamento di dati nucleari JEFF-3.2 di ultima generazione tramite il nuovo sistema americano NJOY-2012 per ottenere una libreria multi-gruppo accoppiata, neutronica-fotonica, per applicazioni di schermaggio e danno da radiazione in reattori nucleari a fissione. Tale libreria adotta la struttura a gruppi (199 n + 42 γ) delle analoghe librerie americane VITAMIN-B6 e VITAMIN-B7, basate su dati nucleari ENDF/B, secondo specifica normativa ANSI/ANS-6.1.2-1999.</p>	<p>In continuità con le attività svolte nel PTR2012-14, si intende concludere quelle relative alla libreria di sezioni d'urto "general-purpose" a gruppi fini VITJEFF32.BOLIB per lo schermaggio e il danno da radiazione nei reattori a fissione. Per tale libreria, basata sul più recente file di dati nucleari valutati OECD-NEADB JEFF-3.2 e processata con il codice LANL NJOY-2012.53, si intende produrre in particolare il relativo manuale dettagliato per poter poi proporre l'inserimento della nuova libreria nella collezione OECD-NEADB. Inoltre s'intende avviare l'attività di processamento dati, tramite la versione ENEA-Bologna del codice ORNL SCAMPI, dedicata alla produzione della nuova libreria a gruppi larghi di lavoro BUGJEFF32.BOLIB (derivata da VITJEFF32.BOLIB) per specifiche applicazioni di schermaggio e dosimetria del recipiente in pressione nei reattori ad acqua leggera.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Aggiornamento delle librerie di sezioni d'urto di attivazione del package ANITA 	<p>Le librerie "fl1" e "fl2" di ANITA-2000, contenenti rispettivamente i dati di decadimento e gli spettri dei raggi gamma di decadimento emessi dai nuclidi radioattivi, sono state validate sulla base dei risultati sperimentali prodotti da FNG-ENEA-Frascati e FNS-JAERI.</p>	<p>Proseguirà l'attività di aggiornamento e validazione delle librerie di decadimento e sezioni d'urto per il sistema ANITA-2000, allo scopo di preparare un nuovo package ANITA da rilasciare in futuro alla NEA Data Bank. Al fine di utilizzare le più recenti librerie valutate di sezioni d'urto, si intende produrre una libreria di sezioni d'urto, a 175 gruppi in formato EAF, a partire dalla libreria valutata JEFF-3.2 (o altra libreria disponibile), essendo EAF l'unico formato di libreria di sezioni d'urto di attivazione leggibile dal codice di attivazione ANITA-4M (contenuto nel package ANITA-2000). Si partirà dall'originale formato ENDF-6 tramite processamento col sistema NJOY.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Messa a punto di una metodologia per valutazione di sezioni d'urto per analisi margini di sicurezza 	<p><i>Attività non presente nel 2014.</i></p>	<p>Scopo dell'attività è la messa a punto di una metodologia in grado di valutare sezioni d'urto nucleari di interesse per le analisi di sicurezza neutronica per gli impianti nucleari. Sono previste le seguenti fasi: a) una fase sperimentale, comprensiva di un'analisi preliminare dei dati acquisiti; b) una di valutazione numerica degli stessi; c) una di post-processamento; e d) una finale di validazione. Tale metodologia sarà applicata alla sezione d'urto di cattura radiativa dell'isotopo ¹⁵⁷Gd data la sua importanza nella sicurezza neutronica dei reattori a fissione di II e III generazione. Per acquisire maggiore sensibilità nella valutazione dei dati nucleari che saranno acquisiti durante l'esperimento, verrà effettuato un caso studio di valutazione su dati nucleari già esistenti sul ¹⁵⁷Gd.</p>

a1.2 - Metodi per Analisi di Sicurezza Nocciolo		
<ul style="list-style-type: none"> Analisi neutronica con metodi Monte Carlo di impianti nucleari di tipo PWR 	<p>E' stata valutata, con l'utilizzo di strumenti per l'analisi probabilistica, la progettazione degli strumenti realizzati per monitorare il livello di degradazione di un nocciolo di PWR. Lo studio è stato svolto prendendo a riferimento una evoluzione incidentale severa con fuoriuscita di corium come conseguenza della perforazione del fondo del vessel.</p>	<p>Si procederà all'applicazione delle metodologie già impiegate nel PTR2012-14 per stimare i flussi neutronici e le dosi gamma in varie posizioni nel pozzo reattore e a varie profondità nel calcestruzzo sacrificale nell'EPR (disaccoppiamento del calcolo di autovalore in-core dal calcolo di sorgente fissa ex-core utilizzando dei codici e "patch" MCNP scritti in-house) - ai PWR, in funzione attuale, usando il reattore TIHANGE come modello. Si procederà al calcolo del danneggiamento neutronico al vessel di TIHANGE con le stesse metodologie e al confronto dell'approccio sopracitato con un nuovo approccio impiegando uno solo calcolo (senza disaccoppiare la parte autovalore dalla parte sorgente fissa).</p>
<ul style="list-style-type: none"> Analisi neutronica con codici deterministici di impianti nucleari di tipo PWR 	<p>Usando i set di sezioni d'urto efficaci a 2 gruppi calcolati con Apollo2, in un nocciolo PWR è stata introdotta una perturbazione per simulare, con il codice Cronos2, un tipico tilt azimutale di potenza a burnup nullo. Sono stati valutati i worth delle barre di controllo e stimata la variazione della loro reattività in presenza di tilt azimutale. Con opportune correlazioni tale variazione è stata usata per individuare sperimentalmente la presenza, la posizione e l'intensità del tilt stesso. Sono state ricavate considerazioni sull'impatto del tilt sui margini di sicurezza neutronica e termoidraulica di nocciolo.</p>	<p>Nel PTR2012-14 sono stati eseguiti studi per quantificare il fenomeno del tilt di potenza in reattori ad acqua pressurizzata. Scopo delle attività di questa annualità è quello di approfondire l'analisi del fenomeno del tilt di potenza e del suo impatto sui margini di sicurezza di nocciolo e, allo stesso tempo, continuare con il consolidamento e l'approfondimento di competenze per valutazioni di Safety di nocciolo. In questa annualità si intende effettuare la misura, in condizioni statiche, della separazione numerica degli autovalori, cioè della distorsione rispetto alla simmetria radiale del modo fondamentale, tramite l'analisi dello spettro degli autovalori dell'operatore di Boltzmann discretizzato. L'obiettivo è quello di dimostrare che la scelta del riflettore, modificando tale separazione, gioca un ruolo fondamentale sul fenomeno del disaccoppiamento neutronico del nocciolo.</p>
a.2 Elementi per la sostenibilità del ciclo del combustibile nucleare		
<ul style="list-style-type: none"> Sicurezza intrinseca di elementi di combustibile irraggiati 	<p>La sostenibilità del ciclo di combustibile richiede anche flessibilità ed efficienza nella gestione dei waste, includendo in questa definizione anche materiali "strategici" quali Plutonio e Attinidi Minori (MA) e la relativa questione del "Partitioning and Transmutation" (P&T). In ambito internazionale diversi gruppi di lavoro si occupano dei molteplici e complessi aspetti del problema. L'ENEA ha contribuito attivamente a molti di essi, promuovendo attività di studio e di ricerca per una migliore comprensione dei fenomeni che regolano i processi fisici alla base del P&T. Numerosi documenti RSE delle passate annualità dimostrano lo sforzo profuso dall'ENEA per dare il suo contributo ad attività teorico-sperimentali per la riduzione delle incertezze dei dati nucleari di fisica di base, specialmente degli Attinidi Minori, in particolare nell'Expert Group on MA Management dell'OECD/NEA (EG-IEMAM). L'importanza dei risultati ottenuti da ENEA e altre organizzazioni di ricerca partecipanti a questo gruppo è stata riconosciuta dal Nuclear Science Committee, che ha deciso di continuare le attività per altri due anni nell'Expert Group on Improvement of Integral Experiment for Minor Actinide Management (EG-IEMAM-II). Parte di queste attività riguardano le cosiddette "esperienze integrali", con lo scopo di determinare, con la migliore precisione possibile, alcune proprietà nucleari di specifici attinidi minori. In sintesi, il gruppo di lavoro, dando seguito ai risultati ottenuti nel precedente EG-IEMAM, ha concluso che sono necessarie esperienze integrali supplementari rispetto a quelle svolte nel passato. Il gruppo di lavoro ha stabilito di svolgere, con la collaborazione di ENEA, CEA, INL, ISU e KIT, un'analisi di fattibilità sulla possibilità di effettuare misure di attivazione su campioni di MA nel reattore di ricerca TAPIRO (ENEA) e valutare la complementarità rispetto a misure effettuate nei reattori MINERVE (CEA) e ATR (INL). I risultati di questi primi studi di fattibilità sono stati incoraggianti, per cui è stato stabilito, relativamente al coinvolgimento ENEA e per ciò che riguarda l'attività di progettazione di misure su MA nei reattori selezionati, che CEA, ENEA, e ISU dovranno procedere alla stesura di un programma sperimentale dettagliato di irraggiamenti in TAPIRO utilizzando campioni e micro camere di fissione di proprietà CEA, da discutere durante il prossimo meeting previsto per metà Ottobre 2015.</p>	<p>La sicurezza intrinseca contro diversioni degli elementi di combustibile dei reattori ad acqua pressurizzata (PWR) è dovuta all'alto valore del rateo di dose gamma. La significativa quantità di radiazioni gamma anche dopo un processo di decadimento di 30 anni, infatti, fornisce a questo tipo di assembly una barriera intrinseca di auto protezione contro furti e/o usi malevoli del plutonio in essi contenuto. Recentemente sono tuttavia sorti forti dubbi sulla precisione con cui è stato calcolato, agli inizi degli anni 70, il rateo di dose gamma; in particolare sembra risulti sovrastimato. Scopo di questa attività, da svolgersi in ambito OECD/NEA, è quello di ridurre l'incertezza associata a tale valore e valutare più correttamente l'entità della sovrastima. Le attività saranno svolte con codici di calcolo deterministici e stocastici. In particolare per il PAR 2015 si intende simulare il bruciamento di due assembly di PWR, uno con combustibile UOX e l'altro con combustibile MOX, per ottenere la composizione isotopica del combustibile allo scarico.</p>

<ul style="list-style-type: none"> Aspetti metodologici per la sicurezza delle sorgenti radioattive 	<p><i>Attività non presente nel 2014.</i></p>	<p>L'attività consiste nella partecipazione all'esercizio internazionale GALAXY SERPENT v2. L'esercizio si inquadra tra le iniziative internazionali di security a cui l'ENEA partecipa (GINCT, Nuclear Forensics, CBRNe EU initiatives) ed è teso a migliorare e ottimizzare, a livello nazionale, i criteri e le procedure per gestire la sicurezza delle sorgenti radioattive in considerazione delle minacce ad esse collegate, dal traffico illecito al possibile utilizzo in ordigni per dispersione di radioattività ("Radiological Dispersal Devices" o "bombe sporche"). I due elementi fondamentali dell'esercizio sono la costituzione di una libreria forense nucleare nazionale e la capacità di definire per ciascuna sorgente radioattiva una "firma" (signature), intesa come insieme dei parametri fisico-chimici necessari e sufficienti per l'univoca individuazione della stessa.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Quadro internazionale su Resistenza alla Proliferazione, Nuclear Security, Sostenibilità 	<p>In continuità con le attività dei precedenti Piani Triennali e delle prime due annualità del PAR 2012-2014, si è proseguito lo sviluppo e il monitoraggio di metodologie e attività che interessano trasversalmente aree essenziali per le attività nucleari nazionali residue: resistenza alla proliferazione e protezione fisica, security e interfaccia con la safety, e altri elementi di sostenibilità del ciclo del combustibile.</p>	<p>In continuità con i precedenti Piani Triennali, si fornisce una sintesi delle principali attività che si svolgono a livello internazionale in ambito di resistenza alla proliferazione, nuclear security e in generale sostenibilità del ciclo del combustibile. Si darà particolare rilievo agli esiti del Nuclear Security Summit, il quarto dal 2010 e ultimo in questo formato, che si svolgerà nella primavera del 2016 a Washington D.C.</p>
<p>a.3 Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre Iniziative sulla gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Contributo alla Piattaforma IGD-TP 	<p>Per quanto riguarda questa annualità, facendo riferimento agli organismi di settore (IAEA, OECD-NEA, EURATOM), è proseguita la partecipazione a iniziative internazionali sulla gestione dei rifiuti radioattivi, in particolare a IGD-TP e a OECD-NEA-RWMC (Radioactive Waste Management Committee) e si è proceduto ad analisi utili per future attività di waste disposal & management.</p>	<p>La strategia italiana nel settore dei rifiuti radioattivi di bassa e media attività è sufficientemente definita per quello che riguarda le caratteristiche del deposito nazionale, la modalità di individuazione del sito e le performances che questa struttura dovrà garantire in tutte le fasi della sua vita (costruzione, esercizio, chiusura). Le cose non stanno in questa maniera per quello che riguarda l'alta attività. Le ragioni sono certamente nell'intrinseca difficoltà nel definire una strategia per questa tipologia di rifiuti, ma anche nella diffusa convinzione che i nostri rifiuti, spediti all'estero per il ritrattamento, rimangano lì a tempo indeterminato. Per questo l'opzione dello stoccaggio provvisorio presso il parco tecnologico/deposito nazionale presenta molti punti che necessitano di approfondimento. Soprattutto occorre analizzare le condizioni che consentirebbero di evitare che il deposito "provvisorio" potesse diventare, di fatto, definitivo. La presenza attiva dentro IGD è una condizione prioritaria e necessaria per costruire le condizioni necessarie.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Indagini radioecologiche relative alla localizzazione in sicurezza del deposito nazionale 	<p><i>Attività non presente nel 2014.</i></p>	<p>La legislazione italiana è l'unica, a livello europeo, che prevede l'obbligo, per gli impianti costruiti dopo il 1995, di rispettare il criterio di "non rilevanza radiologica" (10 µSv/anno) per eventuali dosi alla popolazione. A ciò occorre aggiungere l'obbligo, sancito dalle convenzioni internazionali, di tutelare la biodiversità. In questo contesto le indagini radioecologiche connesse al deposito nazionale assumono una grande importanza perché sono sufficienti rilasci decisamente più bassi del fondo naturale per superare i fatidici 10 µSv/anno. I punti da affrontare sono: a) la determinazione dello stato zero; b) la caratterizzazione del sito per individuare i percorsi di migrazione dei nuclidi; c) il trasferimento degli stessi nuclidi alla biosfera e all'uomo nei diversi scenari di rilasci normali, rilasci incidentali e impatto dei nuclidi residui nelle situazioni di post chiusura e post periodo di sorveglianza.</p>
<p>b – SAFETY ASSESSMENT E VALUTAZIONI D'IMPATTO</p>		
<p>b.1 Sicurezza delle centrali nucleari prossime al territorio nazionale</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Indagine sulla sicurezza delle centrali frontaliere distanti meno di 200 km dal territorio nazionale 	<p><i>Attività non presente nel 2014.</i></p>	<p>In questa annualità vengono analizzate e valutate le principali caratteristiche di sicurezza dei reattori presenti nelle centrali nucleari frontaliere. A seconda della nazione confinante, Francia, Germania, Svizzera, Slovenia/Croazia, sono presenti reattori PWR o BWR, caricati con il solo UOX o con combustibile misto UOX-MOX. Verrà trattato l'argomento del rischio legato al "nuclear ageing", giustificato dal fatto che l'età media dei reattori nucleari europei ha superato i 29 anni e che un numero crescente di essi sta raggiungendo i limiti di progetto dei 30 o 40 anni. Verranno fatte considerazioni sulle problematiche di sicurezza legate alla "life time extension", verrà considerato il pacchetto di "lessons learned" provenienti dai vari studi di safety assessment realizzati sulla base dell'attività richieste nell'ambito degli Stress Test, si cercherà di raccogliere ed organizzare dati relativi ai più significativi</p>

		transitori incidentali avvenuti nei reattori di queste centrali e di individuare le vulnerabilità intrinseche delle tipologie BWR e PWR in generale e dello stato attuale degli specifici impianti presenti nelle centrali frontaliere in particolare. Questa attività sarà svolta sulla base di informazioni ricavabili dalla letteratura open a livello internazionale e nazionale locale e i risultati ottenuti saranno quindi, come richiesto dalla filosofia generale del PAR, disponibili e aperti a tutti.
b.2 Valutazioni di rischio e scenari incidentali		
<ul style="list-style-type: none"> Valutazione del comportamento di noccioli PWR e del livello di confidenza dei risultati ottenuti con l'uso di codici meccanicistici e/o integrali mediante il calcolo di sequenze incidentali in reattori PWR con riferimento al reattore della centrale di TMI-2. 	<p>A complemento dell'attività svolta nelle precedenti annualità, sono stati eseguiti calcoli parametrici con l'uso dei codici integrali ASTEC (Università di Bologna) e MELCOR (Università di Pisa), con riferimento all'analisi della sequenza incidentale severa di SBLOCA già considerata precedentemente per il reattore TMI-2. Lo scopo principale di queste analisi parametriche è stato, in primo luogo, di cercare di spiegare le ragioni delle rilevanti discrepanze osservate nel confronto dei risultati dei due codici, indotte da modelli e parametri di degradazione nocciolo diversi impiegati nel calcolo e, in secondo luogo, di giungere all'analisi parametrica che permetterà di valutare il livello di confidenza dei risultati prodotti dai codici nell'analisi di incidenti severi. Si è inoltre investigata la possibilità di arrestare la progressione della degradazione del nocciolo ed evitare la rottura del vessel attraverso l'attivazione ritardata di sistemi di refrigerazione di emergenza.</p>	<i>Attività conclusa nel 2014.</i>
<ul style="list-style-type: none"> Analisi probabilistica degli specifici aspetti di sicurezza, e implementazione dei relativi modelli, con riferimento alle informazioni disponibili dall'incidente alla centrale di Fukushima Dai-ichi. Verifiche di sicurezza, attraverso calcoli deterministici connessi alla funzione di Contenimento, per valutare la risposta degli impianti all'incidente di riferimento. 	<p>In questa terza annualità si è proceduto alla identificazione ed analisi degli specifici aspetti relativi all'analisi probabilistica di sicurezza, o PSA (Probabilistic Safety Assessment), come evidenziati dall'incidente stesso, che risultano critici, quali a) La valutazione del rischio relativa a siti con molte unità; e b) L'analisi degli aspetti del PSA "level2", tesi alla valutazione del source term. L'analisi è stata corredata anche da alcuni casi studio, allo scopo di implementare i relativi modelli nell'approccio probabilistico.</p> <p>Sono stati condotti calcoli deterministici per valutare la risposta dinamica degli impianti esistenti, relativamente alla funzione di Contenimento e delle principali componenti del reattore, a fronte di situazioni incidentali originate da eventi esterni particolarmente severi. E' stato valutato il margine di sicurezza residuo del sistema di contenimento, che rappresenta l'ultima barriera di difesa dell'impianto in termini di contenimento e confinamento dei rilasci di radioattività all'ambiente esterno e le performances del contenimento in relazione agli effetti di ageing che potrebbero eventualmente influenzare le prestazioni dei materiali costitutivi del Contenimento stesso.</p>	L'implementazione delle salvaguardie di sicurezza per ridurre il rischio dovuto agli incidenti severi è uno dei requisiti fondamentali derivante dalle lezioni acquisite dall'incidente di Fukushima. Tali apparati sono concepiti per prevenire e mitigare le conseguenze degli incidenti severi. Nel contesto del "risk informed decision making", che associa gli aspetti deterministici a quelli probabilistici per la valutazione della sicurezza, l'attività proposta consiste di diverse fasi: a) Stato dell'arte dei sistemi passivi utilizzabili per la "gestione" degli incidenti severi e che quindi possono essere presi in considerazione per essere implementate nelle linee guida relative nelle procedure di emergenza; b) Analisi di sicurezza dal punto di vista probabilistico, tesa a fornire elementi per la valutazione delle prestazioni, in termini di disponibilità/affidabilità e deterministico, per avere informazioni su forme critiche di vulnerabilità. Nello studio saranno presi in conto taluni aspetti non specifici dei sistemi passivi, come il fattore umano, ma che in qualche modo con essi interagiscono nell'ambito della messa a punto delle strategie per far fronte agli incidenti severi.
<ul style="list-style-type: none"> Valutazione comparativa dei sistemi passivi e attivi ai fini dello sviluppo dei reattori avanzati 	<i>Attività non presente nel 2014.</i>	L'introduzione dei sistemi passivi viene considerata come uno dei fattori più importanti ai fini dell'aumento della sicurezza dei reattori di terza e quarta generazione, nonché per lo sviluppo dei reattori di piccola taglia, quali gli SMR (Small Modular Reactors). Tuttavia, studi più approfonditi rivelano come tale vantaggio derivante dall'impiego dei sistemi passivi di sicurezza rispetto a quelli attivi non sia così evidente: pertanto diventa utile valutare i benefici nonché le sfide che la adozione delle due tipologie di sistemi nei vari reattori pongono. La valutazione comparativa sarà effettuata a livello di sistema in termini di prestazioni ed affidabilità, prescindendo in ogni caso dai fattori economici.
<ul style="list-style-type: none"> Calcolo integrale di scenari incidentali 	L'analisi di possibili incidenti severi e la conseguente valutazione di rilasci da centrali frontaliere è un'attività di strategica importanza per la previsione di eventuali scenari di rischio, la raccolta di informazioni per la pianificazione dell'attività di emergenza e l'eventuale gestione del post incidente al fine di ridurre al minimo i danni in caso di interessamento del territorio italiano. Nel quadro delle attività che svolge l'ENEA nell'ambito delle analisi degli incidenti severi, lo scopo di questo lavoro è stato di studiare, utilizzando il codice MELCOR, ulteriori transitori di interesse che avessero la possibilità di evolvere fino all'incidente grave in reattori frontaliere (PWR e BWR).	Svariate analisi per la gestione di incidenti severi sono state effettuate nelle precedenti annualità al fine di analizzare la successione di eventi che caratterizzano l'incidente. L'attività da svolgere in questa tematica consisterà nell'analizzare, utilizzando il codice MELCOR, transitori di interesse che possano verificarsi, con data probabilità di accadimento, in reattori frontaliere PWR e BWR. In relazione ai reattori di tipo BWR l'attività consisterà nell'analizzare approfonditamente il transitorio incidentale verificatosi nell'unità 1 della centrale di Fukushima Daichi nel 2011, con particolare attenzione all'intervento dei sistemi passivi presenti nel reattore. In relazione ai PWR, l'analisi delle fasi di degradazione nocciolo e il conseguente inventario di materiale radioattivo rilasciato sarà effettuata facendo riferimenti a transitori non mitigati di elevato interesse per la sicurezza di questo tipo di reattori.

b.3 Studi in Appoggio alla Emergency Preparedness		
<ul style="list-style-type: none"> Istruzione del database esperto – Fase 3: Inserimento dell'orografia. 	<p>Utilizzando opportuni software GIS, sono state ricavate, sia in coordinate cartesiane ortogonali che in coordinate polari, le mappe necessarie a descrivere l'orografia, in termini di altitudine media e di rugosità media per cella, attorno ai siti delle centrali nucleari frontaliere. Sono state prodotte quattro mappe per ogni sito, al variare della distanza dal sito stesso, e dunque con diversa risoluzione spaziale, l'ultima delle quali fino ad interessare anche il territorio italiano per una distanza massima in linea d'aria pari a 160 km. Tali mappe vanno inserite nel database allo scopo di calcolare, ricorrendo anche ai dati meteorologici resi disponibili dal modulo implementato nella scorsa annualità, l'impatto alla popolazione di un incidente nucleare severo. La necessità di inserire informazioni sull'orografia è dettata dal fatto che essa, insieme alle condizioni meteo, influisce in modo notevole sul processo di dispersione della nube.</p>	<p><i>Attività conclusa nel 2014.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> Modelli per calcoli di concentrazione di materiale radioattivo disperso a breve-medio raggio in aree caratterizzate da configurazioni architettoniche tipiche delle principali città italiane. Valutazioni della risposta di modelli avanzati di dispersione gassosa e diffusione di aerosol e particolati radioattivi per confronto con quelli adottati in Calpuff e Calmet. 	<ul style="list-style-type: none"> Si è proceduto alla valutazione delle potenzialità dei modelli innovativi inseriti nel codice RADCAL-III, in fase di sviluppo e validazione presso ENEA. In questa fase dell'attività si è fatto riferimento a modelli a rilascio ipotizzando la conoscenza a priori dei principali parametri di rilascio dall'impianto incidentato, delle quote di rilascio e dell'inventario di materiale tossico radioattivo. Sulla base delle considerazioni legate alle specifiche necessità di calcolo, si è deciso di procedere allo sviluppo di modelli analitici con approccio euleriano e di verificarne la funzionalità attraverso simulazioni con il coinvolgimento di aree urbane a differente layout architettonico. Si è proceduto, in collaborazione con DIEM di UNIPA, ad una valutazione della risposta dei modelli selezionati nella precedente annualità ed operato un confronto con quelli attualmente implementati nei codici CALPUFF e CALMET. 	<p>Nell'ambito delle valutazioni di sicurezza nucleare e dell'entità dell'impatto di rilasci di materiale tossico verso l'ambiente esterno a causa di incidenti severi in centrali nucleari, e in continuità con gli studi iniziati nel precedente PTR 2012-2014, in questo tema prosegue l'attività di selezione, valutazione e validazione dei modelli più adatti alla valutazione dell'impatto di un incidente grave, di origine nucleare, nel territorio nazionale. In caso di rilasci nucleari, generalmente il territorio interessato è molto vasto, in quanto la nube radioattiva generata può essere spinta da venti fino a distanze molto lontane dalla fonte di rilascio. In questa tematica si studieranno le situazioni d'impatto da dispersione atmosferica e deposizione all'interno del tessuto di aree urbane caratterizzate da diversa tipologia architettonica e da differenti tipologie di ostacoli. Le situazioni incidentali più vicine alle investigazioni che verranno svolte si concentrano su eventi incidentali originati localmente, a seguito di azione umana malevola (tipo esplosione di una bomba sporca a causa di un attacco terroristico) o di malfunzionamento di impianti nucleari presenti nel territorio nazionale (tipo reattori di ricerca). Questa attività trova terreno fertile anche in EDEN, il più grande progetto europeo di security e di valutazioni anti-CBRNe, e il codice che si sta sviluppando in ENEA, RADCAL-III, proprio sulla base di questi studi, sta sollevando l'interesse di molti partner ed end-users stranieri.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Metodi per la valutazione dell'impatto radiologico nel breve termine e per l'individuazione delle contromisure per la gestione delle conseguenze a medio-lungo termine a seguito di incidenti in impianti nucleari 	<p><i>Attività non presente nel 2014.</i></p>	<p>L'attività consiste nella messa a punto di una metodologia per la valutazione dell'impatto radiologico a breve e medio-lungo termine a seguito di incidenti ad impianti nucleari europei. Sarà simulato, con opportuni codici di calcolo fast-running, il trasporto in atmosfera su lunghe distanze del materiale radioattivo emesso durante l'incidente; sarà poi valutato, sulla base delle concentrazioni in aria e delle deposizioni al suolo, l'impatto radiologico al fine di poter determinare e quantificare le opportune contromisure da adottare per ridurre le conseguenze alla popolazione. Le valutazioni saranno fatte sia per la fase acuta dell'incidente che per la fase cronica. Si farà ricorso a termini sorgente semplici e già calcolati. L'attività sarà propedeutica ad un futuro studio sistematico del potenziale di impatto sul territorio nazionale di incidenti ai reattori nucleari sia frontaliere (distanza inferiore ai 200 km) che extra-frontaliere.</p>
c – SPERIMENTAZIONE E CALCOLI IN APPOGGIO AGLI STUDI SULLA SICUREZZA		
c.1 Simulazioni Integrali di Sistema e Sperimentazione presso gli Impianti SIET		
<ul style="list-style-type: none"> Validazione e verifica di codici TH e relativi Modelli per studi e valutazioni di sicurezza 	<p>Questa attività, importante per studi di sicurezza di sistemi innovativi dotati di sistemi di sicurezza di tipo passivo, ha riguardato le analisi di post-test svolte dall'ENEA (CATHARE) e dall'Università di Palermo (TRACE) sui test della campagna sperimentale condotta alla fine degli anni 90 sulla facility SPES2 (simulatore dell'impianto a maggior sicurezza intrinseca e passiva AP600). L'ENEA ha simulato, tramite nodding CATHARE, un evento incidentale originato da rottura di 2" sulla linea di iniezione B dei sistemi di emergenza (Direct Vessel Injection, DVI). I risultati hanno messo in luce la necessità di approfondire e migliorare il modello CATHARE fin qui sviluppato. Il DEIM (Un. Palermo) ha simulato, tramite nodding TRACE, il transitorio di rottura di 2" sulla linea di collegamento tra Cold Leg (CL) e la Core Make-up Tank. I risultati di questa simulazione sembrano essere in buon accordo con i dati sperimentali disponibili. Questa attività richiede un approfondimento, sia per quanto riguarda il</p>	<p>Proseguirà l'attività di validazione-verifica dei codici termoidraulici di sistema e relativi modelli utilizzando i dati sperimentali già disponibili della facility SPES2. L'attività è necessaria ai fini della validazione di tali strumenti di calcolo per lo studio di fenomenologie rilevanti per il progetto della sicurezza nei sistemi innovativi, che in particolare coinvolgono l'utilizzo di sistemi passivi, e per il mantenimento della capacità di progettazione ed interpretazione di campagne sperimentali attraverso l'utilizzo degli strumenti numerici più idonei. Per quanto riguarda i codici, occorrerà:</p> <ul style="list-style-type: none"> Apportare modifiche ai nodding dell'impianto al fine di descrivere in modo esaustivo il comportamento dei sistemi di emergenza e gli aspetti tridimensionali di alcuni componenti del sistema (ad esempio l'annular-downcomer); Approfondire gli aspetti inerenti delle perdite termiche dell'impianto;

	miglioramento dei modelli, in particolare per CATHARE, sia aumentando il numero di test per la V&V.	<ul style="list-style-type: none"> Valutare in modo esatto la portata critica alla rottura.
C.2 Valutazione e sperimentazione di componenti e sistemi passivi per il miglioramento della sicurezza nei reattori futuri		
<ul style="list-style-type: none"> Sviluppo e validazione di una metodologia progettuale per sistemi di rimozione e trasporto della potenza termica 	<p>SIET ha svolto un'analisi di tutti i dati sperimentali ricavati nelle varie campagne di prova dello Spool Piece per definire potenzialità e limiti di utilizzo per impiego in sperimentazioni su sistemi integrali tipo SPES-3. Considerando una matrice di prove tridimensionale portata-titolo-pressione, è stato possibile definire le zone in cui lo Spool Piece non può essere impiegato per limiti tecnici e le zone in cui invece può essere impiegato. Inoltre, sulla base dell'analisi dei dati precedentemente acquisiti e di nuovi test di stabilità, è stata valutata in modo accurato l'incertezza introdotta dai diversi strumenti dello spool piece nella misura del parametro "portata massica". Poiché questa incertezza risultava eccessivamente elevata per alcune zone di funzionamento, sono state individuate le principali cause e proposti dei miglioramenti alla strumentazione che potranno ridurre l'incertezza della misura al di sotto del 15%. La modellazione dello Spool Piece per la stima dei parametri caratteristici di un deflusso bifase è stata l'oggetto delle attività di POLITO. Il dispositivo considerato è costituito da un tubo di Venturi e dalla sonda ad impedenza sviluppata dalla SIET per la stima della frazione di vuoto. I deflussi di interesse sono quelli ad elevata frazione di vuoto, con flow patterns che coinvolgono il moto anulare, il moto anulare – disperso, il moto stratificato. Per integrare la matrice sperimentale, ottenuta da POLITO, è stata condotta una campagna sperimentale, con la sonda montata in configurazione orizzontale, composta di 30 prove sperimentali in regime di "wet gas" (grado di vuoto superiore al 98%). I risultati ottenuti dall'interpretazione dei dati sperimentali mostrano che, allo stato attuale della ricerca, la sonda a impedenza è molto interessante per il riconoscimento del flow pattern, ma non consente di realizzare un segnale che permetta di caratterizzare il comportamento del Venturi.</p>	<p>L'attività per il PAR2015 si propone di generalizzare una metodologia progettuale valida per l'applicazione a reattori di diversa concezione attraverso i seguenti passi: a) Sviluppo di una metodologia numerica per la caratterizzazione delle potenze rimuovibili da parte del pozzo ultimo, "isolation condenser" o altri sistemi, basati sulla circolazione naturale e sulle specifiche termiche dello scambiatore di calore tra circuito primario e circuito secondario; b) Caratterizzazione teorica dei meccanismi di scambio termico e di trasporto che permettano di dimostrare la funzionalità e affidabilità dei sistemi ipotizzati (dalla sorgente termica al pozzo); c) Validazione della metodologia con indagini mirate alla progettazione e costruzione degli scambiatori di calore compatti, di interesse anche per le industrie del settore; e d) Applicazione della metodologia ai reattori avanzati di riferimento.</p> <p>Tale metodologia, sarà inizialmente focalizzata allo studio di sistemi di sicurezza passivi che facciano uso di scambiatori di calore compatti e per la sua validazione preliminare ci si avvarrà del data base sperimentale su scambiatori a tubi elicoidali ed a baionetta costruito tramite le prove condotte in passato presso i laboratori della SIET.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Validazione dei modelli RELAP5 dello scambiatore di calore HERO-2 	<p>Nel corso di precedenti annualità, presso i Laboratori SIET, è stato realizzato e testato un circuito di prova per generatori di vapore a tubi elicoidali. Questo circuito è stato utilizzato nella corrente annualità per testare dei generatori di vapore con tubi a baionetta. Il componente è stato messo a disposizione da ENEA, mentre SIET si è occupata del montaggio e la realizzazione delle prove. La sezione di prova, chiamata HERO-2, è costituita da una coppia di tubi a baionetta costituiti da un tubo interno che convoglia il liquido in ingresso e un tubo esterno riscaldato elettricamente. Nell'intercapedine tra i due tubi si realizza la generazione di vapore. Il riscaldamento è stato realizzato con un totale di 210 resistori elettrici che avvolgono i due tubi esterni per tutta la loro lunghezza. Ogni tubo è stato suddiviso in due zone di riscaldamento controllato indipendentemente. La potenza totale netta per ogni tubo è di circa 22 kW. La pressione di progetto della coppia di tubi a baionetta, in previsione di futuri utilizzi, è di 180 bar, ma l'attuale facility è in grado di operare a una pressione di 70 bar ed una portata di 0.1 kg/s per tubo.</p>	<p>Per quanto riguarda la definizione dell'attività sperimentale che verrà condotta nei laboratori della SIET, la base di partenza sono i risultati delle prove condotte sullo scambiatore di calore a tubi a baionetta HERO-2. Le analisi preliminari dei test termoidraulici in regime stazionario per la caratterizzazione dello scambio termico hanno mostrato alcune discrepanze che richiedono un ulteriore approfondimento da parte di SIET. A valle di questa attività ci si attende un data base corretto che sarà utilizzato da ENEA e POLIMI per la validazione dei modelli RELAP5 dello scambiatore dei tubi a baionetta utilizzati per la definizione della matrice sperimentale (ENEA) e per le analisi relative allo scambiatore implementato in un SMR PWR (POLIMI).</p>
<ul style="list-style-type: none"> Progettazione, realizzazione ed interpretazione di prove sperimentali per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento 	<p>L'impianto è in grado di alimentare la sezione di prova con acqua sottoraffreddata o satura e allo scarico della sezione di prova è presente un sistema di separatori e valvole in grado di attuare il controllo della pressione d'uscita. Il principale limite di sicurezza è rappresentato dalla massima temperatura ammissibile per i riscaldatori esterni di 350°C.</p> <p>I test termoidraulici che sono stati condotti hanno consentito la creazione di un prezioso database finalizzato alla caratterizzazione dello scambio termico, e alla rilevazione e quantificazione delle instabilità termoidrauliche dei tubi in specifiche condizioni operative. In quest'ottica ENEA ha condotto anche simulazioni preliminari con il codice di sistema RELAP5 al fine di determinare la matrice di prova. I dati provenienti dalla campagna sperimentale sono stati utilizzati per una verifica preliminare del modello termoidraulico impiegato nella fase di pre-test, la sua calibrazione e per la conduzione di simulazioni post-test.</p> <p>Grazie al controllo accurato delle condizioni al contorno e ad apposita strumentazione, il database è stato e sarà un'ottima banca dati per la qualifica di codici di calcolo utilizzati a supporto della progettazione e per l'analisi incidentale dei reattori. Inoltre, consentirà un confronto preliminare delle prestazioni tra tali generatori di vapore e quelli a tubi elicoidali, alle diverse condizioni di interesse per reattori SMR.</p>	<p>I modelli validati permetteranno di definire una matrice di test in regime transitorio per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento in condizioni rappresentative di un reattore SMR ad acqua pressurizzata. SIET condurrà le prove sperimentali sullo scambiatore HERO-2, opportunamente connesso con tubi di condensazione in piscina, per il trasferimento del calore al pozzo termico. Per queste prove si utilizzerà la configurazione dello scambiatore HERO-2 attuale. Vale a dire che, per le condizioni di prova, la pressione nella facility non supererà i 70 bar, la massima potenza per tubo sarà limitata a 22 KW e la temperatura del vapore non potrà superare i 400 °C.</p>

d. COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI		
<ul style="list-style-type: none"> Organizzazione di seminari tematici, workshop e partecipazione a congressi 	<p>In questa annualità, oltre ai previsti workshop di apertura e chiusura, alla partecipazione a congressi internazionali, e alla produzione di un adeguato numero di documenti tecnici per pubblicazioni in riviste internazionali, si è organizzato un seminario tematico sul C-14 nei rifiuti destinati al deposito, tenutosi presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna. Si è inoltre preso parte al seminario organizzato in data 11 settembre, presso la sede ENEA di Roma, dal titolo: «Reattori di IV Generazione e Sicurezza Nucleare».</p>	<p>L'ENEA, come già fatto nel PTR2012-14, si impegna a provvedere alla diffusione delle attività di ricerca che verranno svolte nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-MISE, linea progettuale LP1, organizzando una serie di seminari, oltre al kick-off e al workshop finale. Oltre a questi eventi tecnici, è prevista la preparazione di un numero di documenti tecnici da pubblicare attraverso il sito Web dell'ENEA e su riviste scientifiche a tiratura nazionale e internazionale, e la partecipazione a workshop e congressi internazionali con la produzione di contributi elaborati sfruttando i temi di ricerca presenti nel PAR 2015.</p>

LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
b.1	Ammortamento macchina Detonation Spray e relativi sistemi ausiliari	110.000	22.000	20%
c.1	Acquisto valvola regolazione vapore ad elevata pressione e temperatura	40.000	40.000	100%
c.1	Up-grade impianto LIFUS-5. Nuova sezione di Prova. Implementazione sistema di regolazione e controllo ad elevata frequenza	85.000	85.000	100%
c.2	Sistema Leakege Lifter pompa di circolazione	55.000	55.000	100%
c.2	Sistema acquisizione dati impianto SOLIDX	15.000	15.000	100%

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Acquisto dati sperimentali in canale veloce reattore termico per validazione codici di calcolo neutronici	35.000
a.3	Acquisto licenza RELAP5-3D	15.000
b.1	Estensimetri assiali per elevate temperature	10.000
b.1	Manutenzione ordinaria spettrometro di massa	10.000
b.2	Elementi e composti metallici per prove di oxygen getters (Zr, Ti, Ta, Mg, PbO) Prodotti chimici (etanolo, acido acetico, acqua ossigenata) per soluzione di pulizia dei componenti impianto PLACE e Lab Chimica del Piombo	10.000
b.2	Gas tecnici per il controllo dell'ossigeno. Regolatori di portata gas e raccorderia Materiale ceramico per sensori. Crogioli Allumina	45.000
c.2	Ripristino gruppo elettrogeno di impianto	20.000
c.2	Rifacimento coibentazione impianto. Gas tecnici. Strumentazione standard impianto	20.000
d	Costi per pranzo e cene di lavoro. Trasporti. Materiale didattico	5.000
TOTALE		170.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

In ambito LP2, l'acquisizione di competenze viene dal contributo chiesto a CSM SPA, Le attività sono tutte concentrate nell'obiettivo b, task "Sviluppo di ricoperture a base FeCrAl per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo". Il dettaglio delle attività è riportato nelle sezioni precedenti, dove sono descritte le specifiche tematiche, L'importo è pari a 50.000,00 €.

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob,	Denominazione obiettivi	Importo (€)	Università	Motivazioni
a. Progettazione di sistema e analisi di sicurezza				
a.1.1	Progettazione Nocciolo	10.000	UNIBO	UniBo Dispone di un gruppo di progettazione di nocciolo affermato (collaborazione JHR)
a.2.1	Valutazione di un formalismo di aggiustamento di sezioni d'urto utilizzando dati sperimentali dal reattore TAPIRO	15.000	POLITO	POLITO dispone di un gruppo di ricerca di valenza internazionale sul calcolo di trasporto neutronico
a.2.2	La metodologia perturbativa HGPT-BU applicata all'analisi del reattore ALFRED	15.000	UNIROMA1	UNIROMA1 dispone delle competenze del calcolo mediante codice di cinetica neutronica 30 e metodologia 6PT
a.3.1	Supporto alla progettazione nucleare del combustibile nucleare LFR	15.000	POLIMI	POLIMI dispone delle competenze, riconosciute a livello internazionale, per l'analisi termomeccanica di barretta e fuel safety
a.3.2	Sviluppo e validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione	10.000	UNIROMA1	UNIROMA1 dispone delle competenze per l'analisi termoidraulica del nocciolo del reattore, con particolare esperienza sui sistemi a sodio.
a.3.3	Sviluppo codici multifisica per analisi di sicurezza	15.000	POLITO	POLITO ha sviluppato il codice FRENETIC
a 4	Simulazione dell'interazione tra refrigerante, fuel e prodotti di fissione in sistemi LFR.	15.000	POLIMI	POLIMI dispone delle competenze, riconosciute a livello internazionale, sull'applicazione di meccanica quantistica e DFT
b. Sviluppo materiali e chimica del refrigerante				
b.1.2	Qualifica coating e materiali strutturali	30.000	POLIMI (UT)	POLIMI tramite UT è leader internazionale sulla tecnica di deposizione per PLD
b.1.6	Modelling Corrosione	15.000	POLIMI	POLIMI dispone delle competenze, riconosciute a livello internazionale, sull'applicazione di meccanica quantistica
c. Termoidraulica del refrigerante				
c.1.1	Progettazione campagna sperimentale HERO	15.000	UNIROMA1	UNIROMA1 dispone delle competenze sui GV con tubi a baionetta poiché da anni collabora con ENEA su questa tecnologia
c.1.3	Studi per l'accoppiamento fra codici di calcolo	30.000	UNIFI	UNIFI è leader internazionale per analisi strutturale applicata a sistemi nucleari
c.1.3	Studi per l'accoppiamento fra codici di calcolo	15.000	UNIBO	UNIBO ha sviluppato il codice FEM-LCORE
TOTALE		200.000		

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

1. Progetto MATISSE "Materials' Innovations for a Safe and Sustainable nuclear in Europe"
 - a. EURATOM H2020
 - b. Start November 2013 (48 mesi)
 - c. Coordinamento CEA (Francia)
2. Progetto MARISA "Myrrha Research Infrastructure Support Action"
 - a. EURATOM H2020
 - b. Start September 2013 (36 mesi)
 - c. Coordinamento SCK-CEN (Belgio)
3. Progetto SEARCH "Safe ExploitAtion Related CHemistry for HLM reactors"
 - a. EURATOM FP7
 - b. Start November 2012 (36 mesi)
 - c. Coordinamento SCK-CEN (Belgio)
4. Progetto MAXSIMA "Methodology, Analysis and eXperiments for the "Safety In MYRRHA Assessment"
 - a. EURATOM H2020
 - b. Start November 2012 (48 mesi)
 - c. Coordinamento SCK-CEN (Belgio)

5. Progetto SESAME "thermal hydraulics Simulations and Experiments for the Safety Assessment of Metal cooled reactors"
 - a. EURATOM H2020
 - b. Start April 2015 (48 mesi)
 - c. Coordinamento ENEA
6. Progetto MYRTE "MYRRHA Research and Transmutation Endeavour "
 - a. EURATOM H2020
 - b. Start April 2015 (48 mesi)
 - c. Coordinamento SCK-CEN (Belgio)
7. Progetto ESNII+ "Preparing ESNII for HORIZON 2020"
 - a. EURATOM FP7
 - b. Start June 2013 (48 mesi)
 - c. Coordinamento CEA (Francia)
8. Progetto ARCADIA "Assessment of Regional Capabilities for new reactors Development through an Integrated Approach"
 - a. EURATOM FP7
 - b. Start June 2013 (36 mesi)
 - c. Coordinamento ICN (Romania)

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Denominazione obiettivi	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a. Progettazione di Sistema e Analisi di Sicurezza		
a.1 Progettazione Nocciolo		
Analisi degli effetti tridimensionali di perturbazioni locali	NON PRESENTE	Analisi di fenomeni perturbativi nocciolo ALFRED durante il normale funzionamento di impianto (es. estrazione barra di controllo)
Affinamento della procedura di analisi dell'incertezza di dati nucleari su parametri integrali	NON PRESENTE	Valutazione della confidenza dei principali parametri di progettazione neutronica e termoidraulica di nocciolo
Validazione di codici di analisi neutronica per LFR	NON PRESENTE	Validazione codici di neutronica mediante code-to-code benchmark e confronto con dati sperimentali
a.2 Dati Nucleari e supporto alla progettazione		
Valutazione di un formalismo di aggiustamento di sezioni d'urto utilizzando dati sperimentali dal reattore TAPIRO	NON PRESENTE	Analisi di fattibilità di una campagna sperimentale di irraggiamento di Attinidi Minori (AM) da condursi nel reattore sorgente veloce TAPIRO
La metodologia perturbativa HGPT-BU applicata all'analisi del reattore ALFRED	Accoppiamento nel codice ERANOS della procedura GMECCYCO e metodologia GPT	Analisi dettagliate nocciolo ALFRED in relazione a: quantità di elementi specifici alla fine del ciclo di vita del reattore; coefficienti di reattività (per es., effetto Doppler ed effetto di vuoto del refrigerante) durante il burn-up; reattività residua al termine del ciclo di vita del reattore.

a.3 Analisi di Sicurezza		
Supporto alla progettazione nucleare del combustibile nucleare LFR	Sviluppo versione LFR-oriented del codice TRANSURANUS. Analisi di performance delle barrette di combustibile del reattore di riferimento ALFRED	Aggiornamento del modello inter-granulare dei gas di fissione, per il trattamento del rilascio dovuto al micro-cracking al bordo dei grani (burst release model). Sviluppo/aggiornamento di un modello preliminare per la diffusione intra-granulare dei gas di fissione, che sia accoppiato con i meccanismi di "trapping" e "resolution" durante i transitori. Sviluppo/aggiornamento di un modello preliminare per i gas di fissione nelle High Burnup Structure (HBS).
Sviluppo e validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione	Applicazione e validazione dell'approccio per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione, Attività multi-physics e multi-scale basato sulla disponibilità dei dati sperimentali misurati nel reattore EBR-II durante l'esecuzione dei test sperimentali: protected (SHRT-17) ed unprotected (SHRT-45r) loss of flow, Upgrading dei modelli numerici di core compaction per rappresentare con maggior dettaglio la core region e l'elemento di combustibile,	Finalizzazione dell'attività sul reattore EBR-II, attraverso la simulazione termoidraulica / neutronica del test SHRT-45r (unprotected loss of flow); Sviluppo di un modello RELAP5-3D© del reattore PHENIX, in sinergia con il progetto FP7 MAXSIMA
Sviluppo codici multifisica per analisi di sicurezza	Sviluppo e Prima Qualifica codice FRENETIC	Qualifica codice FRENETIC mediate benchmark EBR-II
Studi di Flow Blockage sull'elemento di combustibile del reattore ALFRED	NON PRESENTE	Effetti Flow-Blockage sull'elemento di combustibile reattore ALFRED
Progettazione di SPND innovativi ottimizzati per la misura di flussi neutronici veloci e procedura sperimentale per prove di irraggiamento	Ottimizzazione simulazioni MCNP e acquisizione strumentazione catena di acquisizione e controllo, da testare prima dell'irraggiamento in reattore,	Realizzazione prototipo SPND da testare su TAPIRO
a.4 Rilascio e Migrazione dei Prodotti di Fissione		
Simulazione dell'interazione tra refrigerante, fuel e prodotti di fissione in sistemi LFR	Valutazione della composizione del sistema Pb-MOXirr all'equilibrio termodinamico mediante un codice basato sulla minimizzazione dell'energia libera di Gibbs del sistema	Determinazione sperimentalmente mediante diverse tecniche di analisi termica dei parametri termodinamici di composti di Pb con isotopi stabili dei principali prodotti di fissione e confrontati con i corrispondenti parametri stimati mediante metodi semiempirici o mediante informazioni derivanti da simulazioni DFT,
b. Sviluppo Materiali e Chimica del Refrigerante		
b.1 Qualifica, modellazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR		
Sviluppo di ricoperture a base FeCrAl per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo	Sviluppo coating per PACK Cementation	Ottimizzazione e Qualifica coating Pack Cementation
Sviluppo di ricoperture per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo mediante tecniche di ablazione laser	Sviluppo coating per Pulsed Laser Deposition	Ottimizzazione e Qualifica coating Pulsed Laser Deposition
Caratterizzazione meccanica e mediante irraggiamento di materiali strutturali ricoperti per applicazioni nucleari	Avvio caratterizzazione sotto irraggiamento con ioni pesanti coating proposti	Caratterizzazione sotto irraggiamento con ioni pesanti coating realizzati
Prove di CREEP-RUPTURE su materiali strutturali ricoperti per applicazioni in sistemi refrigerati a metallo liquido pesante	Implementazione macchina creep-rupture e primi test	Test creep rupture su provini ricoperi in piombo
Caratterizzazione delle proprietà meccaniche, di corrosione in piombo e di swelling dell'acciaio doppio stabilizzato DS4	Realizzazione DS4 e prima caratterizzazione meccanica	Caratterizzazione sotto irraggiamento con ioni pesanti e in piombo DS4
Caratterizzazione e modelling dei processi di ossidazione in metallo liquido pesante	NON PRESENTE	Determinazione mediante metodi computazionali delle grandezze termodinamiche e strutturali relative agli ossidi misti del piombo coi costituenti dell'acciaio

b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante		
Studio di elementi metallici come oxygen getters per piombo liquido	NON PRESENTE	Studi sui getter di ossigeno da utilizzarsi in piombo, Screening e scelta materiali
Implementazione di un OCS (Oxygen Control System) per impianti a metallo liquido pesante	Realizzazione Sonde Ossigeno e loro qualifica	Implementazione OCS su impianti a loop
c. Termoidraulica del refrigerante		
c.1 Sperimentazione e Modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi		
Progettazione campagna sperimentale HERO	Progettazione e approvvigionamento della strumentazione del sistema secondario di CIRCE, sezione di prova HERO, per qualifica GV ALFRED	Preparazione della facility sperimentale e sviluppo nodalizzazioni per codici di calcolo termoidraulici di sistema, basate sulle informazioni disponibile nell'engineering handbook dell'impianto preparato durante il PAR 2014
Rilevazione e caratterizzazione sperimentale delle piccole perdite nel generatore di vapore di un reattore a metallo liquido pesante	Concettualizzazione Impianto LIFUS-5 per prove leakage-before-break	Realizzazione up-grade impianto
Studi per l'accoppiamento fra codici di calcolo	Sviluppo metodologie di accoppiamento CFD-System Code in piscina	Continuare lo sviluppo di tale metodologia di calcolo in modo da ottimizzare il modello finora sviluppato e condurre simulazioni numeriche relative a test non isotermi sull'apparecchiatura a piscina CIRCE con potenza variabile fornita dal Fuel Bundle e eventuale transizione da Full Power a Decay Heat Removal conditions,
c.2 Studi sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR		
Upgrade strumentazione impianto HELENA e Prove di Circolazione	Progettazione Leakage Lifter Impianto HELENA	Installazione Leakage Lifter su impianto HELENA e up-grade strumentazione per prove di circolazione
Prove di caratterizzazione impianto NACIE-UP con flow meter termico	Progettazione Flow Meter. Prove di circolazione naturale per analisi di sicurezza	Installazione flow meter termico su impianto NACIE-UP e up-grade strumentazione per prove di circolazione
Studi sul congelamento del refrigerante in sistemi a metallo liquido pesante	Progettazione e realizzazione impianto SOLID-X	Commissioning e test Impianto SOLID-X

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Nell'ambito della fusione termonucleare controllata Europa, Cina, Corea del Sud, India, Giappone, Federazione Russa e Stati Uniti hanno riunito i loro sforzi in un progetto di grande prestigio, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), che rappresenta una tappa fondamentale per arrivare alla realizzazione del primo reattore dimostrativo a fusione (DEMO). Per sfruttare al meglio la sperimentazione di ITER è necessario prevedere delle attività complementari di fisica e tecnologia ed in quest'ottica l'Europa e il Giappone, in occasione delle negoziazioni per la scelta del sito di ITER, hanno deciso di avviare in parallelo un programma denominato Broader Approach (BA) da affiancare ad ITER.

Il BA include una serie di attività finalizzate: alla realizzazione di componenti ad alto contenuto tecnologico per la nuova macchina JT-60SA; alla realizzazione di prototipi per la validazione del progetto della sorgente intensa di neutroni IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) e alla realizzazione di un centro di studi denominato IFERC (International Fusion Energy Research Center) indirizzato a ricerche sui nuovi materiali.

L'Italia partecipa allo sviluppo del Programma Broader Approach, ed in particolare ad ENEA sono state affidate le seguenti attività:

- Realizzazione, in collaborazione col CEA francese, del magnete superconduttore di JT-60SA, con la realizzazione di nove delle 18 bobine superconduttrici di NbTi che costituiscono l'intero magnete, incluse le casse di contenimento e le alimentazioni elettriche.
- Ricerca e sviluppo per IFMIF-EVEDA che richiedono lo sviluppo di competenze e l'elaborazione di applicazioni innovative nel campo dei metalli liquidi, in particolare per gli aspetti legati alla purificazione e alla corrosione/erosione del litio liquido, e della progettazione e manutenzione remota del Target Assembly (TA).

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Il programma fusione è uno dei campi di eccellenza della ricerca in Italia. Il programma è coordinato a livello europeo dall'Euratom e vede la partecipazione di tutti i paesi UE più la Svizzera. Le attività italiane, sono condotte dall'ENEA, che ha la funzione di coordinatore, dal CNR e da molte Università italiane. ENEA e CNR hanno inoltre costituito con altri partner il Consorzio RFX.

La ricerca sulla fusione, essendo ormai orientata verso la realizzazione del reattore, richiede di sviluppare oltre alle conoscenze di fisica anche le tecnologie relative ai materiali, ai processi di fabbricazione dei componenti ed alla manutenzione remotizzata. In questo contesto, particolare rilevanza presentano le tecnologie dei magneti superconduttori e dei componenti di grosse dimensioni ed alte precisioni.

Parallelamente all'impiego di ITER, la comunità scientifica, è impegnata a individuare e provare i materiali strutturali più adatti a rispondere alle differenti richieste di un prototipo dimostrativo di reattore a fusione. La fusione termonucleare pone una doppia sfida agli specialisti di materiali: alte temperature operative (fino ad 800 °C) ed alti flussi di neutroni da 14 MeV con spettro da fusione che in un anno inducono danneggiamenti quantificabili in 50 dpa. La conduzione di ricerche appropriate in questa area di sviluppo richiede la realizzazione e l'impiego della sorgente di neutroni IFMIF. Per tale motivo nell'ambito delle attività tecnologiche di Broader Approach vengono previste azioni per progettare e realizzare la sorgente di neutroni da 14 MeV completa di due acceleratori di deutoni accoppiati in parallelo. Lo sviluppo delle tecnologie dei metalli liquidi, inoltre, è un punto di forza delle ricerche in ENEA che applica queste tecnologie non solo nel campo della fusione ma anche per i reattori a fissione di IV Generazione.

L'ENEA è tra i leader nel settore e grazie alla sua dotazione strumentale ed impiantistica può accrescere il know-how in un campo cruciale per le tecnologie dei futuri reattori nucleari.

Il magnete toroidale di JT-60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4,4 K e termicamente isolato sotto vuoto da un criostato metallico. Il conduttore in NbTi è stato ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida e migliorare la stabilità intrinseca. L'analisi di riscaldamento nucleare e flusso neutronico, assicura condizioni operative fortemente stabili con un margine di temperatura di 1,2 K. I disegni costruttivi sono stati sviluppati al livello di manifattura e comprendono sia i componenti meccanici della cassa di contenimento che gli avvolgimenti di bobina e le lavorazioni meccaniche di macchina necessarie a garantire le interfacce del modulo di magnete toroidale. I processi speciali sono stati qualificati utilizzando mock-up prima dell'inizio della manifattura. Sperimentazioni a temperature criogeniche di 4K sono state condotte su piccoli campioni per ottimizzare le prestazioni elettriche e fluidiche dei componenti superconduttori. Le attrezzature e i macchinari necessari alla completa realizzazione del processo costruttivo e per le operazioni di accettazione finale del modulo di magnete toroidale sono stati assemblati e collaudati. La linea di avvolgimento dei doppi pancake costituenti l'avvolgimento della bobina ha permesso alla ASG la realizzazione dei nove avvolgimenti di bobina completi di impregnazione e prove di accettazione, previsti dalla fornitura. Il primo dei nove avvolgimenti è stato inserito nei componenti della cassa utilizzando un'attrezzatura che adotta una tavola rotante su un asse orizzontale sostenuto da un banco rigido e massivo fissato a terra da speciali ancoraggi. I due componenti principali che avvolgono la bobina sono stati saldati utilizzando procedimento TIG, e il bagno di saldatura è stato raffreddato da gas portato da canaletti praticati sulla cassa. La bobina all'interno della cassa è stata posizionata con estrema precisione basandosi su misure laser tracker. Infine la bobina è stata chiusa assemblando i coperchi interni della cassa per saldatura.

Gli Switching Network Unit giocano un ruolo fondamentale negli esperimenti sul plasma finalizzati alla fusione nucleare. Analisi accurate hanno consentito il dimensionamento dei resistori di breakdown per mantenere le variazioni di tensione e la sovratemperatura nell'ambiente entro i limiti richiesti dall'impianto. Elemento centrale del sistema è la commutazione principale basata su una configurazione ibrida elettromeccanica-statica, ottenuta inserendo un sistema elettronico (static circuit breaker, SCB) in parallelo ad un contattore meccanico (by-pass switch, BPS). I risultati di simulazioni hanno suggerito l'aggiunta di un circuito di snubber "progressivo", progettato specificatamente per l'applicazione, in grado di regolare la velocità di salita della tensione allo scopo di ridurre lo stress sui componenti interni ed esterni agli SNU. Il prototipo di SNU è stato realizzato ed ha superato con successo prove funzionali in condizioni operative. Sulla base di questi risultati, nell'ambito del PAR2014, sono state realizzate ulteriori tre SNU.

Gli 8 alimentatori del sistema SuperConductor Magnet Power Supply (SCMPS) ad alta corrente AC/DC (6 alimentatori per le bobine poloidali CS1, CS2, CS3, CS4, EF1 e EF6, 2 alimentatori per le bobine Fast Plasma Position Control (FPPC) con relativi interruttori e trasformatori) e i relativi trasformatori, devono fornire una corrente continua regolabile in grado di riprodurre gli scenari di corrente desiderati. La progettazione è stata eseguita adottando criteri di modularità, affidabilità, manutenibilità, mitigazione del rischio e analisi dei guasti. I primi 4 trasformatori in resina hanno superato con successo le prove di corto circuito e le prove di accettazione di routine. Inoltre sono stati realizzati dei convertitori per il controllo veloce della posizione del plasma (FPPC), il prototipo del sistema di controllo di un convertitore per CS e i quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per i moduli CS1 e CS4 del solenoide centrale.

L'impianto IFMIF sarà una facility di ricerca di cospicuo rilievo, con una lunghezza di oltre 200 metri, progettata ad hoc. Il contributo ENEA, con l'impianto Lifus6, riguarda studi e sperimentazioni sui processi di purificazione in litio fluente a velocità di ca. 20 m/s con la misura dei corrispondenti ratei di erosione e corrosione prodotta dal litio. Attualmente le concentrazioni di carbonio, ossigeno ed idrogeno sono fortemente abbattute attraverso l'impiego di una Trappola Fredda, mentre il contenuto di azoto all'interno del litio circolante nell'impianto è pari a 70,4 wppm. Tale valore non risulta lontano dal valore richiesto pari a 30 wppm ottenibile una volta raggiunta la piena funzionalità della trappola calda. L'ENEA ha progettato il Target Assembly completo di calcolo di meccanica strutturale, termo-meccanica e analisi neutronica in condizioni nominali di funzionamento. Inoltre sono state eseguite operazioni di manutenzione sul Target Assembly sviluppando tutte le procedure di manutenzione remotizzata con la realizzazione dei dispositivi necessari per la loro esecuzione.

Obiettivo finale dell'attività

Il magnete toroidale di JT-60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4,4 K e termicamente isolato da un criostato. L'ENEA è responsabile della realizzazione e fornitura di 9 delle 18 bobine toroidali del magnete del Tokamak JT-60SA e gran parte degli alimentatori di alta tensione e corrente del sistema elettrico. A seguito di considerazioni sulla riduzione del rischio dell'assemblaggio della macchina JT-60SA è stato affidato ad ENEA il compito della realizzazione di una ulteriore bobina "Spare". L'integrazione finale della bobina nei componenti della cassa di contenimento viene eseguita utilizzando un'attrezzatura che adotta una tavola rotante su un asse orizzontale sostenuto da un banco rigido e massivo fissato a terra da speciali ancoraggi. La bobina è posizionata con grande precisione per poi essere chiusa nella cassa con operazioni di saldatura.

L'impianto IFMIF sarà una facility di ricerca di cospicuo rilievo, con una lunghezza di oltre 200 metri, progettata ad hoc. I suoi componenti principali saranno:

1. una sorgente di ioni (tipicamente ioni di deuterio);
2. due acceleratori lineari, di grande potenza (complessivamente 10 MW), che accelerano gli ioni di deuterio fino all'elevatissima energia di 40 MeV, facendo convergere i fasci di ioni sullo stesso bersaglio (target);
3. un target costituito da litio fuso in circolazione forzata ad alta velocità, su cui gli ioni di deuterio accelerati impattano, sviluppando neutroni di elevata energia mediante opportune reazioni nucleari.

ENEA, in ambito IFMIF, è responsabile europeo dello sviluppo del target per la produzione di neutroni. La proposta progettuale di ENEA comprende anche la intercambiabilità della parete posteriore del componente al fine di consentirne la sostituzione quando il danneggiamento del materiale raggiunge livelli inaccettabili. L'obiettivo finale di questa attività comprende la progettazione e validazione delle operazioni di manutenzione remota del target, la progettazione e validazione del sistema di purificazione del litio e la sperimentazione per la verifica dei ratei di corrosione ed erosione che il litio induce nei materiali strutturali.

Principali risultati previsti

- ✓ Completamento delle forniture e installazione presso il sito di Naka (Giappone) dei componenti previsti dall'accordo Broader Approach

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Non sono previste attività di coordinamento con RSE e CNR poiché le attività afferenti al tema Energia nucleare da Fusione sono di esclusiva responsabilità ENEA.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

La realizzazione di queste attività sono inserite nell'ambito delle attività di ricerca per la fusione, che vengono eseguite nel nostro Paese da alcuni decenni, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi e benefici previsti dalla fusione nel lungo periodo. Nello specifico, inoltre, tra i benefici ipotizzabili per gli utenti del sistema elettrico nazionale possono essere individuati:

- lo sviluppo di nuovi processi di produzione innovativi nel campo dei conduttori elettrici;
- lo sviluppo di nuovi materiali e di loro possibili applicazioni future per diversi usi energetici anche elettrici;
- lo sviluppo di tecnologie di saldatura innovative (Electron Beam per grandi spessori) per strutture metalliche di grande precisione per uso energetico;
- lo sviluppo di sistemi di interruzione di elevate correnti continue per applicazioni nella trasmissione della energia elettrica (HVDC);
- lo sviluppo di dispositivi di protezione crowbar ibridi (meccanici e statici) per alti valori di corrente continua di picco (26 kA) ed elevata energia specifica;
- lo sviluppo di sistemi di controllo veloce ad architettura modulare intelligente basate su tecnologia Field Programmable Gate Array (FPGA) per l'ottimizzazione delle diverse risorse del dispositivo;

- lo sviluppo di alimentatori non convenzionali in corrente continua finemente regolabili nel range: 1kV, ± 20 kA.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Macchina JT-60SA

L'obiettivo prevede la realizzazione completa di 2 moduli di magneti toroidali completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica. L'acquisizione di 6 lunghezze di cavo superconduttore per la realizzazione dell'avvolgimento della bobina "Spare". La fornitura dei moduli di magneti toroidali è accompagnata dalla realizzazione dei componenti meccanici per la composizione di ulteriori 8 cassette di contenimento.

Nell'ambito delle attività per le alimentazioni elettriche, si prevede di eseguire la consegna al porto di Yokohama (Giappone) delle 4 SNU di fornitura, secondo quanto previsto dagli allegati tecnici. In aggiunta si prevede la realizzazione dei trasformatori per CS2 e CS3, la realizzazione del prototipo di sistema crowbar di un convertitore CS/EF e i convertitori per le bobine CS1 e CS4 del Solenoide Centrale.

La realizzazione della macchina tokamak JT-60SA vede l'impegno di professionalità interne ad ENEA e collaborazioni industriali con la stipula di 4 contratti di fornitura con aziende specializzate. Le attività condotte con partner internazionali richiedono incontri con cadenza settimanale, oltre a frequenti interazioni volte al coordinamento delle attività. L'ingegneria incontra frequenti aggiornamenti prodotti da discussioni con i partner Europei e Giapponesi. Lo sviluppo delle fasi realizzative suggerisce a volte di adottare soluzioni industriali che si discostano da quanto previsto inizialmente. Tali soluzioni innovative devono essere validate e sviluppate in regime di garanzia di qualità.

Il preventivo per la sola spesa in attrezzature per la macchina JT-60SA ricadente nel presente PAR 2015 è stimato in 4.891 k€, di cui si dirà in maggior dettaglio nella seguente descrizione dei quattro subtask in cui è suddiviso l'obiettivo.

a.1 Fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale

Nell'ambito delle attività del PAR2015 l'obiettivo prevede la realizzazione completa dei primi 2 moduli di magneti toroidali completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica. Il modulo di magneti toroidali è realizzato inserendo l'avvolgimento di bobina all'interno dei componenti della cassa di contenimento. La chiusura della cassa per saldatura, l'impregnazione dell'avvolgimento in cassa (embedding) e le lavorazioni finali di macchina assicurano le caratteristiche di interfaccia richieste dal modulo di magneti toroidali. Nella stessa annualità del PAR2015 vengono acquisite 6 lunghezze di cavo superconduttore per la realizzazione dell'avvolgimento della bobina "Spare".

Per monitorare in dettaglio il contratto con ASG, che in questa fase prevede un intenso sviluppo di giunzioni saldate, un professional ENEA frequenterà il corso di Welding Engineer organizzato dall'Istituto Italiano di Saldatura (IIS). Inoltre il personale ENEA, esegue elaborazioni dei dati di misura laser tracker per la definizione del posizionamento finale della bobina all'interno dei componenti della cassa e definisce i criteri di lavorazione finale di macchina della cassa per assicurare le necessarie interfacce.

Nelle frequenti interazioni con i partner internazionali vengono discusse e recepite le esigenze evidenziate dalle operazioni successive cui sarà sottoposto il modulo di magneti toroidali fino al montaggio nella macchina Tokamak. Tale attività rende più confidente l'ENEA del rispetto dei tempi e dei costi complessivi del modulo di magneti toroidali.

Quanto sopra è già previsto nell'ambito del contratto di ricerca pluriennale stipulato con ASG Superconductors S.p.A. nel corso del PAR 2010 per l'importo complessivo di 17.258 k€. La quota di spesa in attrezzature relativa a detto contratto ricadente nell'arco temporale della presente annualità è di 972 k€.

a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA

Nell'ambito del PAR2015 si prevede di realizzare componenti meccanici per la composizione di ulteriori

otto casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica. E' da ricordare che nel PAR2014 sono state realizzate e consegnate sei casse di contenimento di cui tre alla ASG e tre alla ALSTOM.

L'impegno di personale ENEA, oltre al monitoraggio del contratto Walter Tosto, risulta dalla direzione di campagne di prova sui materiali forgiati condotte sia a temperatura ambiente che a temperatura criogenica. Gli studi e le prove sui materiali forgiati prevedono una collaborazione con l'istituto RTM Breda per l'esecuzione di prove a temperature dell'elio liquido, di analisi metallografiche e chimiche e studi sulle inclusioni e sui grani, e comportano per ENEA benefici diretti in termini di costi e tempi.

Quanto sopra ricade nell'ambito del contratto pluriennale stipulato con Walter Tosto nel corso del PAR 2011 ed emendato nel corso del PAR2014 per un importo complessivo di circa 10.156 k€. La quota di spesa in attrezzature relativa a detto contratto prevista nella presente annualità è di 1.988 k€.

a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit" (SNU)

Lo sviluppo delle attività contrattuali prevede di eseguire la realizzazione completa delle attrezzature di trasporto ed effettuare la consegna fino al porto di Yokohama (Giappone) delle 4 SNU di fornitura, secondo quanto previsto dagli allegati tecnici.

L'impegno di personale ENEA, oltre al monitoraggio del contratto OCEM-Energy Technology, è volto alla soluzione, attraverso frequenti visite a Naka e continue interazioni con F4E e JAEA, di problemi di interfaccia esistenti fra il sistema elettrico SNU e gli altri componenti elettrici già presenti nel sito di Naka.

Quanto sopra è già previsto nell'ambito del contratto pluriennale stipulato con l'impresa OCEM Energy Technology Srl nel corso del PAR2011 per l'importo complessivo di 3.509 k€. La quota di spesa in attrezzature relativa a detto contratto ricadente nel PAR2015 per le attività succitate è di 350 k€.

a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA

Nel presente PAR2015, si prevede di dare corso alle seguenti attività:

- 4a) completamento della realizzazione dei convertitori per CS1 e CS4 e l'esecuzione delle prove di accettazione;
- 4b) realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS2 e CS3;
- 4c) completamento della realizzazione dei convertitori per CS2, CS3 ed esecuzione delle relative prove di accettazione;
- 4d) realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per EF1 e EF6.

Nel corso di questa annualità raggiungeranno la fase di completamento le attività relative alle Fasi 3b), 3c), già avviate nel PAR2014, e 4a).

L'impegno di personale ENEA, oltre al monitoraggio del contratto POSEICO-JEMA, cura, attraverso frequenti visite a Naka e continue interazioni con F4E e JAEA, i problemi di interfaccia esistenti fra gli alimentatori elettrici e gli altri sistemi elettrici già presenti nel sito di Naka. Inoltre vengono organizzati frequenti Design Review Meeting (DRM) con la partecipazione di tutti i partner internazionali con l'obiettivo di finalizzare le soluzioni tecniche degli apparati elettrici oggetto di fornitura.

Quanto sopra è già previsto nell'ambito del contratto pluriennale stipulato con l'Associazione temporanea d'impresa POSEICO-JEMA per un importo complessivo di 8.640 k€; mentre la quota di spesa in attrezzature relativa alle attività 3b), 3c) e 4a) di detto contratto ricadente nella presente annualità è stimata complessivamente in 1.581 k€.

Risultati/Deliverable:

- Completamento dei primi 2 moduli di magneti toroidali completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica
- Componenti meccanici per la composizione di ulteriori otto casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica
- Realizzazione delle attrezzature di trasporto ed esecuzione della consegna fino al porto di Yokohama (Giappone) delle 4 SNU di fornitura, secondo quanto previsto dagli allegati tecnici

- La realizzazione dei trasformatori per CS2 e CS3
- La realizzazione del prototipo di sistema crowbar di un convertitore CS/EF
- Completamento della realizzazione dei convertitori per CS1 e CS4 e l'esecuzione delle prove di accettazione

Principali collaborazioni: Contratto esterno

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF

b.1 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti gli impianti a litio ELTL e LIFUS6 per attività sperimentali su corrosione/erosione, purificazione, termo idraulica e cavitazione per IFMIF

IFMIF è progettato per operare in litio fluente, con velocità di picco di 20 m/s e portate fino a 130 l/s, ad una temperatura massima di 300°C. Per le attività sperimentali da eseguire con il litio sono stati realizzati due impianti: l'*EVEDA Lithium Test Loop (ELTL)* in Giappone e *Lifus 6* in Italia. In particolare l'*ELTL* permette di studiare la termo-idraulica del Target Assembly e i fenomeni di cavitazione, mentre *Lifus 6* è stato concepito per lo studio dei fenomeni di erosione/corrosione indotti dal litio ad elevata purezza. L'ENEA partecipa anche alle attività sperimentali che sono eseguite in Giappone per gli aspetti riguardanti la cavitazione. A tal fine l'ENEA ha fornito i sistemi di monitoring della cavitazione oltre ad altri dispositivi, da utilizzare in futuro, come il sistema di misura della resistività elettrica del litio (Resistivity Meter - RM) che è indicativo della quantità di impurezze disciolte in Litio.

Il Consorzio RFX si occuperà degli aspetti legati allo sviluppo di soluzioni progettuali delle interfacce tra i vari componenti del prototipo di acceleratore, di questi con l'edificio che li dovrà ospitare e con i sistemi ausiliari. Parte dell'attività sarà dedicata al progetto delle apparecchiature prototipali che dovranno essere successivamente utilizzate per condurre le campagne sperimentali previste nell'accordo.

La corrosione che il litio esercita sugli acciai è ben documentata in letteratura, ma le conoscenze sui fenomeni di erosione sono abbastanza limitate. In ogni caso IFMIF per il suo funzionamento richiede un tasso ridottissimo di corrosione/erosione, corrispondente ad 1µm/anno per il target e a 50µm/30anni per le tubazioni, che deve essere accuratamente verificato per poter esercire in sicurezza l'impianto per tutto il tempo richiesto dalle campagne sperimentali di irraggiamento.

L'impianto Lifus6 è stato realizzato nel centro ENEA del Brasimone per testare la resistenza alla corrosione/erosione dei materiali strutturali utilizzati in IFMIF, in particolare acciai ferritici-martenistici a bassa attivazione, quali Eurofer 97 ed F82H (materiale prodotto in Giappone ed equivalente all'Eurofer 97), nelle condizioni operative di IFMIF ed anche più severe. Ultimata la realizzazione dell'impianto ed il suo commissioning in Argon, alla fine del 2014 l'impianto è stato caricato con Litio e si è proceduto alla ulteriore verifica del funzionamento di tutti i dispositivi preposti alla movimentazione ed al controllo del metallo (valvole, riscaldatori, raffreddatori e flussimetri); per ovviare ad alcuni malfunzionamenti ed ottimizzare le procedure, in alcuni casi è stato necessario introdurre delle piccole modifiche hardware o software all'impianto.

Allo stesso tempo si è avviata la purificazione iniziale del Litio circolante nell'impianto. Uno dei requisiti essenziali dei test di resistenza alla corrosione/erosione è infatti l'esposizione dei materiali investigati ad un flusso di Litio liquido caratterizzato da un elevato grado di purezza: è infatti noto come la presenza di impurezze non metalliche (Carbonio, Ossigeno, Idrogeno ed in special modo Azoto) all'interno del Litio accentui fortemente il comportamento corrosivo del metallo stesso. Per tale motivo, l'impianto Lifus6 è stato equipaggiato con sistemi e dispositivi in grado di effettuare la purificazione del Litio (in particolare la concentrazione di Azoto deve essere ridotta a valori inferiore a 30 wppm) ed al contempo monitorare l'effettivo livello di purezza raggiunto. Alla conclusione della fase di purificazione iniziale, sarà possibile l'inserimento dei provini nella sezione di prova dell'impianto e l'avvio della vera e propria campagna sperimentale di corrosione/erosione.

Le condizioni operative di tale sperimentazione corrispondono a Litio liquido fluente a 330°C alla velocità di 15 m/s; all'interno di essa saranno eseguiti 3 differenti test, caratterizzati da differente durata (rispettivamente 1000, 2000÷3000 e 4000÷6000 ore). La valutazione della corrosione sarà effettuata sia

sulla base della perdita di peso che dell'osservazione visiva dei provini esposti. Campagne sperimentali per l'accertamento dei ratei di corrosione fino alla durata caratteristica di 8000 h (corrispondenti alla disponibilità d'impianto richiesta per IFMIF, attualmente di 7600 h per anno) potranno essere condotte negli anni seguenti.

Le attività sperimentali incluse nella presente annualità riguardano:

- 1) l'esecuzione dei test di erosione/corrosione di breve (1000 ore) e media durata (2000÷3000 ore), su un totale di 6 provini di Eurofer 97 e 6 provini di F82H;
- 2) la valutazione del grado di purezza del Lito sia nel corso della purificazione iniziale che nel corso delle prove di corrosione/erosione di breve e media durata. Tale valutazione consentirà di stimare anche l'efficienza dei dispositivi installati in Lifus 6 e preposti alla sua purificazione, così come la validazione del Resistivity Meter quale strumento in grado di dare una indicazione in tempo reale del grado di purezza del Lito.

Risultati/Deliverable:

- Risultati relativi alle campagne sperimentali di breve e medio termine sui fenomeni di erosione/corrosione da litio liquido fluente nell'impianto Lifus6
- Risultati relativi al grado di purezza del litio circolante nell'impianto Lifus6 ed al funzionamento ed efficienza di dispositivi e procedure per la purificazione.

Principali collaborazioni: Università di Firenze, Contratto RFX

Durata: ottobre 2015- settembre 2016

b.2 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica del sistema di manipolazione remota e della progettazione completa del target assembly di IFMIF

Il contributo ENEA riguarda la progettazione ingegneristica del target assembly di IFMIF, sviluppato in Italia, e la dimostrazione della fattibilità di tutte le operazioni di ricondizionamento e di sostituzione dello stesso.

La progettazione meccanica del target è stata già ultimata mentre i risultati delle analisi, termo-meccanica e nucleare, fin qui condotte suggeriscono l'esecuzione di attività sperimentali inerenti il comportamento del target nella fase transitoria di start up e in condizioni operative che si discostano dal funzionamento nominale.

Per quanto riguarda la sperimentazione delle condizioni di start up del TA, l'attività si propone di simulare, mediante un modello time-dependent agli elementi finiti (FEM), la fase di pre-riscaldamento del prototipo del Target Assembly di IFMIF installato presso il laboratorio DRP dell'ENEA Brasimone. Quest'ultimo verrà equipaggiato con un sistema di riscaldatori elettrici supplementari, la cui definizione e ottimizzazione in termini di layout geometrico e potenze termiche adottate è stata ricavata per mezzo dell'analisi già condotta nell'ambito della precedente annualità dell'Accordo di Programma ENEA-MSE. In particolare, sulla scorta delle indicazioni ottenute dalla suddetta analisi e dalle prove sperimentali, verrà installato un riscaldatore di opportuna potenza sulle superfici esterne del bersaglio al fine di garantire il raggiungimento della temperatura richiesta in tale fondamentale componente. Inoltre, verranno monitorati sperimentalmente gli effettivi andamenti temporali delle correnti (ovvero delle potenze termiche) applicate ai singoli riscaldatori quale output del sistema di controllo preposto alla gestione della rampe di salita della temperatura nei singoli componenti del sistema. Sulla base di tali input, verrà condotta una simulazione numerica "blind" adottando un modello FEM il più realistico possibile sia in termini di definizione geometrica del target e dei riscaldatori ad esso applicati che delle condizioni operative realizzate, tenendo conto in particolare dell'effettivo andamento dei flussi termici nel tempo, così come ricavato dal suddetto monitoring dell'output prodotto dal sistema di controllo dei riscaldatori. I risultati ottenuti dalla simulazione numerica costituiranno il riferimento per il confronto con i dati sperimentali ricavati dai tests di pre-riscaldamento eseguiti in laboratorio sul prototipo del Target Assembly.

Inoltre al fine di caratterizzare completamente il comportamento del Target Assembly di IFMIF, si rende necessario indagare il livello prestazionale dello stesso qualora, per qualche motivo, esso si trovi ad operare al di fuori del campo di funzionamento nominale previsto durante il normale regime di esercizio. A tal scopo, verranno condotte analisi neutroniche e termomeccaniche volte a valutare il comportamento del

target assembly nell'ipotesi che rimanga in funzione uno solo dei due acceleratori presenti a seguito dello spegnimento dell'altro in conseguenza di guasti, anomalie o altre cause che costringano ad operare in condizioni di potenza ridotta (ovvero, con potenza pari a 5 MW anziché a 10 MW come previsto nominalmente). Un'ulteriore condizione al di fuori dello scenario nominale di funzionamento che verrà esaminata prevede un restringimento della zona in cui avviene l'interazione deutoni-litio, da $20 \times 5 \text{ cm}^2$ a $10 \times 5 \text{ cm}^2$ a parità di densità di potenza depositata dal fascio (1 GW/m^2). Le simulazioni numeriche verranno eseguite sulla base del design più aggiornato del Target Assembly disponibile e adattando opportunamente i modelli neutronici e termomeccanici sviluppati recentemente nell'ambito delle precedenti attività riguardanti le analisi stazionarie del Target Assembly in condizioni nominali di funzionamento.

Per quanto riguarda invece la manutenzione remotizzata nella presente annualità le attività saranno concentrate sulla progettazione, costruzione e test del sistema di pulizia della superficie del supporto del bersaglio.

In dettaglio saranno eseguite le seguenti attività:

- 1) Progettazione e realizzazione del dispositivo di pulizia per la rimozione di litio solido dal supporto del bersaglio del Target;
- 2) Test di validazione del dispositivo di pulizia e delle relative procedure di manutenzione remotizzata.

I risultati attesi di queste prove sono in particolare utili per:

- 1) La determinazione del tempo d'intervento per l'esecuzione delle singole operazioni di manutenzione e quindi della durata integrale delle operazioni di ricondizionamento e di sostituzione del Target Assembly;
- 2) L'aggiornamento del progetto del Target Assembly.

Risultati/Deliverable:

- Simulazione realistica della fase di pre-riscaldamento del prototipo del Target Assembly di IFMIF
- Caratterizzazione termo-meccanica e neutronica del Target Assembly di IFMIF in condizioni di scostamento dal funzionamento nominale
- Progettazione, realizzazione e test del dispositivo di pulizia per la rimozione di litio solido per il Target Assembly di IFMIF

Principali collaborazioni: Contratti esterni, Università di Palermo

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Comunicazione e diffusione dei risultati

I risultati delle attività sopra descritte saranno disseminati, attraverso pubblicazioni sottomesse a conferenze, workshop, meeting internazionali e seminari, attraverso la pubblicazione di articoli su riviste e con contenuti multimediali su siti-web e filmati tematici.

- o Conferenze:
 - International Conference on Magnet Technology (MT)
 - 29th Symposium on Fusion Technology (SOFT)
 - International Conference on Fusion Reactor Material (17th ICFRM)
 - ITER International Fusion Energy Days (MIIFED) combined with the ITER Business Forum (IBF) 2016
- o Meeting internazionali:
 - Technical Coordination Meeting – con frequenza trimestrale ospitato dai paesi che partecipano al Broader Approach
 - IFMIF Project Committee Meeting - con frequenza semestrale ospitato dal Giappone con la partecipazione delle associazioni coinvolte nel progetto
 - Magnet Integration Group Meeting – con frequenza settimanale tra i paesi che partecipano alla realizzazione del magnete di JT-60SA
 - Monthly Progress Meeting – con frequenza mensile fra rappresentanti di F4E e/o JAEA, ENEA e partner industriali
 - JT-60SA Project Committee Meeting - con frequenza semestrale fra rappresentanti di F4E, JAEA, ENEA

- Riviste:
Riviste specializzate e Newsletter
- Siti Web:
Sito ENEA
Sito ENEA Fusione

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a	Macchina JT-60SA													
	<i>a.1 Fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale</i>													
	<i>a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA</i>													
	<i>a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit" (SNU)</i>													
	<i>a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA</i>													
b	Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF													
	<i>b.1 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianti a litio ELTL e LiFUS6 per attività sperimentale su corrosione/erosione, purificazione, termo idraulica e cavitazione per IFMIF</i>													
	<i>b.2 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata e della progettazione completa del target assembly di IFMIF</i>													
c	Diffusione dei risultati													

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Macchina JT-60SA									
	<i>a.1 Fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale</i>	5400	200	120	972	0	8	13	0	1313
	<i>a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA</i>	7600	281	169	1988	0	5	5	0	2448
	<i>0.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit" (SNU)</i>	2200	81	49	350	0	0	4	0	484
	<i>a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA</i>	3300	122	73	1581	0	0	5	0	1781
	<i>Subtotale a</i>	18500	685	411	4891	0	13	27	0	6027
b	Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF									
	<i>b. 1 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianti a litio ELTL e LiFUS6 per attività sperimentale su corrosione/erosione, purificazione, termo idraulica e cavitazione per IFMIF</i>	1900	70	42	7	5	162	1	0	287
	<i>b.2 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata e della progettazione completa del target assembly di IFMIF</i>	1500	56	33	37	5	20	5	0	156
	<i>Subtotale b</i>	3400	126	75	44	10	182	6	0	443
c	Diffusione dei risultati	380	14	8	0	2	0	6	0	30
	TOTALE	22280	835	494	4935	12	195	39	0	6500

*in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n.19/2013

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento, include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include la collaborazione con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto del personale impiegato nei diversi centri, pari a 37 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (k€)	Costo PAR 2015 (k€)*	Uso attrezzatura
a1	Realizzazione completa dei primi 2 moduli di magneti toroidali completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica. Acquisizione di 6 lunghezze di cavo superconduttore per la realizzazione dell'avvolgimento della bobina "Spare". Il modulo di magneti toroidali è realizzato inserendo l'avvolgimento di bobina all'interno dei componenti della cassa di contenimento.	972	972	Fornitura, comprensiva di imballaggio e trasporto al sito di Saclay (Francia), di 9 (nove) moduli di magneti toroidali della macchina sperimentale, JT-60SA costituiti ciascuno da una bobina superconduttrice inserita nella relativa cassa di contenimento, che viene fornita da ENEA. Realizzazione di una ulteriore bobina "Spare".
a2	Realizzazione di componenti meccanici per la composizione di ulteriori otto casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica.	1.988	1.988	Fornitura dei componenti per la composizione delle casse delle 18 bobine del magneti toroidali della macchina sperimentale Tokamak JT-60 SA.
a3	Realizzazione delle attrezzature di trasporto e consegna al porto di Yokohama delle 4 SNU di fornitura, secondo quanto previsto dagli allegati tecnici.	350	350	Fornitura e trasporto fino al porto di Tokyo (o Yokohama) di 4 sistemi di commutazione Switching Network Unit per i solenoidi centrali della macchina sperimentale Tokamak JT-60SA
a4	Realizzazione dei trasformatori per CS2 e CS3. Realizzazione del prototipo di sistema crowbar di un convertitore CS/EF. Completamento della realizzazione dei convertitori per CS1 e CS4 ed esecuzione delle prove di accettazione.	1.581	1.581	Fornitura e trasporto fino al porto di Tokyo (o Yokohama) di 8 sistemi di alimentazione delle bobine poloidali di cui 4 per il solenoide centrale, 2 per le bobine d'equilibrio e 2 per il controllo della posizione del plasma della macchina sperimentale Tokamak JT-60SA.
b.1	Fornitura ed installazione di una pompa da vuoto per Glove box laboratorio di chimica e relativo aggiornamento;	0,7	0,7	Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti gli impianti a litio ELTL e LiFUS6 per attività sperimentali su corrosione/erosione, purificazione, termo idraulica e cavitazione per IFMIF.
	Bilancia analitica per pesature di precisione campioni di litio e campioni di materiali pre e post prova.	2,5	2,5	
b.2	Progettazione e realizzazione del dispositivo di cleaning per la rimozione del litio solido	20	20	Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata e della progettazione completa del target assembly di IFMIF
	Acquisto di una Work station per analisi numeriche di fluido dinamica, termoidraulica e per simulazioni in realtà virtuale	11	11	
	Acquisto di compressore rotativo per sistema di manipolazione remotizzata	6,7	6,7	

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (k€)
b.1	<ul style="list-style-type: none"> • Materiale per laboratorio di chimica per litio (solventi, reagenti e vetreria). • Acquisto di materiale per il trattamento dei campioni estratti dall'impianto LiFUS6 (Laboratorio analisi materiali). 	5
b.2	<ul style="list-style-type: none"> • Acquisto licenze software 3D tool per visualizzazione file CATIA • Rinnovo licenza e contratto di manutenzione Matlab • Varie per riparazione dispositivi robotici e strumenti per TA • Materiale vario per riparazione dispositivi DRP (cavi, dispositivi robotici) 	5
c	<ul style="list-style-type: none"> • Workshop IFMIF 	1

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Obiettivo	Acquisizione Competenze	Costo Previsto [k€]
a.1	Le attività di monitoraggio per lo sviluppo del contratto con ASG per la fornitura di 9 moduli di magneti toroidale richiedono dettagliate competenze sui processi di saldatura in ordine ai metodi di giunzione ed i relativi controlli. Un professional, coinvolto nel controllo delle attività tecniche, frequenterà il corso di Welding Engineer organizzato dall'Istituto Italiano di Saldatura (IIS).	8
a.2	Campagna di prove con l'istituto RTM Breda per la caratterizzazione dei materiali sia a temperatura ambiente che in condizioni criogeniche.	5
b.1	Le attività a cura ENEA da svolgersi presso il sito giapponese di Rokkasho sono state affidate al consorzio RFX che si occuperà degli aspetti legati allo sviluppo di soluzioni progettuali delle interfacce tra i vari componenti del prototipo di acceleratore, di questi con l'edificio che li dovrà ospitare e con i sistemi ausiliari.	150
	Contratto con Università di Firenze per l'esecuzione di analisi cromatografiche di soluzioni acquose di ione Ammonio per la determinazione quantitativa delle impurezze di Azoto nel Lito circolante in LIFUS6.	8
	Contratto per analisi mediante microscopia elettronica a scansione e microsonda a dispersione di energia dei provini metallici sottoposti a test di corrosione/erosione in litio fluente.	4,6
b.2	Contratti con Università di Palermo per:	
	- Simulazione della fase di pre-riscaldamento del prototipo del Target Assembly di IFMIF. - Caratterizzazione termomeccanica e neutronica del Target Assembly di IFMIF in condizioni di scostamento dal funzionamento nominale .	8 12

4) Attività previste per le Università cobeneficarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Non previste.

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Non presenti.

6) Risultati ottenuti nell'annualità precedenti e quelli attesi nel presente PAR 2015

Ob	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a.1	Completamento di altri sei avvolgimenti di bobina toroidale per un totale di nove corrispondenti ai nove moduli di magneti toroidale previsti dalla fornitura. Tutti gli avvolgimenti di bobina realizzati in questa annualità sono completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica	Completamento dei primi 2 moduli di magneti toroidale completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica
a.2	Componenti meccanici per la composizione di 6 casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica	Componenti meccanici per la composizione di ulteriori 8 casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica
a.3	Completamento delle ulteriori tre SNU e le relative prove di accettazione finali come previsto dagli allegati tecnici	Realizzazione delle attrezzature di trasporto e consegna fino al porto di Yokohama delle 4 SNU di fornitura, secondo quanto previsto dagli allegati tecnici
a.4	Realizzazione di 1 (uno) convertitore per FPPC upper e 1(uno) convertitore per FPPC lower ciascuno dotato di un sistema di comando e controllo completi di prove di accettazione Realizzazione del prototipo di sistema di controllo di un convertitore per CS ed esecuzione delle relative prove Realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS1e CS4	Realizzazione dei trasformatori per CS2 e CS3 Realizzazione del prototipo di sistema crowbar di un convertitore CS/EF Completamento della realizzazione dei convertitori per CS1 e CS4 e l'esecuzione delle prove di accettazione

Ob	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
b.1	Risultati relativi alla prima fase di purificazione del Litio circolante all'interno dell'impianto Lifus 6 e verifica ed ottimizzazione contestuale del suo funzionamento	<p>Risultati relativi alle campagne sperimentali di breve e medio termine sui fenomeni di corrosione/erosione da litio liquido fluente nell'impianto Lifus 6</p> <p>Risultati relativi al grado di purezza del litio circolante nell'impianto Lifus 6 ed al funzionamento ed efficienza di dispositivi e procedure per la purificazione</p>
b.2	<p>Risultati finali delle prove di ricondizionamento del Target assembly di IFMIF</p> <p>Trattamenti termici e caratterizzazione dell'acciaio ferritico-martensitico (7Cr) alternativo all'EUROFER per la realizzazione del target assembly di IFMIF</p> <p>Studio del comportamento termomeccanico del target assembly nelle condizioni transitorie di start up</p> <p>Ottimizzazione del design del target assembly completa di analisi strutturale e neutronica</p>	<p>Progettazione, realizzazione e validazione del dispositivo di pulizia di litio solido depositato sul supporto del bersaglio del target assembly di IFMIF</p> <p>Simulazione realistica della fase di pre-riscaldamento del prototipo del Target Assembly di IFMIF</p> <p>Caratterizzazione termomeccanica e neutronica del Target Assembly di IFMIF in condizioni di scostamento dal funzionamento nominale</p>

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Le attività previste riguardano: 1) lo studio e lo sviluppo di sistemi di accumulo elettrochimico del tipo litio-zolfo altamente innovativi per il bassissimo costo e per le interessanti prestazioni; l'ottimizzazione dimensionale e produttiva in termini di costi e prestazioni con scaling up significativo di sistemi di accumulo elettrochimico del tipo litio-ione sviluppati nel triennio precedente, con il possibile coinvolgimento di industrie nazionali del settore; 2) lo studio, la realizzazione e caratterizzazione di sistemi di accumulo ibridi batterie-supercondensatori con relativo sistema di gestione e controllo per l'ottimizzazione di prestazioni e costi integrando dispositivi di accumulo con funzioni diverse; 3) lo sviluppo e la validazione sperimentale di procedure di prova, d'intesa ed in sinergia con il Gruppo di lavoro "Accumulo" CNR-ENEA-RSE e con le attività svolte da RSE e dal CNR, comprese quelle di ottimizzazione economica mediante riutilizzo in "second life" di batterie esauste al litio-ione e di previsione delle condizioni di invecchiamento con prove di vita accelerata, e di analisi e verifica delle condizioni di sicurezza nell'uso di sistemi di accumulo elettrochimico in diverse condizioni operative nelle reti elettriche; 4) sistemi di accumulo di energia più promettenti in termini tecnici, economici ed ambientali per applicazioni di piccola e media taglia (indicativamente dai kW fino a qualche decina di MW) per generazione distribuita con elevata presenza delle fonti rinnovabili, ed alle smart grid. Le attività di ricerca saranno sempre più orientate allo sviluppo ed alla valutazione, per agevolarne l'impiego, delle possibili applicazioni dei sistemi di accumulo elettrochimico, con considerazioni sui principali aspetti di sicurezza in tutte le fasi di produzione ed uso con una completa analisi del bilancio energetico, economico ed ambientale a fine vita (Life Cycle Analysis), per assistere le scelte e le decisioni sulle varie opzioni e tecnologie di accumulo.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Lo stato di sviluppo dei sistemi di accumulo dell'energia per applicazioni mobili e stazionarie continua ad evidenziare un sempre maggiore impegno di ricerca e sviluppo ed applicazioni in varie parti del mondo.

La forma più diffusa di accumulo dell'energia elettrica (non però per le reti elettriche) è certamente quella elettrochimica, mentre le applicazioni dell'accumulo nelle reti elettriche vede come principale applicazione i sistemi di pompaggio di acqua (accumulo meccanico). Tuttavia, l'accumulo elettrochimico (in batterie e supercondensatori) è visto in prospettiva come la tecnologia più adatta per favorire una crescente introduzione delle fonti rinnovabili non programmabili e per agevolare l'evoluzione delle reti elettriche verso una configurazione più distribuita in una logica "smart", cioè di relazione biunivoca tra produttori e consumatori, intermediata dai gestori della rete. Le batterie ritenute più interessanti sono quelle al litio, ad alta temperatura ed a flusso. Le potenzialità tecniche delle batterie al litio e di altri sistemi di accumulo elettrochimico, come le batterie redox ed ad alta temperatura devono essere opportunamente studiate e sviluppate fino ad un livello prototipale di taglia significativa con l'obiettivo di avere sistemi economicamente più convenienti ed energeticamente più efficienti. Diversi paesi dell'Unione Europea (UE) e, maggiormente, al di fuori dell'UE (Australia, Canada, Cina, Corea del Sud, Giappone, Stati Uniti), hanno in corso programmi pubblici di ricerca e sviluppo ed, in alcuni casi, anche di incentivazione dei sistemi di accumulo per le reti elettriche, che superano le decine di milioni di euro all'anno.

Su un totale di 140.000 MW, presenti nelle reti elettriche di tutto il mondo nel 2014, poco meno del 99% risultava ancora composto dai sistemi di pompaggio dell'acqua, mentre i sistemi ad aria compressa (CAES) raggiungevano i 440 MW e subito dopo i sistemi con batterie sodio-zolfo mentre i rimanenti sistemi di accumulo arrivavano a 85 MW.

Il mercato degli impianti PV con accumulo è visto in crescita nel 2015 di circa dieci volte in 4 anni: IHS prevede uno sviluppo del mercato del FV residenziale, anche conseguente ad un ulteriore calo del 15% dei prezzi delle batterie al litio (in calo, anche se minore, anche quelle al piombo acido, e già convenienti). Fattori che faranno crescere del 90% le installazioni del FV con accumulo già nel corso del prossimo anno. Tra i mercati più attraenti individuati da IHS c'è anche l'Italia, insieme a Germania, Regno Unito e Australia. Nel complesso questi Paesi peseranno per oltre il 40% del mercato del solare con accumulo, pur incidendo per solo il 20% delle installazioni di fotovoltaico su scala mondiale. Nel 2018 invece sarà il Giappone il mercato più importante per il FV con accumulo, con oltre 200 MW di installazioni.

In sintesi, stime di mercato (Boston Consulting Group) prevedono che il mercato dei sistemi di accumulo al 2030 possa raggiungere cumulativamente un totale, riferito alle sole reti elettriche, di 420 GW (oggi sono intorno a 140 GW) con un valore economico complessivo di 280 miliardi di euro: circa la metà di questo mercato è previsto che possa essere coperto da tecnologie di accumulo elettrochimico.

L'accumulo di energia nelle reti elettriche è uno degli obiettivi strategici della politica energetica dell'Unione Europea prevista nel SET Plan (e nell'Unione dell'Energia), che prevede tra le sfide tecnologiche dei prossimi anni un miglioramento sostanziale dei costi e dell'efficienza dei sistemi di accumulo per l'integrazione delle fonti rinnovabili, per l'efficienza energetica e per le smart grid. Inoltre la Commissione Europea (CE) ha promosso l'alleanza EERA (European Energy Research Alliance) per la ricerca energetica europea che ha tra i temi prioritari le smart grid, l'accumulo di energia, le fonti rinnovabili e l'efficienza energetica.

In Italia, la ricerca sui sistemi di accumulo e su batterie al litio e supercondensatori elettrochimici è stata avviata a livello universitario oltre 30 anni fa, con il conseguimento di eccellenti risultati, che sono stati prevalentemente utilizzati all'estero. In particolare le competenze sui materiali elettrodici, sugli elettroliti e sulla realizzazione e caratterizzazione di celle elettrochimiche complete sono state sviluppate presso università ed enti di ricerca anche grazie ai diversi finanziamenti pubblici.

Nel campo della generazione distribuita, smart grid e tecnologie intelligenti collegate, oltre a quanto promosso dalla Ricerca di Sistema Elettrico, negli ultimi anni si è assistito ad un crescente impegno della ricerca e dimostrazione con un maggiore coinvolgimento delle aziende elettriche, dei gestori del sistema elettrico e di alcune aziende produttrici di impianti a fonti rinnovabili e di elettronica avanzata (A2A, ENEL e Terna, ABB, Toshiba, NEC), che hanno anche portato nel 2014, con il sollecito del Gruppo Accumulo dell'ANIE, alla pubblicazione delle Norme CEI 016 e 021, insieme alla Delibera dell'AEEGSI, di installazione ed utilizzo dell'accumulo. In particolare, TERNA ha avviato un piano di sviluppo che prevedeva inizialmente 130 MW di accumulo, in seguito esteso a 240 MW (per un totale di investimenti di oltre 1 miliardo di euro).

L'ENEA è da oltre 25 anni impegnata nella ricerca e nello sviluppo di batterie al litio, in collaborazione con alcuni istituti universitari, nell'ambito di programmi e progetti nazionali ed internazionali. In questo settore, l'ENEA è da anni coinvolta in progetti europei (tra gli altri, ASTOR, SCOPE, LIBERAL, ILHYPOS, GREENLION, HCV, HELIOS, Mars-EV) per la ricerca, lo sviluppo e la caratterizzazione di batterie al litio per applicazioni prevalentemente mobili. Inoltre l'ENEA rappresenta l'Italia nell'alleanza europea EERA, con il coordinamento del SubProgramme "Accumulo Elettrochimico" e partecipa a iniziative internazionali dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) (IA ECES e HEV), che riguardano accumulo di energia per applicazioni sia mobili che stazionarie.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Le attività nei trienni precedenti sulla ricerca e sviluppo di sistemi di accumulo più adeguati e interessanti per la rete elettrica nazionale, a partire dall'AdP 2006-08, sono poi proseguite nel PT 2008-2011 e nel PT 2012-2014, che hanno incluso anche attività dimostrative dell'accumulo elettrico in batterie e supercondensatori (SC) in applicazioni rappresentative, in parte ancora attive, come la funicolare di Bergamo.

Nel PT 2006-2009 sono stati fatti i primi studi applicativi di supercondensatori (SC) e batterie al litio attraverso attività dimostrative e sperimentali di laboratorio presso il Centro ENEA Casaccia. In particolare,

per quanto riguarda l'accumulo elettrico con SC è stato realizzato un impianto sperimentale in scala, per studiare l'applicazione di un sistema di accumulo con SC asservito ad un carroponete, con l'esecuzione della sperimentazione di una sezione di impianto in scala 1:10 per l'analisi delle potenze in gioco ed in scala 1:2 per l'analisi delle tensioni di impianto (e quindi in scala 1:5 per quel che riguarda le correnti), mentre per l'accumulo con batterie al litio-ione è stata analizzata l'applicazione ad una funivia di sistema di trasporto pubblico di Bergamo. Per quanto riguarda la ricerca fondamentale sulle batterie litio-ione, è stato effettuato uno studio di fattibilità preliminare: scientifico per individuare le principali necessità di ricerca di base; tecnologico per definire le potenzialità applicative ed eventuali limitazioni ambientali; ed economico per stimare costi attesi e soluzioni più adeguate alla rete elettrica nazionale. Sono state quindi avviate attività di ricerca fondamentale su materiali innovativi con caratteristiche migliorate in termini di prestazioni e costi: nuovi composti catodici del ferro (litio ferro fosfato) in varie soluzioni costruttive o composizioni e nuovi materiali anodici a base di grafite modificate e leghe metalliche a base di ossidi di titanio, particolarmente adatti per applicazioni di alta potenza e di vita elevata. Successivamente, questi materiali sono stati assemblati in celle da laboratorio, opportunamente progettate, per analizzare il loro comportamento in celle complete per verificarne la stabilità e le prestazioni elettriche, oltre che elettrochimiche.

In virtù dell'avvio, nel 2010, delle attività e della collaborazione del Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE "Accumulo", per meglio coordinare le attività di ricerca e rendere confrontabili i risultati sperimentali sono state concordate ed utilizzate procedure di prova per determinare le prestazioni elettriche di celle (supercondensatori e litio-ione).

Nel PT 2009-2011 sono state anche condotte attività relative allo studio ed alla definizione di soluzioni ottimali di controllo dell'interfaccia da 10-20 kW dei sistemi di accumulo al litio con le reti elettriche utilizzando fonti rinnovabili: le attività hanno riguardato l'analisi e la verifica sperimentale di varie possibili applicazioni (oltre 15) con le necessità tecniche ed economiche collegate, come il caso della "casa attiva" con la selezione e realizzazione di un impianto sperimentale presso l'Università di Pisa e l'esecuzione di prove che hanno evidenziato i possibili utilizzi ed i vantaggi collegati all'integrazione delle fonti rinnovabili con sistemi di accumulo (sia elettrici che termici).

Sono poi proseguite le attività di ricerca fondamentale su nuovi materiali anodici e catodici, e relativi processi di preparazione, e su progetti di cella ottimizzati per batterie al litio, con l'introduzione di attività su materiali di nuovissima generazione (materiali anodici a base di grafene e di vari metalli, quali Sn, Si, ecc., e composti catodici di fosfati di vari ossidi metallici) e su nuovi elettroliti: tutte le scelte proposte hanno mirato ad individuare soluzioni sempre più promettenti, in termini di costi e prestazioni, per le applicazioni stazionarie di grossa taglia con una crescente attenzione alle specifiche necessità della rete elettrica nazionale, ad alta energia ed ad alta potenza. Le attività di ricerca ed ottimizzazione sui materiali hanno portato alla selezione di materiali e processi, completamente caratterizzati da un punto di vista chimico, elettrochimico e strutturale, ed alla realizzazione di film sottili in scala da laboratorio e di celle di prova.

Infine sono stati individuati i profili caratteristici da utilizzare per l'esecuzione di prove di celle al litio per la valutazione sperimentale della "second life". Alcune celle usate sono state recuperate presso alcuni utilizzatori e produttori di veicoli elettrici e sottoposte a prove di laboratorio che hanno confermato le potenzialità e le opportunità pratiche ed economiche collegate a questa particolare estensione della vita delle batterie al litio, con conseguente riduzione del costo operativo.

Nel corso del triennio 2012-2014 è stata svolta la valutazione dello stato di sviluppo e delle prospettive applicative di vari metodi di accumulo innovativi, quali ad esempio batterie ad alta temperatura e redox a flusso, l'utilizzo dell'idrogeno, analizzando l'intera filiera dalla produzione, all'accumulo fino al riutilizzo finale, ed altri sistemi di accumulo più avanzati, quali gli SMES (sistemi di accumulo in magneti superconduttori). Dopo una dettagliata analisi delle effettive potenzialità di utilizzo dell'idrogeno ed altre sistemi, è stato deciso di concentrarsi su un numero limitato di soluzioni tecnologiche di più prossima applicazione, come previsto nel Piano Triennale della RdS, riducendo le attività sui sistemi redox a flusso ed su quelli SMES, anche sulla base di un confronto con le attività CNR che avevano raggiunto un livello più avanzato nelle redox a flusso.

Pertanto le attività si sono prevalentemente concentrate sui sistemi al litio con importanti sviluppi nella

selezione e produzione di materiali anodici e catodici (come alcune leghe di fosfati per il catodo e l'ossido di silicio e l'ossido ridotto di grafene per l'anodo), che hanno portato alla selezione e produzione su scala da laboratorio di piccole quantità di materiali ad alte prestazioni ed a costo ridotto per le prove in celle da 1 cm², mentre con i materiali elettrodici maggiormente sviluppati è stato condotto un duplice processo di scale up (anche se con processi effettuati in laboratorio e non su linee di produzione almeno pilota) per la realizzazione di celle e stack di alta energia e di alta potenza (le applicazioni privilegiate per le reti elettriche) di taglia inizialmente da circa 100 mAh, per poi arrivare nell'ultimo anno a circa 1000 Ah: resta ancora l'importante fase di pre-sviluppo industriale con scale up definitivo su linee pilota da sviluppare con l'industria nazionale, che potranno sostenere adeguatamente una filiera nazionale sulle batterie al litio.

Inoltre, per le attività di supporto è stata completata la validazione del modello di dimensionamento ed analisi anche economica di inserimento di sistemi di accumulo in applicazioni di estremo interesse (come, ad esempio, la tranvia leggera di Bergamo), sono proseguite le attività sperimentali su celle esauste con la definizione di tre cicli rappresentativi (alta energia, alta potenza ed intermedio) per la verifica delle opportunità di "second life" con i possibili impatti sulla stima del degrado e dell'invecchiamento e la definizione preliminare di prove di vita accelerata per celle al litio, con l'analisi approfondita dei problemi di sicurezza nell'uso di sistemi al litio ed ad alta temperatura, che hanno mostrato diverse lagune e problemi che richiedono ulteriori studi per proporre interventi da adottare in condizioni di emergenza. Infine sono stati definiti due processi alternativi per il riciclo di celle e sistemi al litio, supportate da complete attività sperimentali che, partendo dall'apertura delle celle, hanno percorso due strade alternative, su diverse chimiche delle celle, ma con l'obiettivo comune di definire processi industriali a basso costo ed ecocompatibili.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo generale e finale del progetto nel triennio tenderà ancor più a rafforzare, in maniera sempre più integrata rispetto agli anni precedenti, i rapporti e le collaborazioni con il mondo della ricerca e dell'industria. L'approccio alle tecnologie di accumulo ed alle loro applicazioni alla rete elettrica nazionale rimarrà sistemico con una crescente integrazione di conoscenze e possibilità di trasferimento tecnologico, tra le attività a più alto rischio, che esploreranno nuove soluzioni e tecnologie scientifiche originali, concordate, con enti di ricerca nazionali (sia università che CNR ed RSE nell'ambito del Gruppo di Coordinamento), che hanno raggiunto l'eccellenza nel campo dell'accumulo, e con quelle volte a fornire una crescente conoscenza sui vantaggi tecnici, economici e di sicurezza, individuate insieme agli enti di ricerca ed alle industrie utilizzatrici e produttrici (come già fatto nel Workshop del 3 luglio 2015) sulle ottimali modalità di applicazioni dei sistemi di accumulo, prevalentemente elettrochimico, che possano contribuire in maniera sostanziale e con chiara evidenza applicativa nello sviluppo della rete elettrica nazionale con accresciuto contributo delle fonti rinnovabili. Queste conoscenze possono anche costituire la base necessaria per i futuri bandi di tipo a) e b) dei programmi di Ricerca di Sistema Elettrico.

Descrizione dell'attività a termine

Il progetto, su scala triennale, è strutturato su quattro linee di attività, che mirano a svolgere la ricerca fondamentale su nuovi sistemi di accumulo elettrochimico esplorando soluzioni completamente originali, come quelle a base di zolfo o sodio a temperatura ambiente che promettono costi nettamente inferiori rispetto alle batterie litio-ione attuali, e consolidando, per un successivo sfruttamento industriale ed un'applicazione nel breve-medio termine, le soluzioni più innovative sviluppate nel triennio precedente sui sistemi al litio, arrivando, di concerto e con la collaborazione produttiva delle industrie (con l'uso di linee pilota), a prodotti pre-serie industriali. In parallelo, verranno svolte attività di studio e sperimentali volte ad aumentare le conoscenze e le potenzialità nell'uso dei sistemi di accumulo elettrochimico, mediante la progettazione, realizzazione e prova di impianti con fonti rinnovabili con accumulo di taglia medio-piccola (4-9 kW) per applicazioni nei servizi e nel residenziale; di sistemi ibridi che ottimizzano e rendono economicamente più conveniente l'uso di sistemi di accumulo con funzioni e costi differenti (come le batterie al litio ed i SC); ed infine molta attenzione verrà data, di concerto con il Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE allo sviluppo di prova di caratterizzazione e vita mirate alle applicazioni delle batterie nella

rete elettrica italiana, con attenzione agli aspetti di invecchiamento e di vita accelerata, delle possibilità effettive di riutilizzo in “second life” di batterie parzialmente usate nella trazione elettrica e degli aspetti di sicurezza associati all’utilizzo di questi dispositivi anche effettuando prove in campo aperto.

Ricerca e sviluppo di accumulatori elettrochimici innovativi

Lo scopo dell’attività è quello di sviluppare, portando lo stato delle conoscenze da TRL-2 a TRL-4, di concerto con le Università di Bologna, Camerino, Roma e il Politecnico di Torino, batterie innovative litio-zolfo o sodio-ione in grado di sostituire le attuali batterie agli ioni di litio, con una capacità di accumulo nettamente superiore (la Li-S si pensa possa giungere fino a 500 Wh/kg rispetto alla Li-ione, che si possa arrivare al massimo a circa 250 Wh/kg), elevata sicurezza e costi di gran lunga inferiori (per il possibile uso di sodio, largamente disponibile a basso costo). Il programma di ricerca prevede lo studio sia dei materiali elettrodi che delle soluzioni elettrolitiche, con attenzione alle proprietà delle interfasi elettrodo/elettrolita. Si prevede di studiare materiali elettrodi nanostrutturati ed innovativi elettroliti basati sui liquidi ionici e/o su solventi molecolari altobollenti con sali di litio. Al termine del programma triennale si arriverà ad un prototipo “proof of concept” da almeno 100 mAh con lo scopo di valutare la fattibilità tecnica ed economica delle nuove batterie, verificandone in laboratorio la densità di energia e le prestazioni in potenza. In parallelo sarà anche valutata la necessità di svolgere studi del ciclo di vita (LCA) e analisi del rischio (RA) In parallelo si prevede una collaborazione attiva con l’industria sarà anche valutata la necessità di svolgere studi del ciclo di vita (LCA) e analisi del rischio (RA) connesso all’applicazione dei nanomateriali sia durante l’uso sia alla fine delle fasi di vita. In aggiunta, sarà svolta un’attività volta a raggiungere risultati definitivi, rispetto a quanto ottenuto nel triennio precedente, e di più rapido uso dall’industria, con cui verranno stabiliti accordi di partenariato con diverse attività industriali presenti sul territorio per la realizzazione di pre-serie industriali di celle/stack su linee di produzione pilota. Le attività porteranno il livello di sviluppo da TRL-4 a TRL-5/6 per consentire una completa caratterizzazione al banco e la messa a punto di processi di produzione competitivi di componenti, celle e stack.

Realizzazione di sistemi ibridi

Questa attività si propone di progettare, realizzare e sperimentare sistemi di accumulo integrati ibridi per assistere le reti di distribuzione senza richiedere aumenti di potenza installata. L’ottimizzazione delle prestazioni e dei costi dei sistemi di accumulo passa anche attraverso soluzioni tecnologiche volte ad integrare dispositivi con funzioni diverse, integrando in una configurazione ibrida una batteria con un SC. Alla fine del triennio si prevede di realizzare e provare in condizioni di utilizzo reale un sistema ibrido, formato da una batteria elettrochimica con un banco di SC, con relativa elettronica di gestione e controllo in grado di svolgere la funzione di ricarica rapida (30", SC) e ricarica livellata (dalla rete, da batterie al piombo).

Definizione di procedure di prova e loro applicazione per la caratterizzazione dei sistemi di accumulo per il sistema elettrico

L’attività sperimentale prevede la completa caratterizzazione di celle esauste al litio per la verifica delle potenzialità del “second life”, che verrà proseguita ed intensificata con l’aggiunta di differenti coppie elettrochimiche, che porterà all’individuazione e classificazione di una classe di cicli rappresentativi e di procedure di prova. Sarà inoltre effettuato lo studio sperimentale con lo sviluppo di procedure di prove, anche di vita accelerata, e di degrado ed invecchiamento di celle al litio, che indaghi gli effetti dei singoli fattori di stress per le batterie sulla durata di vita delle stesse. I risultati saranno utilizzati per la validazione di opportuni modelli di invecchiamento e da un’analisi della rappresentatività delle procedure di invecchiamento adottate ai fini dello sviluppo di un modello in grado di stimare la vita effettiva della batteria. Inoltre si prevede di raggiungere, per quanto riguarda la tecnologia Litio-ione, la conoscenza corretta, mediante studi e campagne sperimentali con incidenti simulati in ambienti controllati, dei fenomeni indesiderati ed a rischio che possono provocare danni alle cose, all’uomo e all’ambiente, sviluppando metodologie di corretta gestione nel corso dell’intero ciclo di vita, di prevenzione e protezione dai rischi specifici e di intervento in caso di emergenza.

Gestione di sistemi di accumulo integrati con sistemi di produzione e/o consumo

Le attività principali hanno come obiettivo lo studio di sistemi di accumulo integrati con impianti di produzione fotovoltaica in applicazioni residenziali finalizzato alla loro valutazione tecnico ed economica.

Sarà effettuata la progettazione, la realizzazione e la prova in campo di due dimostratori di potenza fotovoltaica pari a 3 kW e 9 kW, rispettivamente monofase e trifase, basati su due diverse tecnologie di accumulo (Li-ione, alta temperatura e piombo-acido).

Principali risultati previsti alla fine del triennio

- ✓ Ricerca di base, progettazione e prova di un prototipo “proof of concept” da almeno 100 mAh delle batterie innovative litio-zolfo o sodio-ione con lo scopo di valutarne la fattibilità tecnica ed economica, verificandone sperimentalmente la densità di energia e le prestazioni in potenza.
- ✓ Progettazione, realizzazione e prova di moduli/stack da almeno 1 Ah, per applicazioni sia di energia che di potenza, ottimizzati nella scelta dei materiali, del dimensionamento della cella e del processo di assemblaggio di celle e stack/modulo, prodotti su linee pilota selezionate con l’industria nazionale (sia produttori di celle/sistemi che di linee di produzione).
- ✓ Progettazione, realizzazione e prova in condizioni di utilizzo reale di un sistema ibrido, batteria elettrochimica con supercondensatori, con relativa elettronica di gestione e controllo, applicato al caso reale di un sistema di accumulo per ricarica rapida (30", da SC) e ricarica livellata (dalla rete, da batterie)
- ✓ Procedure di prova per batterie litio-ione di diversa chimica per valutazione delle potenzialità del “second life”, per il degrado e l’invecchiamento con la stima dello stato di salute e di vita, con modelli rappresentativi validati sperimentalmente. Inoltre, sarà disponibile la piena conoscenza dei rischi collegati al trasporto e l’uso delle batterie litio-ione e saranno disponibili procedure idonee a minimizzare o prevenire tali rischi con indicazioni degli interventi prioritari in casi di emergenza.
- ✓ Progettazione, realizzazione e prova di due impianti dotati di accumulo, di chimica diversa, abbinati ad impianti fotovoltaici, per usi residenziali (3 kW e 9 kW), operativi e completamente strumentati, con modelli validati di valutazione tecnico-economico della gestione e dei vantaggi ottenibili con i sistemi di accumulo per diverse tipologie di utenza domestica e commerciale.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Nel corso del 2010 il Ministero dello Sviluppo Economico, accogliendo anche le indicazioni presentate dai comitati di sorveglianza degli Accordi di Programma (AdP), ha ritenuto opportuno disporre la costituzione di gruppi di lavoro con lo scopo di coordinare le attività comuni ed affini tra i soggetti affidatari, al fine di evitare le sovrapposizioni e di favorire sinergie volte al conseguimento di obiettivi comuni per massimizzare i risultati.

Conseguentemente si è proceduto alla costituzione del gruppo di Coordinamento per il coordinamento delle attività sul progetto “Ricerche su Reti Attive, Generazione Distribuita e Sistemi di Accumulo”.

Le procedure sviluppate congiuntamente verranno aggiornate per considerare nuovi cicli di prova per differenti applicazioni e nuove chimiche, procedendo alla revisione del Documento Congiunto di Coordinamento ENEA-RSE “Accumulo di energia elettrica” (Report ENEA RdS/PAR2013/251), preparato a settembre 2014. Inoltre la collaborazione tra CNR, ENEA e RSE proseguirà anche in ambito EERA (European Energy Research Alliance) attraverso il coordinamento dei programmi congiunti (JP) su “Smart Grids” e “Energy Storage” e nella preparazione di eventuali proposte congiunte di progetti europei.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall’esecuzione delle attività

Il progetto ha mantenuto costante nel tempo un approccio di valutazione e valorizzazione dei sistemi di accumulo nelle reti elettriche, che tenesse conto di specifiche esigenze dell’industria nazionale e delle competenze disponibili negli enti di ricerca nazionali, in modo da fornire ai possibili stakeholder un’informazione completa ed aggiornata dello stato della tecnologia, di portare avanti linee originali di ricerca e sviluppo e indicare possibili applicazioni di maggiore interesse energetico ed economico.

Pertanto per la parte riguardante la ricerca e sviluppo di batterie al litio di alta energia e di alta potenza, sono stati individuati, in collaborazioni con le università più attive sul tema, materiali e processi che

consentono in prospettiva significative riduzioni di costo e di impatto ambientale e di sicurezza d'uso, a parità di prestazioni tecniche. La scelta di preferire le riduzioni di costo è un obiettivo primario a livello internazionale per favorire l'applicazione estesa dell'accumulo nelle reti elettriche. Queste informazioni sono state indirizzate ad aziende del settore con programmi di sviluppo industriale o di valutazione preliminare di investimenti nel settore delle batterie e degli impianti di produzione collegati (come FIAMM, FIB-ex FAAM, Proxhima, MANZ Italia, LITHOPS, MIDAC, Solith-Sovema, Vinavil, Soimar) per un possibile sviluppo industriale

Per quanto riguarda gli aspetti applicativi, le attività sono state rivolte all'individuazione di applicazioni di interesse energetico ed economico per produttori, distributori e grandi utilizzatori di energia elettrica (TERNA, ENEL, Aziende elettriche, Aziende di trasporti pubblici per reti metropolitane e tranvie leggere, utenti finali) con lo studio di diverse applicazioni, la verifica delle potenzialità della vita utile delle batterie con analisi di "second life", con lo sviluppo di procedure di prova dedicate alle applicazioni nelle reti elettriche, con la preliminare analisi di modelli di invecchiamento. Quest'attività è rivolta principalmente agli utilizzatori dei sistemi di accumulo (ENEL, TERNA, varie aziende elettriche nazionali ed anche AEEGSI - Autorità Energia Elettrica, Gas e Sistema Idrico) ed alle industrie integratrici di sistema (tutta la filiera dei produttori di impianti a fonti rinnovabili con accumulo, come ABB, FIAMM). Infine particolare attenzione è stata anche rivolta alla necessità di aumentare le informazioni riguardo alla sicurezza nell'uso di tali dispositivi di accumulo.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Ricerca e sviluppo di accumulatori elettrochimici innovativi

a.1 Batterie sicure e a basso costo allo zolfo funzionanti a RT (da TRL2 a TRL4)

L'esigenza di dotarsi di batterie di nuova generazione, basate su una chimica differente da quelle utilizzate finora, nasce principalmente per rispondere alle crescenti richieste di accumulo energetico previste nel prossimo futuro. Per risolvere i problemi dovuti alle fluttuazioni delle fonti rinnovabili ed alla stabilizzazione delle reti elettriche al crescere del contributo di tali fonti, occorre sviluppare batterie innovative, ad elevata densità di energia e di potenza, tali da poter essere oggetto di una produzione industriale su larga scala, con materiali sempre più economici e largamente diffusi sulla crosta terrestre.

Fra i diversi materiali l'attenzione della comunità scientifica si sta rivolgendo allo zolfo. Le batterie litio-zolfo rappresentano infatti una delle tecnologie più promettenti in grado di superare i limiti insiti nelle attuali batterie agli ioni di litio. I principali vantaggi di questa tecnologia sono legati alla elevata densità energetica, al basso costo dei materiali ed alla tossicità trascurabile proprio per l'assenza di metalli pesanti. Le batterie litio-zolfo possiedono un'energia teorica specifica superiore a 2700 Wh/kg, quasi 5 volte superiore a quella delle batterie Li-ione. In definitiva, lo zolfo grazie alla sua abbondanza ed elevata capacità specifica rappresenta il candidato ideale per la realizzazione di nuove batterie ad elevata energia di grandi dimensioni.

L'obiettivo delle attività, che rientra tra quelle ad alto rischio, ma con maggiore potenzialità di sviluppo industriale ed economico, è quello di sviluppare batterie innovative litio-zolfo in grado di sostituire le attuali batterie agli ioni di litio, con una capacità di accumulo superiore ma a costi decisamente inferiori. Queste batterie sono caratterizzate da una elevata sicurezza intrinseca in quanto pur presentando una capacità paragonabile a quelle delle più studiate batterie al litio, hanno una più bassa tensione di lavoro. Il progetto è ad ampio raggio e prevede lo studio sia dei materiali elettrochimici che delle soluzioni elettrolitiche. All'interno del progetto di ricerca verranno studiati materiali elettrochimici nanostrutturati ed innovativi elettroliti basati sui liquidi ionici. Al termine del progetto si spera di arrivare ad un prototipo "proof of concept" con lo scopo di valutare la fattibilità delle nuove batterie, calcolandone la densità di energia e le prestazioni in energia e potenza.

Le caratterizzazioni elettrochimiche saranno basate sulle procedure concordate nel Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE.

Al fine di migliorare le conoscenze in alcuni settori specifici, le attività sono state definite e coordinate con alcune Università, che collaboreranno al raggiungimento degli obiettivi previsti: il Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria dell'Università di Roma ed del Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" dell'Università di Bologna per lo sviluppo di materiali a base di zolfo nano-incapsulati e per la caratterizzazione delle interfasi elettrodiche in presenza di diversi mezzi elettrolitici, mentre l'Università di Camerino preparerà e caratterizzerà da un punto di vista chimico fisico ed elettrochimico gli anodi nanostrutturati a base di silicio e stagno.

Una parte dell'attività riguarderà la preparazione di materiali elettrodici a base di zolfo, con lo scopo, nel primo anno, di sviluppare particelle nanometriche a base di zolfo rivestite con uno strato di polimero in grado di confinare gli ioni solfuro e polisolfuro all'interno della nanoparticella. A tal fine si utilizzerà la tecnica che utilizza nano sfere di zolfo monodisperso incapsulato in un polimero organico. Il processo di sintesi è effettuato a temperatura ambiente ed è facilmente scalabile. Questo metodo permette un controllo efficace sull'architettura degli elettrodi per risolvere i problemi legati al catodo di zolfo. Le nano particelle di zolfo o di ioni polisolfuro saranno rivestite con uno strato polimerico a forma di guscio in grado di minimizzare la dissoluzione dei polisolfuri; le particelle saranno dotate di uno spazio cavo all'interno pensato per poter contenere eventuali variazioni di volume verso l'interno anziché verso l'esterno. Le ridotte dimensioni delle nanoparticelle permetteranno di diminuire lo spazio che gli elettroni devono compiere per raggiungere il filler conduttivo (il carbone) dall'interno della particella, in tal modo si diminuisce la resistenza al trasferimento di carica; infine le particelle nanodisperse riescono più facilmente a miscelarsi tra loro e con il carbone minimizzando la formazione di blocchi di grandi dimensioni, elettricamente isolati, e permettendo così un contatto intimo con l'additivo conduttivo. La sintesi di nanosfere di zolfo monodisperse incapsulate in polimero è basata su una semplice reazione in soluzione acquosa tra sodio tiosolfato e acido cloridrico in presenza del polimero organico a temperatura ambiente. Rispetto ai metodi esistenti per la fabbricazione di elettrodi di zolfo nanostrutturati, la sintesi di nanosfere di zolfo qui riportata offre diversi vantaggi, quali semplicità del metodo di preparazione, scalabilità, uso dell'acqua come solvente di processo.

Analogamente i polisolfuri saranno incapsulati in matrici nanodisperse tramite sintesi micellare. I solfuri saranno confinati all'interno delle micelle prima di creare il guscio polimerico.

Varie tecniche saranno utilizzate per la caratterizzazione chimico fisica dei materiali, tra le quali la diffrazione dei raggi X per determinare la struttura cristallina dei materiali e la microscopia elettronica a scansione ad elevata risoluzione per evidenziare la morfologia o lo stato di aggregazione delle nanoparticelle monodisperse.

Uno degli aspetti chiave nella realizzazione di una batteria Li/S di elevate prestazioni è la scelta del mezzo elettrolitico. Occorre ottimizzare la solubilità dei polisolfuri per avere un buon utilizzo dello zolfo evitando l'eccessiva perdita di massa attiva all'elettrodo che si rifletterebbe in una severa perdita di capacità con il numero di cicli di carica/scarica. Inoltre, i polisolfuri disciolti possono raggiungere l'elettrodo di litio e formare prodotti insolubili sulla sua superficie compromettendo il funzionamento della batteria. Pertanto, la formulazione di un mezzo elettrolitico efficace e sicuro verrà fatta considerando caratteristiche quali stabilità termica ed elettrochimica, conducibilità degli ioni litio e efficienza dei processi elettrodici. Gli elettroliti che verranno studiati saranno sali di litio (LiTFSI, LiTf, LiNO₃) in liquidi ionici, e/o loro soluzioni con solventi molecolari (eteri quali TEGDME, PEGDME e DOL). Una caratterizzazione chimico-fisica ed elettrochimica del mezzo elettrolitico e delle interfasi elettrodiche si rivela quindi di fondamentale importanza. La caratterizzazione chimico fisica dei mezzi elettrolitici sarà condotta, rispettivamente, mediante misure di conducibilità e analisi termogravimetrica. Le interfasi elettrodo/elettrolita verranno studiate mediante tecniche elettrochimiche quali tecniche voltammetriche, galvanostatiche e spettroscopia di impedenza abbinata a tecniche di analisi della superficie elettrodica quali SEM e EDS.

Infine gli elettrodi saranno sottoposti ad una completa caratterizzazione elettrochimica per valutare le loro proprietà quando utilizzati come catodi in batterie litio/zolfo.

Un'altra parte dell'attività cercherà di sfruttare quanto sviluppato negli anni precedenti nel campo di anodi per batterie al litio, concentrando la ricerca su due fronti: i) realizzazione di anodi formati da nanofili di silicio e ii) stabilizzazione di nanoparticelle nanometriche di silicio e stagno depositate su matrici grafeniche.

In particolare in questo anno si porrà l'attenzione sulla riduzione della capacità irreversibile focalizzandosi sulla formazione e sulla composizione del SEI (Solid-Electrolyte Interphase). Lo studio tenderà a valutare l'effetto del processo di formazione sulla capacità irreversibile delle nano strutture. Per quanto riguarda i nanofili di silicio verrà valutato l'effetto di differenti catalizzatori necessari come promotori per la crescita dei nanofili e si valuterà il loro effetto sulla capacità irreversibile. Si valuterà inoltre come un additivo standard, già utilizzato con successo nella tecnologia delle batterie litio ione, il carbonato vinilene (VC), possa ridurre lo spessore dello strato SEI, migliorare la sua stabilità, e migliorare le prestazioni complessive di anodi ad alta capacità.

Dall'altra parte proseguiranno gli studi condotti nel campo della progettazione di metodi di fabbricazione di anodi compositi, partendo da nanostrutture Si-RGO e Sn-RGO sviluppate negli anni precedenti. La principale sfida rimane l'elevata capacità irreversibile mostrata non solo al primo ma anche nei cicli successivi. In questo anno si proverà a rendere più stabile il legame tra il materiale attivo e lo strato in carbonio grafenico variando la tecnica di preparazione. In questo caso saranno utilizzate impalcature di grafene a pareti multiple per la deposizione del materiale attivo. Lo scopo dell'attività di ricerca sarà lo sviluppo di anodi portanti flessibili che presentino buone proprietà meccaniche e capacità specifiche e volumetriche elevate. Come collettore di corrente sarà utilizzato del grafene flessibile che sarà rivestito con uno strato sottile ed uniforme di materiale attivo (nanoparticelle sferiche di Si o di Sn). Le prestazioni degli anodi saranno confrontate con quelle del litio metallico a parità di elettrolita selezionato in base alla ricerca svolta nell'attività a1.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo a "Caratterizzazione delle interfacce elettrodiche in presenza di diversi mezzi elettrolitici in batterie litio-zolfo e zolfo-ione"
- Rapporto tecnico relativo a "Caratterizzazione morfologica e strutturale di materiali elettrodici per batterie a base litio/zolfo"
- Rapporto tecnico relativo a "Preparazione dei materiali elettrodici nanoincapsulati a base di zolfo o ioni solfuro"
- Rapporto tecnico relativo a "Preparazione e caratterizzazione di anodi adatti per batterie zolfo-ione"
- Rapporto tecnico relativo a "Studio sull'effetto di elettroliti ed additivi standard nelle proprietà di elettrodi anodici"
- Rapporto tecnico relativo a "Crescita via CVD di nanofili di silicio su substrati di acciaio funzionalizzati con oro, argento e rame"
- Rapporto tecnico relativo a "Caratterizzazione di batterie complete litio-zolfo e zolfo-ione"
- Rapporto tecnico relativo a "Ottimizzazione della sintesi e caratterizzazione dei materiali catodici"

Principali collaborazioni: Università di Bologna , Università di Camerino, Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Sistemi a litio-ione di prestazioni/costi ottimizzati con materiali a basso costo (da TRL4 a TRL5-6)

Le attività di scale up e ottimizzazione di materiali, processi e disegno di cella/stack litio-ione hanno dato risultati interessanti, ma non definitivi, sulle prestazioni di celle/stack da 100 mAh e da 1 Ah, per applicazioni sia di alta potenza che di alta energia. Infatti tali risultati promettenti sono stati ottenuti su un numero ridotto di campioni, peraltro preparati con tecniche prevalentemente di laboratorio, che non hanno consentito un reale adattamento alle specifiche necessità di processi di produzione ed assemblaggio su linee dedicate (anche in scala pilota). La fase successiva è appunto quella di concordare e mettere a punto, in stretta collaborazione con le aziende nazionali che sono coinvolte (come Lithops, Soimar, Vinavil e Solith-Sovema) o hanno in fase di avvio iniziative volte alla produzione di materiali per batterie o batterie litio-ione. In questo primo anno è appunto previsto il consolidamento delle prestazioni (energia, potenza e ciclabilità) di sistemi di piccola taglia (da almeno 1 Ah), con cui avviare l'analisi congiunta con l'industria delle modifiche di processo e di composizione e disegno per consentire una produzione pre-serie su linea pilota, disponibile in ambito nazionale con cui realizzare campioni più prossimi allo sviluppo industriale, con una verifica dei costi e della producibilità.

Pertanto, quest'attività è rivolta all'ottimizzazione prestazionale ed economica di sistemi litio-ione, in collaborazione con operatori industriali nazionali, comprensiva dei processi di preparazione dei materiali e degli elettrodi ed assemblaggio di celle e moduli (stack) in linee pilota completamente caratterizzati e resi disponibili per una successiva industrializzazione.

Nel primo anno si procederà alla realizzazione di almeno due tipologie di sistemi da 1 mAh, per applicazioni di alta potenza e di alta energia, in un numero statisticamente significativo (2-3 per tipo) per il completamento in scala da laboratorio dell'analisi prestazionale. In parallelo, le specifiche di dettaglio dei sistemi sviluppati, anche negli anni precedenti, e relative prestazioni saranno utilizzati per lo studio e lo sviluppo di processi industriali, in collaborazione con operatori industriali nazionali che verranno poi coinvolti nell'anno successivo a produzioni in scala pilota. L'obiettivo è quello di ridurre i costi specifici (per unità di energia o di potenza), in funzione delle specifiche applicazioni, individuate e concordate con i principali operatori del settore sia per le applicazioni alla rete di trasmissione nazionale (con il coinvolgimento di TERNA ed ENEL per la definizione delle specifiche) che per le applicazioni ad impianti con fonti rinnovabili posti presso gli utenti finali e sulla rete di distribuzione.

Le attività includono verifiche sperimentali in laboratorio delle prestazioni dei prototipi realizzati.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo a "Ottimizzazione delle prestazioni e dei costi di sistemi litio-ione con leganti acquosi"

Durata: ottobre 2015-settembre 2016

b. Studi sulla realizzazione di sistemi ibridi

Sistemi di accumulo ibridi integrati (da TRL5 a TRL6-7)

L'ottimizzazione delle prestazioni e dei costi dei sistemi di accumulo passa anche attraverso soluzioni tecnologiche volte ad integrare dispositivi con funzioni diverse. È questo il caso dell'ibridizzazione di batterie elettrochimiche innovative, quali ad esempio quelle litio-ione, con SC elettrochimici dalle elevate prestazioni in potenza (vari kW per kg di peso) ed una vita utile, prossima ad un milione di cicli completi. Nel caso della rete di distribuzione elettrica, l'introduzione di carichi non previsti in sede di progettazione, quali ad esempio i dispositivi di ricarica rapida per i veicoli elettrici. Queste richieste suppletive di potenza possono introdurre dei fattori di squilibrio o di non utilizzabilità locale della rete, a meno di interventi di difficile realizzazione in ambito urbano, che richiedono quindi soluzioni tecnologiche innovative, quali quelle di un accumulo locale ibrido a potenza aumentata, grazie all'impiego, a fianco di batterie "di energia" di sistemi di accumulo "di potenza".

L'obiettivo di questa attività nel primo anno è la progettazione di un sistema ibrido batteria-super condensatore con relativa elettronica di gestione e controllo, riferito ad un caso reale.

Verranno simulate/modellati diversi tipi di soluzioni per la batteria e la progettazione verrà svolta ottimizzando il sistema di accumulo (ibrido) necessario a garantire la ricarica rapida (30", con SC) e la ricarica livellata (dalla rete, o con batteria) ad una fermata di autobus per un autobus elettrico, in funzione del tipo di servizio prestato dall'autobus.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo a "Analisi delle prestazioni di un sistema di ricarica ibrido per TPL"

Durata: ottobre 2015-settembre 2016

c. Definizione di procedure di prova e loro applicazione per la caratterizzazione dei sistemi di accumulo per il sistema elettrico

Queste attività rientrano nel quadro delle attività coordinate con CNR ed RSE, come già concordato nel 2014, ed estese a diverse tecnologie ed applicazioni dell'accumulo con attenzione agli aspetti di invecchiamento, "second life" e sicurezza nell'uso. Su questi aspetti di ricerca, sono state fatte esplicite

richieste dal settore industriale, che sviluppa o utilizza tali sistemi. Inoltre esistono esigenze di sviluppo pre-normativo di procedure di prova in grado di prevedere e valutare le situazioni di degrado/rischio e di riutilizzabilità delle batterie elettrochimiche. Inoltre queste attività saranno svolte in stretta collaborazione con tre università (Pisa e Roma).

c.1 Definizione di procedure di prova elettriche (invecchiamento e second life) (da TRL3 a TRL6-7)

L'attività sperimentale di caratterizzazione di celle esauste al litio verrà proseguita ed intensificata con l'aggiunta di differenti coppie elettrochimiche delle tipologie attualmente più utilizzate o con maggiori prospettive applicative (principalmente al litio e/o ad alta temperatura). La valutazione sperimentale della "second life" (intesa come la potenzialità applicativa in applicazioni stazionarie in modo da ridurre notevolmente il costo operativo, prima dello smaltimento) di queste celle, verrà effettuata nel primo anno sulla base dei profili semplificati individuati ("Pro" e "Light", e intermedio) negli anni precedenti, che tengano conto di condizioni di utilizzo diverse, ma comunque rappresentative, di possibili applicazioni nelle reti elettriche. Per caratterizzare meglio l'utilizzo e la destinazione delle celle "second life", si renderà necessaria l'analisi di ulteriori cicli rappresentativi di possibili applicazioni reali di importanza e diffusione (es: accoppiamento con un sistema fotovoltaico). Per essi si costruiranno dei cicli di laboratorio equivalenti su cui fare la valutazione sperimentale delle celle. Inoltre è prevista la caratterizzazione termica mediante termografie delle celle in prova, consistente nella rilevazione del campo termico per mezzo di termocoppie e termografie durante prove di carica e scarica, con lo scopo di individuare punti di criticità e valutare le necessità di condizionamento termico delle celle. Oltre a questo, esiste l'esigenza di valutare le situazioni di degrado/rischio e la riutilizzabilità delle batterie elettrochimiche. In questo contesto, si rende necessario uno studio per la definizione dei criteri di ritiro delle celle dalla prima applicazione, in genere legata all'autotrazione, e dei metodi per la caratterizzazione delle prestazioni residue.

Si prevede inoltre lo studio sperimentale di degrado ed invecchiamento di celle al litio, secondo uno schema che indagli gli effetti dei singoli fattori di stress per le batterie sulla durata di vita delle stesse. I risultati saranno utilizzati per la validazione di opportuni modelli di invecchiamento e da un'analisi della rappresentatività delle procedure di invecchiamento adottate ai fini dello sviluppo di un modello in grado di stimare la vita effettiva della batteria. A tal fine, l'integrazione dei risultati ottenuti con prove di laboratorio che analizzino i singoli stress e quelli ottenuti con cicli reali equivalenti potrebbe portare un contributo alla soluzione del problema della stima della vita di una batteria nei casi concreti.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo a "Definizione della procedura sperimentale di invecchiamento delle celle litio-ione"
- Rapporto tecnico relativo a "definizione dei criteri di ritiro delle celle dalla prima applicazione"
- Rapporto tecnico relativo a "Studio Numerico-Sperimentale di Cicli di Prova per Dispositivi di Storage Elettrochimico Integrati in Sistemi Ibridi per la Generazione da Fonti Rinnovabili"
- Rapporto tecnico relativo a "Individuazione e valutazione delle possibili applicazioni degli accumulatori in ottica di second-life, definizione dei cicli di utilizzo e relativa analisi sperimentale"
- Rapporto tecnico relativo a "Analisi termografica del comportamento termico di celle al litio durante prove di vita"

Principali collaborazioni: Università di Pisa, Università Sapienza di Roma, Università di Roma Tor Vergata

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.2 Definizione di procedure di prova per analisi di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico (da TRL3 a TRL6-7)

Gli aspetti di sicurezza dei sistemi di accumulo (SdA) sono parte integrante del bagaglio di conoscenze necessarie al loro utilizzo efficiente, economico e sicuro. La disponibilità presso il Centro ENEA della Casaccia di un sistema di sperimentazione in campo unico in Italia per la valutazione durante gli incendi per il consolidamento della conoscenza delle reazioni ai guasti dei sistemi Litio-ione e della loro elettronica di protezione e gestione, consente di effettuare campagne sperimentali complete e mettere a punto metodologie di intervento (attività pre-normativa) che possono essere rese disponibili agli utilizzatori finali

ed ai manutentori. Accordi preliminari sono stati definiti con aziende produttrici di impianti fotovoltaici con accumulo, quale ad esempio ABB (ex On-Power), per lo sviluppo di queste metodologie.

In via preliminare nel primo anno si prevede Incendio ed esplosione di SdA Litio e Litio-ione (collaborazioni esterne: Ministero degli Interni, Corpo nazionale dei VVFF):

- a. prove di estinzione incendio su SA con diverse composizioni di utilizzo commerciale e diverse condizioni di carica e abuso;
- b. sperimentazione di diversi estinguenti
- c. sviluppo di protocolli di intervento in caso d'emergenza
- d. informazione, formazione e addestramento delle squadre di emergenza.

La sperimentazione in campo, associata a studi specifici di sicurezza mediante Fault Tree Analysis (FTA) e/o Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) consentirà, attraverso la definizione di procedure di prova in campo, la messa a punto dei criteri di scelta dei sistemi di estinzione e delle procedure di intervento in caso di emergenza, l'identificazione di criteri progettuali per l'installazione di SdA (o la manipolazione di sistemi da essi alimentati) in ambienti confinati e all'aperto.

Tali attività, che hanno anche valenza pre-normativa, consentiranno di mettere a disposizione, le informazioni necessarie per la prevenzione e protezione dai rischi associati all'uso delle tecnologie di accumulo elettrochimico.

Le attività in campo saranno anche preliminari allo sviluppo di metodologie di prove di abuso in camera climatica alle quali si intende associare l'analisi chimica dei gas evoluti (EGA-Evolved Gas Analysis).

Nello specifico, verranno inizialmente prodotti dati per Litio metallico, il cui comportamento è sufficientemente noto in letteratura. Si intende poi effettuare la sperimentazione su sistemi Litio-ione di dimensioni a scalare, dalla cella ad un SdA di dimensioni commerciali. Se possibile, si intende iniziare lo studio, almeno del comportamento a fuoco, di sistemi di accumulo ad alta temperatura (Na-S e Zebra).

Le attività verranno svolte all'interno del CR Casaccia, con la partecipazione della squadra di pronto intervento della Casaccia.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo a "Calcolo del carico di fuoco e sulla definizione e sperimentazione delle procedure di prova per test di abuso "in campo" su litio metallico e su sistemi di accumulo litio-ione"
- Rapporto tecnico relativo a "Batterie litio-ione: sulla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio"
- Rapporto tecnico relativo a "Applicazione di metodologie standardizzate di analisi di rischio a sistemi di accumulo elettrochimico al fine di identificare le principali condizioni di pericolo, e definizione della procedura di applicazione a sistemi di accumulo realizzati con tecnologie litio-ione"

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

d. Studi sulla gestione di sistemi di accumulo integrati con sistemi di produzione e/o consumo

Studio di sistemi di accumulo integrati con impianti di produzione fotovoltaica in edifici residenziali (TRL5 a TRL6-7)

Il progetto ha come obiettivo lo studio delle necessità e modalità di gestione e controllo di sistemi di accumulo integrati con impianti di produzione fotovoltaica in applicazioni residenziali e commerciali finalizzato alla valutazione tecnico ed economica con varie tipologie di utenza. Si prevede, alla fine del triennio, la realizzazione e prova di due dimostratori di potenza fotovoltaica pari a 3 kW e 9 kW, rispettivamente monofase e trifase, a cui verranno associate almeno due diverse tecnologie di accumulo e relative sistemi di gestione e controllo.

Nel corso della prima annualità verrà dapprima fatta una progettazione esecutiva degli impianti dimostrativi che dovranno essere realizzati e che utilizzeranno tecnologie di accumulo diverse. La progettazione esecutiva riguarderà anche i convertitori di potenza prototipali e relative logiche di gestione dei sistemi di accumulo che costituiranno parte integrante della successiva fase sperimentale. In questo

anno verrà inoltre sviluppata una modellistica ad hoc per i sistemi di accumulo (SdA), diversa da quella messa a disposizione dall'ambiente di simulazione che verrà adottato, e verranno inoltre sviluppati i modelli dell'impianto fotovoltaico e del carico di utente (con potenza fino a 10 kW). Verranno condotte simulazioni mirate che, basandosi su profili di carico reale degli utenti, individueranno le taglie ottimali per l'impianto fotovoltaico e per i SdA, nonché le logiche di gestione ottimizzate dei flussi energetici che verranno implementate nell'Energy Management System (EMS) con l'obiettivo di fornire vari tipi di servizi per l'utente finale (Load Shifting, Peak Shaving etc.) a vantaggio della spesa energetica dell'utente e dell'efficienza energetica complessiva degli impianti. Le simulazioni riguarderanno anche il confronto tra le prestazioni dei SdA collegati sul lato DC piuttosto che su quello AC di un impianto fotovoltaico. Verranno inoltre acquistati due carichi elettronici programmabili uno monofase e l'altro trifase idonei a replicare un profilo di carico residenziali e commerciali di vario tipo.

Nella parte finale del primo anno verranno quindi progettati i componenti principali, compresi dei sistemi di accumulo, integrati in impianti fotovoltaici, che verranno acquistati e realizzati nell'anno successivo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo a "Individuazione dei modelli matematici più rappresentativi dei sistemi di accumulo da utilizzare per la messa a punto del modello di simulazione degli impianti"
- Rapporto tecnico relativo a "Progettazione di sistemi di accumulo e di gestione e controllo integrati in impianti fotovoltaici per usi residenziali e commerciali"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

e. Collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati

L'attività prevede la prosecuzione della partecipazione attiva a diverse iniziative internazionali che sono una fonte continua di scambio e di orientamento dei programmi e delle attività nazionali sui sistemi di accumulo in batterie per applicazioni mobili e stazionarie. La partecipazione è funzionale al ruolo di supporto tecnico-scientifico e programmatico che l'ENEA svolge per i Ministeri competenti e per l'industria nazionale nel suo complesso. Pertanto proseguiranno le attività relative alla partecipazione alle attività dell'International Energy Agency (IEA) su "Energy Conservation through Energy Storage".

Inoltre, sarà intensificata l'attività di coordinamento e partecipazione all'alleanza europea, promossa dalla CE, denominata EERA, contribuendo in particolare al tema "Energy storage", con il coordinamento dall'ENEA nella parte relativa all'Accumulo Elettrochimico. In questo ambito saranno valutate ulteriori opportunità di sussidiarietà con i programmi europei previsti in Horizon 2020, anche alla luce di alcuni progetti di creazione di infrastrutture virtuali europee e di progetti specifici di ricerca in fase di valutazione ed anche in fase di definizione.

Infine sono previste collaborazioni scientifiche e tecnologiche sull'accumulo, promosse dal circuito COST (Cooperazione Scientifica e Tecnologica a livello europeo), come l'azione riguardante i sistemi di accumulo ibridi, composte da batterie e supercondensatori, che dovranno completarsi nel 2015.

I risultati delle attività svolte nell'ambito dell'accumulo di energia saranno diffusi a diverse tipologie di utilizzatori ed in diversi modi:

- la comunità scientifica tramite pubblicazioni su riviste scientifiche (4-5 articoli) e partecipazioni a convegni nazionali ed internazionali (almeno 4-5); questo canale consentirà di diffondere adeguatamente i risultati ottenuti e di acquisire le informazioni necessarie all'aggiornamento delle attività;
- i Ministeri competenti e l'industria nazionale tramite i documenti ufficiali prodotti e diffusi tramite internet e con contatti diretti, su temi specifici, quali ad esempio il supporto alla definizione di specifiche misure di incentivazione dell'uso dell'accumulo in applicazioni residenziali di impianti fotovoltaici;
- la comunità scientifica e industriale in senso più ampio nell'ambito delle collaborazioni nazionali, definite con vari organismi (associazioni industriali ed utilizzatori) e internazionali in atto in ambito IEA, CE (EERA) e all'interno di progetti nazionali ed europei in corso, che risultino complementari alle attività previste nella ricerca di sistema;

- ad attori industriali con cui siamo in contatto per la definizione e preparazione di progetti di ricerca industriale e di applicazione delle conoscenze e delle tecnologie sviluppate per la partecipazione a Programmi nazionali ed europei.

Inoltre quest'anno, eventualmente in collaborazione con CNR ed RSE, si prevede di organizzare, entro la prima metà del 2016, un incontro specifico di aggiornamento e di scambio delle attività di collaborazione svolte dal Gruppo di Lavoro "Accumulo".

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulla partecipazione ai gruppi internazionali e diffusione dei risultati

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Ricerca e sviluppo di accumulatori elettrochimici innovativi												
	<i>a.1 Batterie sicure e a basso costo allo zolfo funzionanti a RT</i>												
	<i>a.2 Sistemi a litio-ione di prestazioni/costi ottimizzati con materiali a basso costo</i>												
b	Studi sulla realizzazione di sistemi ibridi												
	<i>Sistemi di accumulo ibridi integrati</i>												
c	Definizione di procedure di prova e loro applicazione per la caratterizzazione dei sistemi di accumulo per il sistema elettrico												
	<i>c.1 Definizione di procedure di prova elettriche (invecchiamento e second life)</i>												
	<i>c.2 Definizione di procedure di prova per analisi di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico</i>												
d	Studi sulla gestione di sistemi di accumulo integrati con sistemi di produzione e/o consumo												
	<i>Studio di sistemi di accumulo integrati con impianti di produzione fotovoltaica in edifici residenziali</i>												
e	Collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati												

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)							TOTALE
			Personale (a)	Spese generali (b)	Strumenti e attrezzature ©	Costi di esercizio (d)	Acquisizione di competenze (e)	Viaggi e missioni (f)	Collaborazioni di cobeneficiari (g)	
a	Ricerca e sviluppo di accumulatori elettrochimici innovativi									
	<i>a.1 Batterie a basso costo allo zolfo a RT (da TRL2 a TRL4-5)</i>	1520	56	34	12	11	0	1	85	199
	<i>a.2 Sistemi a litio-ione di prestazioni/costi ottimizzati con materiali a basso costo (TRL4 a TRL5-6)</i>	1260	46	28	10	6	0	0	0	90
	<i>Subtotale Ob. a</i>	2780	102	62	22	17	0	1	85	289
b	Studi sulla realizzazione di sistemi ibridi									
	<i>Sistemi di accumulo integrati: modellazione accumulo per una fermata autobus con ricarica rapida (30", SC) e ricarica livellata (dalla rete, Pb)</i>	1270	47	28	0	0	0	0	0	75
c	Definizione di procedure di prova e loro applicazione per la caratterizzazione dei sistemi di accumulo per il sistema elettrico									
	<i>c.1 Definizione di procedure di prova elettriche (invecchiamento e second life)</i>	1510	56	33	2	0	0	1	45	137
	<i>c.2 Definizione di procedure di prova per analisi di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico</i>	1300	48	28	14	1	0	1	30	122
	<i>Subtotale Ob. c</i>	2810	104	61	16	1	0	2	75	259
d	Studi sulla gestione di sistemi di accumulo integrati con sistemi di produzione e/o consumo									
	<i>Studio di sistemi di accumulo integrati con impianti di produzione fotovoltaica in edifici residenziali</i>	2380	88	53	2	0	0	1	0	144
e	Collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati									
	<i>Collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati</i>	525	19	12	0	5	0	4	0	40
	TOTALE	9765	360	216	24	30	0	10	160	800

- * in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds
- (A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente
- (B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento; include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità
- (C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione
- (D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti
- (E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione
- (U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri, pari a 36,9 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Fornitura bilance	2.686,20	537,24	Preparazione materiali attivi x celle Li-zolfo
a.2	Termostato	16.727,04	3.345,41	Preparazione materiali attivi x celle Li-zolfo
a.2	Macchina pressa (CRIMPER) per celle a bottone	4.838,79	967,76	Preparazione celle Li-zolfo
c.1	Forno tubolare verticale	5.243,84	1.048,77	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-zolfo
c.1	Vibrosetacciatore analitico	12.254,88	2.450,98	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-zolfo
c.1	Bilancia analitica	1.645,60	329,12	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-zolfo
c.1	O40/2013/311 sistema da vuoto e linea da vuoto da collegare al sistema	5.368,77	1.073,75	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-zolfo
c.1	N. 2 computer portatili per collegamento strumentazione	3.874,42	1.291,34	Gestione prove su celle Li-zolfo e Li-ione
c.1	Disgregatore, agitatore, alimentatore, box asonoro	11.968,84	2.393,77	Preparazione di catodi per celle Li-zolfo e Li-ione
a.1	Sistema fotoemissione inversa	28.350,00	5.670,00	Preparazione componenti celle
a.2	Mulino planetario pm 100 cm	6.828,03	1.365,61	Registrazione eventi durante prove di sicurezza
c.1	Centrifuga	4.421,24	884,25	Sistema protetto per prove di sicurezza su celle Li-ione
d.1	Apparecchi e strumenti per vuoto e criogenia	9.714,51	1.942,90	Strumentazione per stazione prova per impianti FV con accumulo
d.1	Aspiratore NILFISK ALTO mod. ATTIX 30-0H PC in classe H	873,62	174,72	Strumentazione per stazione prova per impianti FV con accumulo
a.2	O40/2013/635 - workstation	8.671,76	2.890,30	Gestione prove su celle Li-zolfo e Li-ione
a.2	O40/2014/66 - armadio di sicurezza per infiammabili	1.189,74	237,95	Deposito bombole gas tecnici
a.1	O40/2014/231 - fornace di processo per crescita nanostrutture per catodi di batterie al litio	4.895,25	979,05	Sintesi di nanofili di silicio come anodi per batterie allo zolfo
c.2	O40/2014/380 - pompa self drying per aspirazione gas umidi e stufa da vuoto	13.664,00	2.732,80	Prove di sicurezza su batterie
c.2	O40/2014/469 - distillatore GFL 2012	8.184,49	1.636,90	Preparazione di reagenti
c.2	O40/2014/387 - reattore a pressione con termoregolatore	5.999,96	1.199,99	Prove di sicurezza su batterie
c.1	O40/2015/106 stufa universale APT	2.088,64	417,73	Prove di second life su batterie
a.1	O40/2015/202 sistema di digestione a microonde	19.884,78	3.976,96	Mineralizzazione di materiali
a.1	O40/2015/210 materiale HW informatico	1.999,58	666,46	Software informatico per gestione programmazione
c1	O40/2015/268 forno a muffola	3.439,18	687,84	Prove di sicurezza su batterie
c.1	O40/2015/270 bidistillatore elettrico	2.297,14	459,43	Preparazione di reagenti
d	Sistema Gd-Profilier	25.349,16	1.666,79	Analisi dei gas di uscita dalle batterie
c.2	Termocamera ADV_PACK sc450	21.106,00	57,82	Analisi del profilo termico delle batterie

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili; in grassetto le attrezzature acquisite nelle annualità precedenti

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Prodotti chimici (reagenti, materiali attivi per celle al litio-zolfo, liquidi ionici, gas tecnici per ambienti controllati)	4.000
a.1	Componenti metallici per supporto e movimentazione sistema da vuoto	5.500
a.1	Componentistica meccanica e chimica di consumo per laboratorio chimico per preparazione Li-zolfo (burette, pipette, beute e becher pirex, provette, navicelle per pesata)	3.000
c.2	Gas liquidi e di processo	2.500
c.2	Componentistica elettronica e meccanica	2.000
d.1	Componenti di consumo per attrezzature (kit di misura e parti di ricambio)	1.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Le attività non prevedono servizi di consulenza o acquisizione di competenze e brevetti.

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a	<p>Università di Bologna - Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Gruppo di ricerca ha sviluppato negli anni precedenti materiali catodici innovativi a base di fosfati con varie leghe metalliche con i relativi processi di preparazione ed è in grado di produrre le quantità necessarie alle attività previste nell'Ob. a, Task a.1 si occuperà della caratterizzazione delle interfasi elettrodiche in presenza di diversi mezzi elettrolitici e coadiuverà gli altri Partner nella caratterizzazione elettrochimica dei materiali elettrodici nanostrutturati e della cella completa.</p>	30
a	<p>Università di Camerino - Scuola di Scienze e Tecnologie - Sezione Chimica <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Gruppo di ricerca ha sviluppato negli anni precedenti materiali anodici innovativi a base di silicio e grafene e, nell'attuale anno all'interno del Task a.1, preparerà e caratterizzerà da un punto di vista chimico fisico ed elettrochimico gli anodi nanostrutturati a base di silicio e stagno.</p>	30
a	<p>Università di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento, in qualità di membro del Centro di Ricerca per le Nanotecnologie Applicate all'Ingegneria, con il suo laboratorio di "Elettrochimica Applicata", ha svolto con ENEA attività di ricerca nel campo delle batterie al litio, collaborando e nella Ricerca di Sistema, ha effettuato lo studio e la realizzazione di materiali catodici a base di litio ferro fosfato ed anodici a base di ossido di titanio. L'impegno di questo Dipartimento nell'anno in corso, nel Task a.1, riguarderà l'analisi SEM ad alta risoluzione e di quella AFM dei materiali a base di zolfo nano-incapsulato.</p>	25
c	<p>Università di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento ha svolto attività sperimentali su celle al litio nel precedente anno della Ricerca di Sistema e, nell'anno in corso, collaborerà anche con attività sperimentali alla stima del comportamento di celle al litio degradate per le prove di "second life" con la generalizzazione di procedure di prova. Partendo dai cicli tipo, verranno effettuate prove al ciclatore su accumulatori a fine vita utile, prevalentemente provenienti da veicoli elettrici, per sviluppare criteri di stima della vita residua utilizzabile nelle applicazioni precedentemente descritte. Aspetto importante in questo tipo di attività sarà anche lo sviluppo di criteri di selezione degli accumulatori a fine vita utile per poter usare interi pacchi o se preferibile caratterizzare i singoli accumulatori del pacco e poi riaggregarli in relazione al loro stato di vita.</p>	25
c	<p>Università di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Ingegneria Industriale <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento è riuscito, nell'anno precedente della Ricerca di Sistema, consentito di rappresentare attraverso la modellazione l'influenza delle modalità di utilizzo (in termini di corrente e SOC, e di velocità di richiesta) sulla durata del sistema di storage. Quest'anno verrà sviluppata, mediante una analisi numerico-sperimentale dei profili di utilizzo, una metodologia di identificazione di cicli standard (opportunitamente parametrizzati) con i quali verificare la risposta del sistema di storage al variare delle principali condizioni operative (ubicazione sito, variazione stagionale e giornaliera).</p>	20

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
c	<p>Università Sapienza di Roma - Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente (DICMA)</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento ha partecipato lo scorso anno allo studio del processo di apertura in sicurezza di celle al litio ed è stato scelto per le sue competenze sugli aspetti ambientali associati allo studio di processi di riciclo di composti come quelli utilizzati nelle batterie al litio. Quest'anno le attività riguarderanno l'applicazione di metodologie standardizzate di analisi di rischio a sistemi di accumulo elettrochimico composti da celle Litio-ione, al fine di identificare le principali condizioni di pericolo e le principali tecniche di identificazione degli scenari incidentali (FTA, FMEA, ecc.).</p>	30

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Titolo del Progetto	Nota esplicativa
HELIOS -High Energy Lithium-Ion Storage Solutions (chiuso ottobre 2013)	Questo progetto ha riguardato lo studio di 4 diverse tipologie di celle al litio di alta energia specifica per applicazioni ai veicoli elettrici a batterie o ibridi plug-in. Le attività ENEA hanno riguardato la realizzazione di elettrodi ed elettroliti e la caratterizzazione di celle prodotte da SAFT.
HCV – Hybrid Commercial Vehicles (chiuso giugno 2014)	Questo progetto prevedeva la realizzazione di autobus e furgoni commerciali ibridi innovativi da parte delle principali aziende europee (Volvo, IVECO, Solaris) e la loro sperimentazione sul campo. L'ENEA ha coordinato il Sottoprogetto Energy Storage per la sperimentazione di celle e moduli al litio e con supercondensatori forniti da costruttori/assemblatori (Magna e DimacRed), partecipanti al progetto.
GREENLION - Advanced eco-design and manufacturing processes for batteries and electrical components Advanced eco-design and manufacturing processes for batteries and electrical components Environment (including Climate Change) (chiuso ottobre 2015)	Questo progetto prevede lo sviluppo di processi ecologici per la produzione di batterie al litio. Il ruolo dell'ENEA riguarda lo studio di alcuni materiali (particolarmente liquidi ionici per l'elettrolita) e processi insieme ad altri partecipanti al progetto, diversi da quelli studiati nella ricerca di sistema, e nella caratterizzazione di celle e moduli prototipali, di taglie non compatibili con le attrezzature di preparazione dell'ENEA, prodotte da altri partecipanti al progetto. I liquidi ionici prodotti in GreenLion sono compatibili con il litio ma non con i sistemi allo zolfo, sviluppati nella Ricerca di Sistema.
MARS-EV - Materials for Ageing Resistant Li-ion High Energy Storage for the Electric Vehicle (in corso)	Questo progetto riguarda il miglioramento della vita di batterie al litio per i veicoli elettrici. L'ENEA svolge attività su liquidi ionici che sono compatibili con i materiali utilizzati nelle batterie al litio, mentre nelle attività previste nel Task a.1 si dovranno sviluppare liquidi ionici compatibili con lo zolfo ed altri materiali utilizzati in cella base di zolfo, con caratteristiche completamente diverse da quelle prodotte nel progetto Mars-EV.

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nel PAR 2015

Ob.	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a.1	Questa attività non è stata svolta nel PAR2014.	<ul style="list-style-type: none"> - Preparazione di materiali elettrodici a base di zolfo, con lo scopo, nel primo anno, di sviluppare particelle nanometriche a base di zolfo rivestite con uno strato di polimero in grado di confinare gli ioni solfuro e polisolfuro all'interno della nanoparticella; - Realizzazione di anodi formati da nanofili di silicio e ii) stabilizzazione di nanoparticelle di silicio e stagno depositate su matrici grafeniche. In particolare in questo anno si porrà l'attenzione sulla riduzione della capacità irreversibile focalizzandosi sulla formazione e sulla composizione del SEI (Solid-Electrolyte Interphase);
a.2	- Realizzazione di due prototipi di celle/stack Litio-ione da circa 1 Ah, con processi da laboratorio, per applicazioni di alta energia e di alta potenza nelle reti elettriche	<ul style="list-style-type: none"> - Esecuzione di prove in laboratorio per la conferma del miglioramento della sintesi dei materiali elettrodici ad alta potenza ed alta energia; - Utilizzo dei detti materiali per la realizzazione delle stese elettrodiche impiegando polimeri vinilici idrosolubili come leganti;
b	Questa attività non è stata svolta nel PAR2014.	- Progettazione di un sistema ibrido batteria-super condensatore con relativa elettronica di gestione e controllo, riferito ad un caso reale

Ob.	Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
c.1	<p>Nel 2014-2015, l'ENEA ha proposto un ciclo di prova vita più complesso, legato ai profili di funzionamento raccolti sul campo. Infine, si sono studiati, in collaborazione con l'Uniroma, attraverso le prove di "second life" condotti con tre cicli diversi (Pro, Light e intermedio), e di invecchiamento modelli di comportamento delle batterie litio-ione con un'analisi delle procedure di invecchiamento adottate. Inoltre è stata svolta la caratterizzazione termica delle singole celle, mediante termografie, che hanno evidenziato una limitata necessità di condizionamento termico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le indicazioni raccolte dalle prove dell'anno precedente saranno utilizzate per la preparazione di un piano di prove di funzionamento ed invecchiamento su chimiche diverse al litio per il prossimo triennio di attività, d'intesa con CNR e RSE. - Saranno estese le prove vita del tipo "second life" con la definizione di criteri di stima della vita residua e di selezione degli accumulatori a fine vita utile - Identificazione di cicli standard (opportunosamente parametrizzati) con cui verificare la risposta del sistema di accumulo, da utilizzare successivamente per definire cicli di lavoro e procedure di prova a cui sottoporre le batterie per un invecchiamento controllato ed accelerato.
c.2	<p>Nel PAR 2014 si è passati ad una fase più sperimentale sugli aspetti di sicurezza delle batterie al litio. A tal fine, con la squadra di emergenza incendio interna al CR ENEA Casaccia, sono state studiate le cause esogene ed endogene di un incendio reale di celle litio-ione, ed effettuate verifiche sperimentali con i sistemi di estinzione che verranno selezionati.</p> <p>Le prove sono state preparatorie alla conduzione in sicurezza delle prove di abuso e di apertura delle celle. Le attività sono state rivolte a capire le condizioni per un piano di ricerca per il prossimo triennio, comprendente azioni e linee guida per la formazione degli addetti alla lotta antincendio di questi sistemi</p>	<ul style="list-style-type: none"> - In via preliminare nel primo anno si prevede l'esecuzione di prove di incendio ed esplosione di sistemi di accumulo Litio-ione e prove di estinzione incendio su SA con diverse composizioni di utilizzo commerciale e diverse condizioni di carica e abuso; - La sperimentazione in campo, associata a studi specifici di sicurezza mediante Fault Tree Analysis (FTA) e/o Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) consentirà, attraverso la definizione di procedure di prova in campo, la messa a punto dei criteri di scelta dei sistemi di estinzione e delle procedure di intervento in caso di emergenza
d.1	<p>Questa attività non è stata svolta nel PAR2014.</p>	<p>Progettazione esecutiva degli impianti dimostrativi di potenza fotovoltaica pari a 3 kW e 9 kW che utilizzeranno tecnologie di accumulo diverse. La progettazione esecutiva riguarderà anche i convertitori di potenza prototipali e relative logiche di gestione dei sistemi di accumulo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sviluppo di una modellistica ad hoc per i sistemi di accumulo e di modelli dell'impianto fotovoltaico e del carico di utente (con potenza fino a 10 kW)
e.1	<ul style="list-style-type: none"> - L'ENEA ha continuato la partecipazione attiva a diverse iniziative internazionali, quali quelle dell'International Energy Agency (IEA) su "Energy Conservation through Energy Storage". - Inoltre, è stata aggiornata, a seguito del cambio di natura legale della EERA, l'attività di coordinamento e partecipazione all'alleanza europea, promossa dalla CE, contribuendo in particolare al tema "Energy storage", con il coordinamento dall'ENEA nella parte relativa all'Accumulo Elettrochimico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proseguirà la partecipazione a diverse iniziative internazionali, quali quelle dell'International Energy Agency (IEA) su "Energy Conservation through Energy Storage" ed anche in EMIRI (Energy Materials Industrial Research Initiative) per la parte relativa all'accumulo - Verrà intensificato l'impegno in EERA, contribuendo in particolare al tema "Energy storage", con il coordinamento dall'ENEA nella parte relativa all'Accumulo Elettrochimico
e.2	<ul style="list-style-type: none"> - L'ENEA ha organizzato, il 3 luglio 2015, uno specifico workshop sul Progetto "Sistemi Avanzati di Accumulo dell'Energia" con la finalità di presentare i risultati delle attività di ricerca svolte nei laboratori dell'ENEA in collaborazione con istituti universitari. Al Workshop hanno partecipato circa 90 persone a cui sono state presentate le principali attività del progetto ed il punto di vista delle aziende interessate. - In aggiunta si sono avute oltre 30 pubblicazioni e presentazioni a Convegni nazionali ed internazionali (3 con presentazione diretta del programma accumulo ENEA della RdS). 	<ul style="list-style-type: none"> - Le attività di diffusione proseguiranno in linea con quanto previsto, cercando di intensificare gli scambi a livello internazionale, per tener conto delle possibili collaborazioni in Horizon 2020, con diversi contributi alla redazione dei documenti di pianificazione e di sviluppo, quali la Integrated Roadmap del SET Plan, oltre alla consueta azione di diffusione tramite pubblicazioni in riviste del settore e partecipazioni/presentazioni a convegni

AREA	EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI
Tema di Ricerca	EDIFICI INTELLIGENTI
Progetto D.1	TECNOLOGIE PER COSTRUIRE GLI EDIFICI DEL FUTURO

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

L'efficienza energetica degli edifici è uno dei temi più rilevanti e strategici che si stanno dibattendo in questi anni in ambito europeo ed internazionale. L'Unione Europea si è fatta promotrice di programmi, progetti e direttive, come la 2002/91/CE e la 2010/31/UE sul rendimento energetico degli edifici e la 2012/27/UE¹ sull'efficienza energetica, al fine di mettere in campo strumenti, criteri e soluzioni armonizzate e condivise sul tema specifico dell'incremento dell'efficienza energetica degli edifici, esistenti e nuovi.

Date le potenzialità di risparmio ottenibili dal settore civile, che nel 2013 ha contribuito con circa il 39% agli impieghi finali nazionali, l'incremento dell'efficienza energetica negli edifici costituisce un obiettivo prioritario per il Paese, perseguito anche grazie all'attivazione di un'ampia gamma di misure di regolazione e di incentivazione.

La principale fonte energetica utilizzata nel settore residenziale, nel 2013, è il gas naturale con il 47% dei consumi totali, costante rispetto all'anno precedente, seguita dall'impiego di legna (22% del totale) ed energia elettrica, 19,2%, con un -3,6% dei consumi rispetto al 2012². Il consumo energetico per la climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) assorbe circa il 76% del totale, in crescita negli ultimi anni, quello per illuminazione e apparecchi elettrici, al pari di quello per usi cucina e acqua calda sanitaria, ha avuto un andamento costante nel tempo, anche se in leggero calo negli ultimi anni.

Per quanto riguarda i consumi del settore non residenziale, in cui sono compresi gli edifici adibiti ai servizi, al commercio e alla Pubblica Amministrazione, hanno fatto registrare negli anni una continua e forte crescita, frenata negli ultimi tempi dalla crisi economica; ad esempio il consumo elettrico per addetto nel commercio ha avuto un andamento costantemente crescente, a differenza di quello più altalenante mostrato dal consumo energetico per addetto.

Quanto sinteticamente riportato mostra segnali significativi di un approccio strategico al risparmio energetico e all'efficienza energetica, tuttavia per conseguire gli obiettivi nazionali rispettando le scadenze è necessario imprimere una forte accelerazione al processo di rinnovamento delle tecniche di costruzione e riqualificazione degli edifici.

In tale contesto è determinante il contributo dell'innovazione tecnologica e, conseguentemente, degli strumenti di ricerca che consentono di "progettare/implementare" tecnologie innovative e che comportano riduzione dei consumi; un altro aspetto importante riguarda la realizzazione di applicazioni e sperimentazioni delle soluzioni sviluppate a casi reali che, da una parte, ne evidenziano i reali benefici e le criticità, dall'altra costituiscono un efficace veicolo di informazione che ne favorisce la replicabilità.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Le componenti che intervengono nel corretto funzionamento del sistema edificio efficiente sono molteplici: involucro, pareti trasparenti, finestre e daylighting, impianti di climatizzazione e ventilazione, illuminazione e sistemi elettrici, sistemi ad energia rinnovabile, utilizzo di materiali nuovi e a basso impatto ambientale, strumenti ICT, BEMS, ecc.

Recenti indagini hanno dimostrato che le tecnologie con un maggiore contenuto di innovazione godono di una evidente crescita; in particolare quelle correlate al settore dell'efficienza energetica degli edifici hanno

¹ Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

² Rif. Rapporto Annuale Efficienza Energetica (dati2013) – ENEA 2015.

registrato un vero e proprio *boom*. Secondo questi dati, il trend positivo ha interessato soprattutto le pompe di calore, i gruppi refrigeratori e condizionatori ad aria e acqua (+20%, per un fatturato di 472 milioni di euro) e i dispositivi per la domotica (+34% per un fatturato di 368 milioni di euro).

Questa tendenza risulta ancora più evidente se si valutano le esportazioni che vedono una forte impennata, anche rispetto alle quote di mercato nazionale, come nel caso di impianti di climatizzazione estiva, di infissi motorizzati, di impianti termici, di sistemi di automazione e di gestione dei consumi energetici.

Recenti stime fatte da ENEA mostrano che per soddisfare gli obiettivi vincolanti di riduzione dei consumi al 2020, per quanto attiene il settore residenziale (3,67 Mtep/anno³) e terziario (1,23 Mtep/anno) si dovranno attivare nel periodo 2016-2020 investimenti per circa 120 miliardi (edifici residenziali); circa 88 miliardi (edifici non residenziali pubblici e privati) occorreranno al settore dell'edilizia per rinnovare il parco immobiliare nazionale, rendendo gli edifici esistenti ad alte prestazioni energetiche.

Tali scenari positivi non possono prescindere da un adeguato programma di R&S che supporti le imprese a mantenga il vantaggio competitivo nel mercato europeo e internazionale.

Al riguardo, le attività proposte interessano quei settori che nel panorama industriale italiano hanno evidenziato grosso interesse sia da parte dei produttori-fornitori, sia da parte degli utenti finali e che possono avere una ricaduta diretta a livello nazionale finalizzata a delineare le caratteristiche dell'edificio del futuro. In particolare ci si è orientati verso nuove architetture per edifici singoli o aggregati in cui si faccia uso di soluzioni innovative che da un lato riducano il fabbisogno energetico e dall'altro incrementino le prestazioni dell'impianto termico. Ciò è ottenibile mediante soluzioni tecnologiche innovative che integrino più sistemi di generazione (a fonte rinnovabile e non), siano gestiti da sistemi di supervisione e controllo più complessi che facciano largamente uso di ICT e adottino logiche in grado di soddisfare vari obiettivi (economici, prestazionali, ambientali, comfort, etc.) e di reagire alle esigenze mutevoli degli utenti finali (BEMS). Un ulteriore tema che sarà affrontato riguarda la possibilità di fornire indicazioni agli utenti finali per aumentarne la consapevolezza sulle abitudini di consumo, aspetto divenuto ancor più importante dall'obbligo sancito dal DL 102/2014 di installare contabilizzatori di energia termica individuali dal 31 dicembre 2016.

Per raggiungere l'obiettivo finale di indirizzare le scelte delle soluzioni tecnologiche, valutandone i potenziali di risparmio energetico e fornire indicazioni sulle azioni di sostentamento per la diffusione delle tecnologie più promettenti, un ruolo chiave è rappresentato dalla conoscenza delle abitudini di consumo degli utenti. Tale considerazione è alla base dell'attività che mira alla messa a punto di metodologie per la definizione di modelli in grado di ricostruire profili di consumo energetico, dettagliati per tipologia di edificio, usi e fonte primaria, sulla base di un campione statistico altamente significativo e rappresentativo delle peculiarità del nostro Paese.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Nel Piano Annuale di Realizzazione 2014 del progetto C.1: "Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi" era presente la linea "reti di poligenerazione" che ha portato allo sviluppo di una piattaforma di simulazione dinamica per reti termiche (in configurazione generazione distribuita o centralizzata) in ambiente Matlab/Simulink; con tale strumento sono state condotte valutazioni tecnico-economiche delle prestazioni di reti termiche in contesti reali sia nel caso di aree urbane in cui gli edifici erano riscaldati da impianti singoli, sia in aree già servite da reti di teleriscaldamento in cui la valutazione ha riguardato il beneficio indotto da sottostazioni di scambio termico attive; in quest'ultimo caso l'utente (l'intero edificio), dotato di un proprio sistema di generazione (tipicamente alimentato da fonte rinnovabile, quale un campo solare termico) diventa da mero consumatore a "produttore" in quanto ha la possibilità di riversare in rete l'energia termica prodotta ed eccedente l'autoconsumo. La qualità dei risultati di queste prime analisi, come anche sottolineato dai commenti degli esperti, hanno stimolato il proseguimento di tale tematica. Sempre all'interno della stessa linea sono state svolte altre due attività che hanno prodotto risultati di interesse (iniziate nell'ultima annualità dello scorso PAR), la prima ha riguardato l'analisi e

³ Rif. Piano di Azione nazionale per l'Efficienza Energetica (PAEE2014).

l'individuazione di soluzioni tecnologiche per l'efficientamento energetico delle isole minori non connesse al sistema elettrico nazionale, di cui è stato stimato il potenziale termico di risparmio energetico nel caso di produzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione mediante reti di teleriscaldamento e raffreddamento; la seconda attività ha avuto l'obiettivo la caratterizzazione metrologica in laboratorio dei sistemi di misura per le reti termiche distribuite.

Nell'ambito della linea "Gestione ottimale di reti di edifici" è stata sviluppata e qualificata una piattaforma di supervisione dello *Smart Village* consistente in un sistema on-line per analisi dati avanzata (diagnostica) e controllo adattivo su singolo edificio e una piattaforma integrata di simulazione consumi-algoritmi di ottimizzazione finalizzato alla sperimentazione di scenari di *'active demand'* su reti di edifici. È stata inoltre realizzata una *facility* sperimentale avanzata per lo studio in condizioni reali di una rete locale di *smart building networks, smart districts (Smart Village 'Casaccia'), smart buildings* a diverso livello di sensorializzazione, *smart rooms/office*; all'interno della *facility* è stato progettato un sistema strumentale, sono stati progettati sensori in grado di acquisire "storia" e si è approntato un sistema che sarà in grado di analizzare, sintetizzare e operare con azioni di controllo sulle utenze.

Nel progetto C.2 "Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico", linea "Sviluppo di e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologico" sono state condotte attività di valutazione di soluzioni tecnologiche e impiantistiche di climatizzazione naturale per favorire una maggiore sostenibilità energetica ed ambientale che hanno portato a realizzare prototipi di coperture verdi per la coibentazione degli edifici e valutazioni mediante software dinamici del comportamento termico dell'involucro dell'edificio e le conseguenti ricadute, in termini di comfort, sulle temperature degli ambienti interni.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale dell'attività consiste nell'implementazione di metodi, strumenti e sperimentazioni su casi reali per lo sviluppo di soluzioni innovative per la progettazione e la realizzazione di edifici che rappresentino la nuova frontiera dell'efficienza energetica in termini di riduzione dei consumi energetici, comfort abitativo e valorizzazione della competitività dei prodotti dell'industria nazionale.

Descrizione dell'attività a termine

L'attività a termine, con un orizzonte temporale triennale, si articola attraverso le seguenti 5 linee, più una dedicata alla diffusione dei contenuti e dei risultati ottenuti:

- a. Soluzioni innovative per l'efficientamento degli edifici
- b. Reti termiche distribuite
- c. Tecnologie "green" per gli edifici
- d. Gestione di edifici in contesto *Smart District* e scenari di *Demand-Response*
- e. Analisi e benchmark di consumi energetici degli edifici nei settori economici

Principali risultati previsti alla fine del triennio

Di seguito l'elenco dei risultati previsti:

- ✓ l'individuazione, l'analisi e la sperimentazione di soluzioni innovative per l'efficienza energetica degli edifici residenziali (mono e plurifamiliari), pubblici e del settore terziario basate sull'integrazione sistemica di tecnologie per la climatizzazione degli edifici, fonti rinnovabili e architetture informatiche tese a valutare quali tipologie di accumulo energetico (termico o elettrico) possano essere più efficienti e convenienti, sia da un punto di vista energetico sia da quello economico per gli utenti finali;
- ✓ analisi di soluzioni tecniche in grado di ridurre i carichi elettrici per la climatizzazione degli edifici e di massimizzare il rendimento di generazione e distribuzione delle reti insulari non interconnesse alla rete elettrica nazionale (RTN);

- ✓ analisi comparativa di sistemi di *thermal smart metering*, infrastrutture impiantistiche e sistemi di controllo per applicazioni di *retrofit* in edifici esistenti e per la progettazione di edifici di nuova realizzazione;
- ✓ valutazione tecnico-economica di vari sistemi di misura (diretta e indiretta) per la contabilizzazione individuale dell'energia termica;
- ✓ valutazione tecnico-economica di nuove configurazioni di reti termiche distribuite e di reti di teleraffrescamento che ottimizzino le prestazioni delle stesse, anche mediante campagne sperimentali su casi reali;
- ✓ sviluppo di un prototipo di un accumulo a cambiamento di fase, ottimizzato per la fase fredda, e di un modello accurato di accumulo stagionale;
- ✓ realizzazione di un modello matematico con approccio multi-obiettivo per identificare strategie ottimali di gestione di reti termiche distribuite che consentano di perseguire sia obiettivi a breve termine, quali minimizzazione dei costi dei vettori energetici, sia a lungo termine, quali minimizzazione dell'impatto ambientale;
- ✓ analisi sperimentale degli impatti energetico-ambientali di sistemi naturali, costituiti da essenze vegetali, per la coibentazione di edifici e caratterizzazione energetico-economica di impianti di solar cooling per l'impiego in sistemi serra, condotta su un impianto reale;
- ✓ realizzazione di una piattaforma integrata per la gestione del *demand response* di una rete di edifici terziari;
- ✓ sviluppo di un modulo integrato multisensoriale con doti di apprendimento in grado di comprendere le abitudini di utilizzo e di massimizzare il confort e il risparmio energetico;
- ✓ realizzazione di un dimostrativo pilota di un sistema multisensoriale esperto ed intelligente, in grado di essere installato in almeno un ufficio e valutato per confronto con un ufficio in cui non è installato;
- ✓ analisi dei consumi energetici degli edifici nei settori economici e realizzazione di modelli in grado di determinare i profili di consumo degli utenti finali.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Il presente tema di ricerca è stato affidato interamente ad ENEA. Le linee di attività proposte non risultano presenti in altri temi di ricerca dell'area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici".

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Un uso più diffuso di tecnologie innovative ed efficienti e una migliore e più razionale gestione dei consumi energetici degli edifici, consentono concreti e diretti benefici economici in termini di riduzione dei costi sulle bollette delle utenze finali (tra le quali principalmente le aziende che attueranno programmi di efficienza energetica seguendo un approccio di tipo sistemico), di consumi della PA, che agisce indirettamente sui costi della collettività, e di un miglioramento generale del comfort abitativo.

L'attività dell'annualità in corso metterà in evidenza i vantaggi derivanti dall'integrazione di soluzioni impiantistiche per la climatizzazione degli edifici, fonti rinnovabili e nuove architetture informatiche in termini di risparmio energetico e ottimizzare delle prestazioni di edifici singoli o aggregati, su scala distrettuale o territoriale, per il settore residenziale e terziario. Particolare importanza è riservata all'aspetto del monitoraggio dei consumi energetici per il settore residenziale poiché in grado di rendere l'utente più consapevole sull'uso razionale del energia. A tal fine è prevista un'attività di raccolta ed elaborazione di dati che consentirà da un lato di incrementare la conoscenza delle abitudini di consumo delle famiglie e dall'altro di fornire indicazioni più dettagliate sulle azioni di sostentamento per la diffusione delle tecnologie più promettenti. Un ruolo di primaria importanza in questa tematica è demandato al sistema centrale di supervisione, in grado di ottimizzare i flussi energetici e la gestione del singolo edificio e di reti di edifici, oggetto di un'attività mirata a sviluppare strumenti previsionali per l'ottimizzazione di funzioni di costo o la massimizzazione dell'autoconsumo.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Soluzioni innovative per l'efficientamento degli edifici

a.1 Architetture impiantistiche ibride per la climatizzazione degli edifici

L'attività proposta nell'ambito della presente linea ha come obiettivo, nell'orizzonte temporale del prossimo triennio, l'individuazione, l'analisi e la sperimentazione di soluzioni innovative per l'efficienza energetica degli edifici residenziali, pubblici e del settore terziario, basate sull'integrazione di tecnologie per la climatizzazione, fonti rinnovabili e architetture informatiche. L'uso sempre maggiore delle fonti rinnovabili non programmabili elettriche e termiche sta favorendo un crescente ricorso ai sistemi di accumulo energetico sia per massimizzare l'efficienza dell'intero impianto sia per ottimizzare la quota di autoconsumo limitando lo scambio energetico con la rete da parte dell'utente finale. Varie possono essere le soluzioni tecnologiche e sistemiche alternative e/o integrative alla classica installazione dei sistemi di accumulo, come l'integrazione delle fonti rinnovabili elettriche non programmabili con sistemi di climatizzazione per gli edifici gestiti da un apposito sistema di controllo. Analisi comparative che mettano in evidenza quali soluzioni integrate possano essere più efficienti e convenienti, sia da un punto di vista energetico sia da quello economico per gli utenti finali diventa di primaria importanza; per questi motivi l'attività proposta per il triennio vuole investigare l'aspetto sistemico dell'integrazione di varie soluzioni proposte, non prendendo in considerazione l'aspetto di sviluppo tecnologico dei singoli componenti già oggetto di passati PAR. A titolo di esempio una delle prime soluzioni che sarà investigata riguarderà l'accoppiamento di pompe di calore a compressione con accumulo termico e sistemi di generazione elettrica a fonte rinnovabile con l'obiettivo di evidenziare i vantaggi del sistema ibrido, applicato a diverse tipologie di utenti, nell'accumulare una quota dell'energia prodotta e valutare se sia più conveniente accumulare energia elettrica o energia termica; inoltre si metteranno a punto sistemi di controllo e supervisione che, per tipologia di utenza, tenderanno a massimizzare l'efficienza dell'intero sistema.

Lo studio avrà per oggetto sia interventi di retrofit su edifici esistenti, sia l'analisi di soluzioni tecnologiche innovative adottabili nella progettazione di nuovi edifici, al fine di poter incrementare la quota di fonte rinnovabile per la climatizzazione degli edifici e consentire il raggiungimento degli obblighi previsti dal DLgs 28/2011 e dal DM 26/06/2015 (definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici), anche in contesti territoriali e urbanistici complessi.

Proseguendo le attività di ricerca dello scorso triennio che hanno portato allo sviluppo di modelli in grado di simulare sistemi per la climatizzazione degli edifici ad alta efficienza, nel corso della prima annualità verranno indagate e simulate architetture impiantistiche ibride basate sull'integrazione di un mix tecnologico costituito da sorgenti rinnovabili, sistemi di accumulo termico ed elettrico e pompe di calore (idroniche o aerauliche) a servizio di edifici residenziali o uffici. L'obiettivo dello studio è l'ottimizzazione dello sfruttamento delle risorse energetiche locali non programmabili, minimizzando i costi di investimento per lo stoccaggio dell'energia elettrica prodotta; ciò sarà ottenuto intervenendo sulla gestione del sistema ibrido in modo da favorire l'utilizzo della pompa di calore con l'accumulo termico attraverso la modulazione della potenza assorbita in funzione della produzione della sorgente rinnovabile (*load shifting* del carico termico). Il nuovo sistema studiato consente di estendere il concetto di "edificio ad energia quasi zero" ad "edificio a km zero" massimizzando l'autoconsumo in loco. Verranno analizzati diversi layout impiantistici di integrazione del sistema di generazione elettrica (es. campo fotovoltaico e accumulo elettrolitico) con il sistema di generazione termica (es. pompa di calore con accumulo termico), valutandone i benefici economici per l'utente finale in relazione al sistema tariffario e incentivante previsto dalla normativa vigente (es. SEU, scambio sul posto).

Particolare attenzione sarà riservata alle soluzioni ibride ad alta efficienza per la climatizzazione estiva, individuando un caso studio reale di un'edificio a basso consumo energetico realizzato in clima mediterraneo di cui saranno analizzate, mediante campagna di prove sperimentali, le prestazioni energetiche.

A tale scopo verrà avviata anche l'analisi dei protocolli di comunicazione e lo sviluppo di un sistema di controllo centrale, valutando l'impiego di soluzioni a basso costo in grado di gestire in modalità integrata, localmente o da remoto (es. via LAN), i diversi componenti impiantistici che costituiscono il sistema ibrido (pompa di calore, accumulo termico, accumulo elettrico) con logiche che massimizzino i vantaggi economici forniti dal nuovo sistema regolatorio introdotto dalla delibera della AEEGSI 578/2013/R/eel che riconosce condizioni tariffarie agevolate all'energia elettrica autoconsumata se prodotta da SEU (Sistemi Efficienti d'Utenza).

Nel corso del prossimo triennio verrà proseguita l'attività intrapresa nella precedente annualità sull'efficientamento energetico delle isole minori i cui extra costi per la fornitura di energia elettrica sono coperti dal sistema di integrazione tariffario tramite la componente UC4 della bolletta elettrica. Quest'ultima è in fase di graduale riforma da parte dell'AEEGSI come stabilito dall'art. 28 del Decreto legge 91/2014 che prevede una remunerazione degli investimenti e un riconoscimento dei costi del servizio svolto per le imprese elettriche minori che incentivano, in un determinato arco temporale, il raggiungimento di obiettivi di efficienza gestionali.

Dall'analisi svolta nella precedente annualità si evince che uno dei principali fattori di criticità nel dispacciamento e generazione dell'energia elettrica nei contesti isolani è legato alla fluttuazione stagionale del carico che nel periodo estivo può raggiungere in alcuni casi un valore pari a 5 volte il carico degli altri mesi (UNIEM – Unione Imprese Elettriche Minori). Proseguendo lo studio avviato l'anno precedente, nel corso del successivo triennio verranno analizzate le soluzioni tecniche capaci di ridurre i carichi elettrici per la climatizzazione degli edifici e l'utilizzo di sistemi ICT applicati a scala di edificio per massimizzare il rendimento di generazione e distribuzione delle reti insulari non interconnesse alla rete elettrica nazionale (RTN), considerando le reali condizioni economiche in cui operano i gestori del servizio elettrico isolano.

In particolare nella presente annualità si intende focalizzare lo studio su una delle 11 isole minori (es. l'isola di Lampedusa) procedendo al censimento di edifici di maggiore interesse e alla loro classificazione sulla base della destinazione d'uso, delle dimensioni e degli impianti installati (elettrico, illuminazione, riscaldamento, produzione ACS, condizionamento, trasmissione dati e sistemi di building automation eventualmente presenti). Tenendo conto delle peculiarità degli edifici censiti e del contesto territoriale, nella prima annualità verrà indagata la possibilità di installare presso le singole utenze (edifici pubblici, strutture alberghiere, edifici mono-multi familiare) sistemi e tecnologie in grado di ridurre la richiesta di energia elettrica per la climatizzazione estiva ed invernale, che impieghino il vettore termico o l'energia termica/elettrica autoprodotta (pompe di calore *solar driven*, climatizzatori *heat driven* con sistemi di accumulo, ecc), valutandone l'impatto sulla gestione della rete elettrica dell'isola (es. riduzione dei picchi di assorbimento, riduzione delle oscillazioni del carico dovute alla stagionalità). Contestualmente sarà avviato lo studio di logiche di aggregazione del carico elettrico e termico degli utenti finali isolani finalizzate all'incremento delle prestazioni dei generatori distribuiti in condizioni di massima efficienza, in abbinamento a sistemi di accumulo e a possibili microreti termiche locali.

Nell'ambito dello studio di nuove tecnologie per l'efficienza energetica degli edifici intelligenti, un'ulteriore attività sperimentale condotta nella presente annualità riguarda le cosiddette "finestre intelligenti"; queste ultime rappresentano una tecnologia all'avanguardia nella realizzazione di edifici particolarmente prestazionali in quanto permette di accrescerne l'efficienza energetica, di abbattere i consumi energetici per la climatizzazione e l'illuminazione, di migliorare l'isolamento termico della struttura e di evitare i costi di installazione e manutenzione di barriere ottiche (tendaggi, veneziane o altro). Si tratta, in sostanza, di considerare le finestre come oggetti polifunzionali, che intervengano attivamente in un ambiente, sia per il risparmio energetico complessivo sia nel permetterne una fruibilità migliorata. In particolare l'attività è incentrata sulla realizzazione di dispositivi OLED trasparenti da inserire nelle finestre e sulla sintesi di nuove molecole ispirate ai pigmenti melanici da impiegare come materiali elettroluminescenti in dispositivi OLED a basso impatto ambientale.

a.2 Sistemi di metering e controlli innovativi per l'efficienza energetica degli edifici residenziali

Nel corso del prossimo triennio di attività si vogliono analizzare i sistemi di *thermal smart metering* e i sistemi di controllo per applicazioni di retrofit in edifici esistenti e per la progettazione di edifici di nuova realizzazione.

In particolare nella presente annualità, nell'ambito degli obblighi stabiliti dall'art.9 del DL 102/2014, che prevede entro il 31 Dicembre 2016 l'installazione di contatori individuali per misurare l'effettivo consumo termico in ciascuna unità immobiliare, verrà effettuato uno studio sull'utilizzo di diversi sistemi di tipo *thermal smart meter* per la contabilizzazione e la ripartizione dei costi energetici. Tale studio consiste nella valutazione tecnico-economica dell'utilizzo di sensori ed attuatori di energia termica (per esempio sistemi di ripartizione e regolazione del calore) atta ad evidenziarne eventuali criticità nella misura e regolazione degli stessi. L'attività prevede una campagna sperimentale effettuata presso un edificio residenziale dove sarà possibile testare e confrontare differenti metodi di misura e ripartizione del calore (*thermal smart meter* diretti ed indiretti) analizzandone le criticità e le prestazioni nel funzionamento in campo. Contestualmente nel primo anno verrà fatta una analisi critica sullo stato dell'arte delle tecnologie e dei protocolli di comunicazione a basso costo in grado di superare le soluzioni "walk by" principalmente impiegate nei condomini (misuratori che trasmettono i dettagli dei consumi energetici in un momento prestabilito ad un operatore che li riceve negli spazi accessibili dell'edificio), consentendo all'utente una maggiore consapevolezza dell'andamento dei propri consumi termici (ottimizzazione della frequenza di misura) e quindi una riduzione degli stessi. I protocolli di comunicazione dovranno consentire una integrazione dei contabilizzatori individuali delle singole unità abitative con i sistemi di controllo in grado di ottimizzare i consumi termici dell'edificio mediante l'implementazione di logiche di gestione tipo "short term response", in prospettiva di un costo orario dell'energia termica variabile nel tempo.

Inoltre nel corso della presente annualità, si intende avviare lo sviluppo di una piattaforma software in grado di interagire da remoto (es. via WAN -LAN) con i sistemi di contabilizzazione individuale e con una sensoristica a basso costo installata presso gli edifici e in grado di effettuare una valutazione periodica di specifici indici qualitativi, dal cui andamento si possa essere risalire a possibili criticità nella gestione energetica dell'edificio. Quest'ultimo tema potrebbe essere di particolare interesse per i distributori e per gli operatori che dovranno effettuare le misure dei consumi termici individuali previste DL 102/2014, in quanto si potrebbe configurare come un servizio aggiuntivo offerto all'utente finale.

Nell'ambito della progettazione di nuovi edifici si intende approfondire, durante l'annualità in corso, la potenzialità della metodologia BIM (*Building Information Modeling*) applicata agli impianti, essenzialmente nelle fasi di progettazione/pre costruzione e di post costruzione/gestione dell'opera; verranno inoltre analizzati i vantaggi dell'applicazione del modello BIM per la gestione degli edifici ed il *Facility Management*. Tali vantaggi riguardano essenzialmente la possibilità di utilizzare le informazioni trasmesse dalle fasi di progettazione e di costruzione, oppure rilevate come "as built", alle operazioni di gestione e manutenzione degli impianti. La Direttiva Europea sugli appalti del 15 gennaio 2014, ha riconosciuto l'importanza e l'efficacia del BIM, in quanto permette alle Amministrazioni Pubbliche di risparmiare tempo e risorse finanziarie nell'esecuzione delle opere pubbliche; inoltre si prevede che il nuovo Codice Appalti, che sarà approvato entro il 31 luglio 2016, introdurrà la necessità dell'utilizzo della metodologia BIM per l'efficientamento degli edifici pubblici.

Per quanto attiene la progettazione dei nuovi edifici residenziali multi familiari, verrà condotto uno studio finalizzato all'ottimizzazione della prestazione energetica attraverso lo sviluppo di un nuovo modello di architettura di microgrid a scala di edificio. In particolare nel corso della prima annualità verrà effettuata una analisi tecnico-economica sull'impiego di una nuova infrastruttura impiantistica basata sull'uso esclusivo del vettore elettrico (*gas free buildings*) attraverso innovativi sistemi di distribuzione che utilizzano livelli di tensione non convenzionali (es. porzioni di rete in corrente continua), sistemi di *metering* termico ed elettrico avanzato e sistemi di controllo dei carichi programmabili (es. lavastoviglie, lavatrici, pompa di calore, ecc), con l'obiettivo di integrare facilmente le risorse energetiche locali da fonti rinnovabili con la progettazione del nuovo edificio e ottimizzare l'autoconsumo istantaneo in loco.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici contenenti i risultati delle attività

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Università di Cassino, Università Sapienza di Roma, Università di Napoli Federico II, Politecnico di Milano

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Reti termiche distribuite

Ottimizzazione delle prestazioni di reti energetiche distribuite su scala distrettuale o territoriale

I sistemi di poligenerazione distribuita rappresentano una valida alternativa ai sistemi tradizionali di approvvigionamento energetico poiché consentono sia di integrare tra loro diverse fonti energetiche, rinnovabili e non, sia di recuperare l'energia termica dei processi di conversione, mediante l'utilizzo di sistemi co-trigenerativi, consentendo così un uso più razionale delle fonti energetiche.

L'attività proposta per il triennio nasce come naturale proseguimento della tematica sulle reti di poligenerazione trattata nello scorso PAR 2012-2014 (Progetto C1), che si è conclusa con la realizzazione di una piattaforma software per la simulazione dinamica di una rete energetica (denominata ENSim); tale strumento ha permesso l'analisi di alcune architetture di rete di generazione termica che ha messo in evidenza risultati molto interessanti e promettenti per le indicazioni fornite sulle prestazioni delle reti, interesse espresso anche dagli operatori del settore con cui sono tali analisi state condivise. L'analisi ha altresì fornito interessanti indicazioni su una serie di soluzioni (tecnologiche e gestionali) che possano consentire un incremento delle prestazioni delle reti, e che hanno fornito lo spunto per le attività di seguito proposte, centrate sulla potenzialità di risparmio energetico offerto dalle reti energetiche distribuite, in configurazione di teleriscaldamento ma anche di teleraffrescamento.

Nella presente annualità si intende valutare singolarmente la prestazione delle componenti fondamentali di una rete energetica, cioè il sistema di generazione, l'utenza (ossia i carichi energetici da essa richiesti), i sistemi di accumulo e il sistema di gestione dell'intera rete, in modo da fornire soluzioni che ottimizzino reti esistenti o forniscano indicazioni e/o soluzioni per poter progettare nuove reti energetiche efficienti.

Innanzitutto si proseguirà con il monitoraggio della rete sita in Torino in cui verrà ottimizzato il lato generazione termica, mediante l'analisi *on line* delle prestazioni della rete e lo sviluppo di strategie di controllo e/o configurazioni efficienti che ottimizzino la produzione termica e incrementino il risparmio di energia primaria. In particolare, nello scorso triennio è stato progettato e installato un sistema di monitoraggio da remoto delle principali grandezze energetiche delle utenze e della centrale termica, dotato di un software appositamente sviluppato che consente di visualizzare e memorizzare gli andamenti di tali grandezze in tempo reale. L'attività di valutazione e ottimizzazione delle prestazioni della rete sarà pertanto effettuata applicando gli indici energetici individuati in precedenza, che saranno ulteriormente sviluppati per poter fornire indicazioni sulle prestazioni della rete anch'essi in tempo reale e non a valle di un intervallo di tempo consistente (settimane, mesi, intera stagione di riscaldamento). Si ritiene che questa attività possa fornire informazioni molto utili (e attualmente non disponibili) a tutte quelle realtà aziendali che forniscono servizi energetici in contesti con distribuzione dell'energia termica agli utenti, che in presenza di più di una fonte energetica hanno il problema di scegliere quale possa essere la soluzione più conveniente. Altro aspetto da indagare riguarderà la valutazione (tecnico-economica) di nuove configurazioni di reti termiche (che riguardino parte o l'intera rete) che ne aumentino il potenziale di risparmio energetico (per es. temperatura del fluido termovettore, o opportuna combinazione delle tipologie di generazione in condizioni di tariffe, richiesta energetica, etc. variabili). Tale attività sarà effettuata nella prima annualità con la piattaforma software ENSim, per poi proseguire in un caso studio reale che sarà sviluppato nelle successive annualità.

In continuità con il monitoraggio di una sottostazione di scambio termico di una rete esistente effettuato nella scorso PAR, si indagherà sull'ottimizzazione dei carichi termici delle utenze allacciate e della produzione elettrica, con lo scopo di minimizzare l'acquisto di energia elettrica per gli ausiliari e l'intervento di generatori termici di integrazione. L'idea è realizzare un sistema virtualmente "ad isola" in cui è presente un cogeneratore (soluzione largamente rappresentativa della realtà italiana delle reti di teleriscaldamento) che distribuisca energia termica ed impieghi l'energia elettrica per i propri autoconsumi (pompaggio, ausiliari, ecc.) e/o per la produzione termica aggiuntiva. La centrale in questo modo massimizzerebbe l'impiego (ore/anno) del cogeneratore e annullerebbe (o minimizzerebbe) l'impiego delle caldaie e dello scambio di energia con la rete.

Per poter condurre un'analisi sul potenziale di risparmio energetico di reti di teleraffrescamento in contesti climatici in cui il fabbisogno di climatizzazione estiva è elevato, è utile iniziare dal componente più critico che determina la richiesta di energia frigorifera, ovvero l'edificio. Tale necessità è avvalorata dalla scarsa

diffusione sul territorio nazionali di reti energetiche funzionanti per la climatizzazione estiva e dalla conseguente mancanza di informazioni utili ad individuare il contesto territoriale ad esse più idoneo.

In questa prima annualità si intende contestualizzare le prestazioni degli edifici situati in clima mediterraneo, identificando le tipologie di edifici e di soluzioni impiantistiche più diffuse e lo stato dei consumi energetici per poter desumere gli elementi essenziali (tipologia, profili di utilizzo, configurazioni impiantistiche, etc.) ad identificare i casi studio più rappresentativi per valutare i potenziali delle reti di teleraffrescamento.

Un elemento fondamentale per incrementare l'efficienza energetica delle reti è il sistema di accumulo, sia nella configurazione distribuita presso le singole utenze connesse (soluzione più promettente in assetto teleraffrescamento), sia centralizzato. Diversi gruppi e associazioni, come ad esempio l'IEA (agenzia internazionale dell'energia), l'RHC Platform (piattaforma tecnologia europea per il riscaldamento e il raffrescamento da fonti rinnovabili), e l'EASE (associazione europea per l'accumulo dell'energia) hanno messo in evidenza il grande potenziale di tali sistemi e hanno anche evidenziato i punti che devono essere ulteriormente studiati per raggiungere questo potenziale. Le sfide da affrontare per ottenere una maggiore diffusione dei sistemi di accumulo termico sono rappresentate oltre che dalla riduzione dei costi, dall'aumento della compattezza, della densità di energia accumulata, della conducibilità termica dei materiali utilizzati e dallo sviluppo di nuovi materiali. A tale proposito si intende, nell'orizzonte temporale dei tre anni, da un lato sviluppare un prototipo di un accumulo a cambiamento di fase, ottimizzato per la fase fredda e dall'altro sviluppare un modello accurato di accumulo stagionale. In particolare, nella prima annualità sarà effettuata una valutazione dei potenziali benefici, sia in termini di risparmio energetico sia economici, derivanti dall'impiego di sistemi di accumulo termico di tipo stagionale integrati in reti energetiche distribuite e si procederà all'analisi critica dello stato dell'arte dei materiali a cambiamento di fase per accumulo termico, con particolare attenzione alle applicazioni relative all'accumulo del freddo. A tal fine sarà analizzato, nel corso del primo anno, lo stato dell'arte relativo a tale tipologia di sistemi e sarà sviluppato un codice di calcolo per la loro modellazione, valutando le soluzioni potenzialmente applicabili per uno o più casi studio nel contesto delle reti energetiche di tipo distribuito. La tematica degli accumuli termici con materiali a cambiamento di fase è stata oggetto di altre attività all'interno della Ricerca del Sistema Elettrico, relative all'impiego degli stessi come accumulo caldo o in particolari tipologie di impianto (solar cooling). L'attività proposta riguarda altre applicazioni e si concentra sulla fase fredda e sulla integrazione degli stessi con impianti per il raffrescamento di edifici residenziali basati sull'impiego di chiller elettrici ed è finalizzata al contenimento dei costi totali tramite il peak-shaving del carico elettrico.

Allo scopo di completare gli studi sulle reti di poligenerazione anche sotto il profilo della gestione dei carichi e dei sistemi di generazione (sistemi di co-trigenerazione, pompe di calore reversibili, collettori solari, pannelli fotovoltaici, etc.), si propone lo sviluppo di modelli e metodologie finalizzati all'ottimizzazione operativa delle stesse per rispondere alle esigenze, sempre crescenti, di un uso più razionale dell'energia, a sua volta legato al concetto di sostenibilità. A riguardo riveste particolare interesse l'analisi e la proposizione di strategie per l'ottimizzazione funzionale delle suddette reti in considerazione di priorità di breve e lungo periodo, di fattori economici ed ambientali e di adeguati indici di qualità del servizio erogato. Nel dettaglio, l'attività da svolgere con orizzonte temporale triennale, prevede la realizzazione di un modello matematico con approccio multi-obiettivo per identificare soluzioni di compromesso che consentano di perseguire sia obiettivi a breve termine, quali minimizzazione dei costi dei vettori energetici, sia a lungo termine, quali minimizzazione dell'impatto ambientale; l'identificazione di uno o più casi studio, con successiva implementazione del modello tramite software di ottimizzazione dedicati; l'identificazione delle strategie operative ottenute seguendo un approccio multi-obiettivo, per identificare lo *scheduling* del funzionamento dei sistemi energetici per situazioni di buon compromesso, rendendo di fatto il sistema più efficiente; l'identificazione dei contributi, dei singoli sistemi di conversione; la minimizzazione dei costi e dell'impatto ambientale, seguendo un approccio mono-obiettivo; l'analisi comparativa con un sistema di approvvigionamento energetico convenzionale, tipicamente utilizzato sul territorio nazionale per dimostrare che, nonostante i costi di investimento dei sistemi di poligenerazione distribuita possano essere maggiori di quelli relativi ai sistemi convenzionali, l'ottimizzazione operativa consentirà di abbattere nettamente l'impatto ambientale e i costi dei vettori energetici, favorendo così la completa sostenibilità del sistema. In particolare, nel corso della prima annualità si svolgerà l'analisi critica dello stato dell'arte delle metodologie e strategie multi-obiettivo adottabili per la minimizzazione dei costi dei vettori energetici e dell'impatto ambientale dei sistemi energetici.

Per svolgere l'attività della presente linea sarà impiegato personale titolare di Assegno di Ricerca ENEA.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici contenenti i risultati delle attività

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Università di Napoli Federico II, Eurac

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Tecnologie "green" per gli edifici

L'attività proposta ha come denominatore comune l'uso di tecnologie sostenibili per il miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio e si articola in due parti distinte: l'impiego di coltri vegetali per la riduzione del fabbisogno energetico e la climatizzazione di edifici rurali con sistemi alimentati da fonte rinnovabile.

c.1 Coltri vegetali

La rapida urbanizzazione delle città è causa del fenomeno dell'isola di calore urbano (Urban Heat Island, UHI): l'assorbimento della radiazione solare da parte degli edifici e dei materiali da costruzione e dalla successiva ri-irradiazione nell'ambiente circostante provoca forti innalzamenti della temperatura durante i periodi di caldo intenso. Questo aumento della temperatura, associato alla presenza di inquinanti atmosferici e alla scarsa circolazione di aria, provoca anche accumulo di smog, danni ingenti all'ambiente urbano così come alla salute dei cittadini, oltre all'aumento del consumo di energia per raffreddare gli edifici nei periodi caldi e per il riscaldamento nei periodi freddi. Si inseriscono in questo contesto le realizzazioni di sistemi di coltri vegetali (*Vertical Greenery Systems*, VGS) e tetti verdi (*Green Roofs*, GR) in funzione di coperture di verde naturale di parti strutturali di edifici mediante essenze vegetali. I vantaggi sono i seguenti: si migliora l'aspetto urbanistico e la sostenibilità degli edifici e delle città, si incrementa l'assorbimento di CO₂, si migliora l'ambiente e l'atmosfera dei centri urbani. In particolare, la presenza di piante vegetali in prossimità di un edificio incide, infatti, sulle interazioni energetiche fra questo e l'ambiente esterno, migliorando le condizioni di comfort estivo per gli spazi esterni e assolvendo un funzionamento di isolante termico, limitando le oscillazioni termiche, oltre ad essere in grado di filtrare fino al 70% delle polveri presenti nell'aria. I VGS e i GR sono in grado di mitigare i picchi di temperatura estivi grazie all'evapotraspirazione delle piante e all'ombreggiamento nei confronti dell'irraggiamento solare diretto sugli edifici e sulle superfici circostanti, consentendo di mitigare gli effetti fisici delle isole di calore nei centri cittadini. Le applicazioni di VGS e GR proposte dal progetto saranno oggetto di valutazione sulla base delle diverse tipologie di edifici, tra le quali:

1. edifici ad alta dispersione termica (con conseguente alto fabbisogno energetico): sono gli edifici costruiti senza vincoli riguardo alla coibentazione delle strutture;
2. edifici ad bassa dispersione termica: sono gli edifici costruiti secondo precisi criteri sia di coibentazione sia relativamente ai rendimenti minimi degli impianti termici previsti dalla Legge n. 373/1976 e la più recente Legge n. 10/1991;
3. edifici ad basso consumo energetico: dotati di sistemi solari attivi e di un'impiantistica evoluta, consentono elevati risparmi energetici (65 kWh per m²);
4. edifici passivi: caratterizzati da uno standard energetico che rende il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento ancora più basso di quello degli edifici a basso consumo energetico;
5. edifici energeticamente autonomi: a zero consumo energetico, utilizzano unicamente fonti rinnovabili e tecnologie costruttive d'avanguardia.

Per quanto riguarda la riduzione dell'UHI, i VGS e i GR possono avere un ruolo importante nei topoclimi (cioè i climi locali) della città e modificare il microclima del singolo edificio. Proprio per questo motivo si formano degli speciali "ecotipi" urbani definiti "Poleotopes" (clima cittadino) che sono in contrapposizione con i "Chorotopes" (i climi rurali). In linea generale, entrambe gli ecotipi si possono applicare a:

- aree industriali,
- centri-semi-periferie delle città,
- edifici residenziali (quartieri nuovi) e comunali (soprattutto scuole).

L'attività proposta sarà articolata nei seguenti punti:

- definizione degli elementi strutturali e delle tecnologie colturali per la realizzazione di coperture a verde disposte su superfici orizzontali e verticali nel rispetto della normativa UNI 11235;
- studio dell'efficienza energetica e delle capacità di coibentazione termica dei sistemi-greenery applicati agli edifici civili;
- individuazione degli elementi tecnici per la predisposizione di una norma che incentivi l'applicazione di sistemi-greenery sugli edifici civili con funzione di miglioramento del comfort e dell'efficienza energetica.

c.2 Climatizzazione microclimatica sostenibile con sistemi innovativi a fonte rinnovabile per sistemi serra

L'Unione Europea stima la richiesta di energia elettrica per il raffrescamento dell'aria interna nei periodi estivi per il 100% degli edifici utilizzati per scopi civili e commerciali in 60 Mtep al 2020. Tali consumi sono riferiti principalmente al mantenimento di un clima confortevole all'interno degli edifici utilizzati sia per servizi, sia per quelli localizzati in aree rurali ed urbane. Non sono inclusi gli impieghi industriali che si riferiscono alla conservazione e/o alla refrigerazione dei cibi per le esigenze umane. In particolare, il settore degli edifici rappresenta circa il 40% dei consumi finali di energia in Europa. Per quanto riguarda, invece, il settore agricoltura, non sono ancora disponibili dati finali dei consumi elettrici per il raffrescamento microclimatico dei sistemi serra che, tuttavia, si considerano inclusi nella stima totale dei 60 Mtep a livello europeo. Per quanto riguarda le tipologie di azienda agricola, i consumi maggiori finora oggetto di studio da parte della comunità scientifica hanno riguardato la climatizzazione termica delle serre, mentre soltanto di recente si è cominciato a dare importanza all'uso della climatizzazione umidometrica e, più in particolare, al raffrescamento dell'aria e al controllo dell'umidità relativa ai fini del benessere fisiologico delle piante coltivate e della qualità dei prodotti vegetali. In Italia, a fronte di una superficie stimata in oltre 40.000 ha (6° censimento Istat), non meno di 8.000 ha sono sistemi serra permanenti dotati di impianti di raffrescamento microclimatico. La realizzazione nei sistemi serra di un microclima ottimale in termini di temperatura, umidità relativa e ricambi d'aria è condizione indispensabile per esaltare la crescita e lo sviluppo delle produzioni vegetali in serra. In questo contesto, è sempre più evidente la necessità di sviluppare soluzioni innovative basate su tecnologie sostenibili e rinnovabili per migliorare l'efficienza energetica dei sistemi di climatizzazione microclimatica e la diminuzione dei consumi di energia elettrica.

Nel dettaglio, l'attività proposta mira a valutare i benefici indotti da una climatizzazione alimentata da fonte rinnovabile per i sistemi serra basata sulla tecnologia del *solar cooling* rispetto ai sistemi adiabatici di condizionamento comunemente usati (macchine a compressione di vapore, *fanpad*, etc.).

La scelta del *solar cooling* è dettata dall'esigenza di considerare soluzioni impiantistiche innovative ma già disponibili sul mercato che garantiscano alto potenziale di replicabilità e di diffusione nell'agricoltura protetta.

Nel corso della prossima annualità sarà sviluppato un caso studio reale su cui sarà condotta una analisi dettagliata sulla ottimizzazione funzionale dell'impianto di climatizzazione, comprensivo sia della componente di generazione frigorifera (*solar cooling*) sia di quella di diffusione del vettore energetico all'interno del sistema serra. Inoltre si doterà l'impianto del caso studio di un sistema di monitoraggio e controllo che consentirà nelle prossime annualità di effettuare campagne sperimentali di misure volte a valutarne le prestazioni energetico-economico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici contenenti i risultati delle attività.

Principali collaborazioni: Università di Bari, Università di Pisa, Università di Viterbo

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

d. Gestione di edifici in contesto *Smart District* e scenari di *Demand-Response*

Il progetto mira a sviluppare strumenti utili per la pianificazione dei flussi energetici e la gestione di reti di edifici gestiti da un sistema centrale di supervisione. Applicando logiche previsionali per il calcolo della

produzione e del consumo di energia elettrica e termica, il sistema di supervisione sarà capace di simulare il bilancio energetico di una microrete con un giorno di anticipo (*day ahead*). Il giorno successivo il sistema avrà il compito di controllare i nodi della microrete, costituiti da impianti di generazione distribuita, utenze di vario genere (illuminazione, HVAC, etc) e sistemi di accumulo, tramite la schedulazione dei carichi, dei generatori, delle utenze e dei sistemi di accumulo in modo da garantire il bilanciamento ottimo dei flussi energetici, inseguendo l'ottimizzazione di funzioni di costo o la massimizzazione dell'autoconsumo.

Questa attività si integra in un progetto più ampio che prevede la pianificazione dei flussi energetici e fornisce previsioni di richiesta energetica al sistema centrale di supervisione. La finalità è quella di apprendere il profilo di utilizzo dei locali sia in base all'occupazione sia allo stile di fruizione delle risorse energetiche, operare le dovute azioni volte al taglio degli sprechi e alla comunicazione e aggiornamento delle previsioni di richiesta energetica della singola cella (*room*) del sistema più complesso (*building*). Ovviamente ciò è operato sia nel dominio dell'energia elettrica delle utenze, sia in quella dell'illuminazione sia in quella termica.

d.1 Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di "demand response" per aggregati di edifici terziari

Il primo obiettivo di questo task è l'estensione delle metodologie di controllo e delle tecniche di modellazione di edificio sviluppate nelle annualità precedenti. Per quanto riguarda le metodologie di controllo è stato realizzato su un singolo edificio un sistema di controllo adattivo basato sul concetto di *energy on demand*, applicato sulle linee di illuminazione e climatizzazione. In questa annualità tale sistema sarà esteso ad una rete di edifici e saranno quindi valutati i possibili benefici derivanti da un controllo coordinato di una serie di edifici che condividono lo stesso sistema di climatizzazione. La sperimentazione della metodologia sarà effettuata sul cluster di 8 edifici (F66-F73) e della relativa centrale termica, situati all'interno del C.R. Casaccia, descritti nelle annualità precedenti.

Per quanto riguarda le tecniche di modellazione del comportamento energetico di edifici, nelle annualità precedenti è stato utilizzato un simulatore dinamico basato su MATLAB Simulink. Tale simulatore è stato tarato partendo dalle caratteristiche fisiche degli edifici presi in esame e successivamente raffinato considerando i consumi termici ed elettrici reali. Tale approccio rientra nella categoria di modellazione di tipo White Box e consente di stimare i consumi attesi a partire dalle misure in ingresso e delle condizioni a contorno quali le misure meteorologiche. In questa annualità verrà utilizzato un approccio di tipo ibrido, in cui la componente di modellazione fisica dell'edificio necessaria richiede meno dettagli mentre è necessario un *training* dei parametri basato sullo storico delle misure. Tale approccio rientra nella categoria di modellazione di tipo Gray Box e richiede una conoscenza meno puntuale delle caratteristiche strutturali dell'edificio, consentendo una maggiore scalabilità e replicabilità. Il *tuning* del modello sarà effettuato su un singolo edificio per la stima delle prestazioni termiche dell'edificio in regime estivo ed invernale.

Il secondo obiettivo riguarda lo sviluppo di un'infrastruttura energetica orientata al *demand response* integrata in una piattaforma ICT di supervisione per la diagnostica e ottimizzazione delle prestazioni energetiche di una rete di edifici terziari, che consenta all'utente di minimizzare il costo energetico tramite l'ottimizzazione dei consumi e l'impiego di fonti rinnovabili. Si tratta di un'infrastruttura integrata costituita da un modulo di simulazione sia della domanda energetica sia dell'offerta delle fonti rinnovabili e di un BEMS per la gestione ottimale della rete di edifici e dei sistemi di controllo della produzione locale.

Il punto di partenza è costituito dai risultati ottenuti nei precedenti PAR, nei quali è stato sviluppato un simulatore di consumi elettrici/termici di una rete di edifici terziari, controllati da un sistema di supervisione per il monitoraggio, la diagnostica avanzata e l'ottimizzazione dei consumi energetici.

In questa annualità è prevista l'ingegnerizzazione del simulatore per quanto riguarda l'integrazione delle seguenti funzionalità:

- *dynamic pricing* del vettore energetico per simulare le condizioni al contorno del mercato dell'energia elettrica e del gas;
- sistemi di produzione da fonti rinnovabili (RES);
- sistemi di accumulo termico ed elettrico;
- pompe di calore;

- interfacciamento con il modulo di ottimizzazione per consentire la gestione dei singoli moduli di produzione e accumulo da RES ed il controllo dinamico dei *set point* degli edifici.

Così strutturato, il sistema sarà in grado di sviluppare nelle annualità successive modelli previsionali del profilo di domanda per il giorno successivo, *day ahead*, in modo da ottimizzare l'autoconsumo della produzione proveniente da RES o per eliminare i picchi di consumo, adottando modelli di *dynamic pricing*, che hanno come scenario di riferimento il mercato energetico del giorno precedente. Successivamente, grazie al controllo remoto della produzione locale da fonti rinnovabili, dei sistemi di accumulo e dell'immissione nella rete di distribuzione, il sistema è in grado di attuare tali profili.

Inoltre, si replicheranno le esperienze di monitoraggio avanzato già condotte presso lo 'Smart Village ENEA Casaccia' su un singolo edificio del JRC Ispra (Ed. ENEA 14c).

Infine, si avvieranno studi di modelli economici e di business per il *demand-response* in funzione dei diversi scenari che questo può assumere.

d.2 Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici

Il cervello umano riesce a fare una sintesi delle analisi di tutte le nostre percezioni sensoriali arrivando a conclusioni di livello superiore a quello raggiunto dalle singole rilevazioni. E' questo per noi il concetto di intuizione sensibile che si vuole sviluppare in questa attività di ricerca e sviluppo.

L'uomo nella sua evoluzione ha copiato la natura (biomimetica) e quindi se stesso nel realizzare oggetti e organizzazioni con lo scopo di semplificarci la vita.

Basti pensare nel settore della sensoristica quanto l'uomo ha copiato se stesso ed è andato anche oltre! Tutti e cinque i nostri sensi sono stati copiati ed estesi nei *range* di lavoro e nelle sensibilità ed integrati, usando le stesse metodologie di approccio, con altri "sensi" non propri delle caratteristiche percettive dell'uomo.

L'estrazione di contenuti informativi intrinseci sia alla singola "storia" del segnale del singolo sensore che all'analisi dei segnali di una rete sensoriale complessa può dare un valore aggiunto alle capacità di monitoraggio e misura singole, fornendo un approccio vincente nell'ottica dell'integrazione di più sensori in un unico sistema. Questo "modus operandi" conferisce al sistema sensoriale doti di livello superiore come ad esempio quello espletato dal cervello umano quando questo giunge a conclusioni che noi definiamo con l'intuito.

Risultati in questo campo forniranno una metodologia di analisi che associata alle tecniche di apprendimento saranno applicati con enorme successo nella domotica ma anche in tutti i settori della scienza e della tecnica.

Lavorare quindi su segnali provenienti da un sistema multisensoriale specifico e studiato con l'obiettivo di analizzare le evoluzioni, le dinamiche e la storia dei segnali sia singolarmente che nella correlazione degli stessi, produrrà *output* di livello superiore non raggiungibile dalla semplice unione delle singole misure.

Si lavorerà nel dominio del tempo, della frequenza e dello spazio tenendo quindi presente sia il momento in cui il singolo valore è stato prodotto, sia il preciso luogo da cui questo proviene (ad esempio temperatura al pavimento, temperatura a mezza altezza e quella a soffitto o ancora vicino o lontano al calorifero, ecc. ...), e sia andando a valutare la storia pregressa e la correlazione delle singole grandezze fisiche misurate.

Il modello che verrà sviluppato servirà a definire un apparato standard integrato a basso costo con il quale monitorare gli ambienti con un'altra filosofia, con il risultato di operare un più efficiente controllo, monitoraggio, regolazione e previsione di richiesta energetica per il breve e medio futuro.

Inoltre, proseguirà l'attività di sensoristica innovativa cominciata la precedente annualità e finalizzata al rilevamento delle presenze nei luoghi confinati. In particolare saranno svolte le seguenti azioni: il *debug* delle app già progettate sui telefoni mobili (con particolare attenzione ad Android ed Apple) anche grazie alla sperimentazione eseguita nell'edificio C59; la definizione dei protocolli di comunicazione e dei formati per la trasmissione dei dati delle presenze al server per la gestione dell'energia "*on demand*"; la collocazione dei dispositivi di rilevamento nell'edificio F40 ed i relativi test; la definizione ed affinamento di nuovi metodi puramente passivi (cioè non richiedenti installazione di app) per il rivelamento e la localizzazione di personale ed ospiti nelle aree confinate. Infine, si valuterà la possibilità di integrare tali

sistemi all'interno dei sistemi multisensoriali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici contenenti i risultati delle attività

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche, Università di Roma Tre

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

e. Analisi e benchmark di consumi energetici degli edifici nei settori economici

Metodologie e strumenti per la raccolta di dati e la definizione di modelli di riferimento dei consumi energetici nel settore residenziale, terziario e pubblico

Nell'ottica di trovare soluzioni che consentano la riduzione della domanda di energia del sistema edificio-impianto e incrementino l'efficienza nella produzione della stessa energia, un ruolo chiave è rappresentato dalla conoscenza delle abitudini di consumo degli utenti finali. L'idea è di utilizzare tale conoscenza per ricostruire profili di carico, dettagliati per tipologia di edificio, usi e fonte primaria sulla base di un campione statistico altamente significativo e rappresentativo delle peculiarità del nostro Paese che consenta di delineare uno scenario reale dei consumi degli edifici. L'obiettivo finale è quello di indirizzare le scelte delle soluzioni tecnologiche, valutandone i potenziali di risparmio energetico e fornire indicazioni sulle azioni di sostentamento per la diffusione delle tecnologie più promettenti.

A tal fine, sarà necessario elaborare le informazioni provenienti da indagini statistiche realizzate ad hoc e condotte a livello nazionale, con il supporto di dati energetici di natura sia top-down sia bottom-up, utili anche in una fase successiva sia per la calibratura di un modello per la stima e l'ottimizzazione dei consumi energetici, sia per la validazione dei risultati derivanti dalle relative simulazioni.

Si ritiene, inoltre, di particolare importanza l'utilizzo e il confronto dei dati provenienti dalle varie banche dati disponibili in virtù dell'attuazione dei recepimenti delle Direttive 2010/31/UE e 2012/27/UE, in termini di sistema informativo sugli attestati di prestazione energetica, degli impianti termici degli edifici e dei relativi controlli pubblici, nonché della Direttiva 2009/28/CE per quanto concerne i consumi energetici regionali, per i quali ENEA ha già messo a disposizione degli Enti Locali il Sistema Informativo Energetico Regionale (SIER), la cui base dati consente l'elaborazione dei *Bilanci Energetici Regionali* (BER), degli *Indicatori di efficienza energetica* e del *Catasto delle emissioni*. Inoltre, lo sviluppo di un sistema statistico energetico-economico in grado di omogeneizzare la qualità dell'informazione sarà di supporto per l'acquisizione di un quadro conoscitivo della struttura energetica locale, in grado di agevolare la formulazione di una efficace ed efficiente pianificazione energetico-ambientale territoriale, nonché per il controllo del grado di raggiungimento degli obiettivi nell'ambito del *Burden Sharing* regionale.

In particolare nel primo anno, le attività della linea saranno articolate nelle seguenti fasi:

- Definizione profili di utenza: nel 2014 le statistiche sui consumi energetici del settore residenziale sono state incluse nel Regolamento Europeo *Statistiche sull'energia rinnovabile e sul consumo energetico finale* (Commission Regulation EU n. 431/2014) ed è stato lanciato il *SECH project* (Development of detailed statistics on energy consumption in Households) promosso dalla Commissione europea sotto la guida di Eurostat, con il coinvolgimento di 17 paesi, curato per l'Italia da ENEA. In particolare, vige un accordo di collaborazione ISTAT-ENEA per la realizzazione di una indagine sui consumi energetici delle famiglie e per la rilevazione sui consumi dei prodotti energetici delle imprese dell'industria e dei servizi. L'indagine sui consumi energetici delle famiglie è stata lanciata nel 2013 su un campione rappresentativo a livello regionale di 20.000 famiglie. I dati di base disaggregati sulle dotazioni per il riscaldamento, il condizionamento, l'illuminazione e gli elettrodomestici, le relative fonti energetiche, le abitudini di utilizzo, i consumi registrati e le spese sostenute costituiranno il nucleo iniziale per la modellazione dei profili di utenza. A partire da tali dati si svilupperà un modello in grado di delineare il profilo di consumo energetico di differenti cluster, definiti in base alle caratteristiche dell'edificio, fascia climatica, tipologia di utilizzo e di utente/famiglia. Inoltre, l'analisi puntuale dei dati, permetterà altresì di evidenziare le principali e più comuni fonti di sprechi energetici, mettendo in risalto eventuali comportamenti anomali mediante confronto con utenze appartenenti allo stesso cluster.

- Nuovo ambiente applicativo: la necessità di automatizzare ed ottimizzare il processo di raccolta di dati ed informazioni, nonché l'importanza di poter interagire in modo più efficace con gli stakeholder interessati, implica la progettazione e realizzazione di un nuovo ambiente applicativo, in grado di effettuare elaborazioni customizzate sui dati stessi. Oltre a semplificare, normalizzare e coordinare le attività interne degli addetti ai lavori per la gestione ed aggiornamento periodico del sistema stesso, è intenzione di rendere fruibile all'esterno i dati raccolti ed alcune delle elaborazioni da essi derivanti, consentendo alle diverse tipologie di utenza interessata un'interazione predefinita ed user-friendly con il sistema stesso, mediante l'offerta di report customizzati e la possibilità di analizzare i risultati ottenuti attraverso diverse forme di elaborazione dei dati (es. tabelle MS Excel, DataBase Format, Web-GIS, ecc.).

Per svolgere l'attività della presente linea sarà impiegato personale titolare di Assegno di Ricerca ENEA.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici contenenti i risultati delle attività

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

f. Comunicazione e diffusione dei risultati

La diffusione dei risultati prodotti dalle attività di ricerca sarà effettuata tramite il canale istituzionale del sito web, in cui saranno pubblicati e scaricabili i rapporti tecnici; sono inoltre previste e programmate numerose altre iniziative di disseminazione, che riguarderanno principalmente:

- preparazione di pubblicazioni ed articoli sulla stampa, generica e specializzata;
- elaborazione di rapporti tecnici con informazioni e dettagli per specialisti del settore e di testi e strumenti informativi con un taglio più divulgativo rivolto ad un pubblico più vasto;
- organizzazione di eventi (workshop, seminari, manifestazioni espositive) il più possibile distribuiti sul territorio nazionale, sia per illustrare i risultati nella loro totalità, sia per argomenti specifici ;
- individuazione dei destinatari principali delle ricerche e, di conseguenza, maggiormente interessati a conoscerne e utilizzarne i risultati, nonché le modalità e gli strumenti per raggiungerli e interessarli.

Un ulteriore strumento di comunicazione dei risultati riguarderà i gestori e gli operatori dei settori oggetto delle attività realizzate mediante l'organizzazione di convegni e seminari didattici rivolti ad associazione di categoria e/o professionali.

Infine, come ulteriore strumento di scambio di risultati, si segnala l'attività presso l'organizzazione internazionale EERA sul tema "smart grid" e "smart cities"(di cui ENEA ha il coordinamento), la partecipazione a gruppi di lavoro internazionali dell'International Energy Agency (IEA), la "European Innovation Partnership sulla Smart City", il "JPI Urban Europe" ed il "Covenant of Mayors"(di cui ENEA ha il coordinamento nazionale), che costituiscono altre prestigiose sedi operative di conduzione delle attività.

Il materiale prodotto (tecnico e divulgativo) sarà disponibile sul sito ENEA, a cui si rimanderà per tutte le informazioni dettagliate relative alle iniziative previste dal piano e finalizzate ad incrementarne l'interesse e il coinvolgimento.

Risultati/Deliverable:

- Relazione sintetica di presentazione delle principali attività di diffusione e organizzazione di un workshop dedicato alla presentazione dei risultati del progetto

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016															
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S							
a	Soluzioni innovative per l'efficientamento degli edifici																			
	<i>a.1 Architetture impiantistiche ibride per la climatizzazione degli edifici</i>																			
	<i>a.2 Sistemi di metering e controllo innovativi per l'efficienza energetica degli edifici</i>																			
b	Reti termiche distribuite																			
	<i>Ottimizzazione delle prestazioni di reti energetiche distribuite su scala distrettuale o territoriale</i>																			
C	Tecnologie "green" per gli edifici																			
	<i>c.1 Coltri Vegetali</i>																			
	<i>c.2 Climatizzazione microclimatica sostenibile con sistemi innovativi a fonte rinnovabile per sistemi serra.</i>																			
d	Gestione di edifici in contesto Smart District e scenari di Demand-Response																			
	<i>d.1 Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di "demand response" per aggregati di edifici terziari</i>																			
	<i>d.2 Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici</i>																			
e	Analisi e benchmark di consumi energetici degli edifici nei settori economici																			
	<i>Metodologie e strumenti per la raccolta di dati e la definizione di modelli di riferimento dei consumi energetici nel settore residenziale, terziario e pubblico</i>																			
f	Comunicazione e diffusione dei risultati																			

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Soluzioni innovative per l'efficientamento degli edifici									
	<i>a.1 Architetture impiantistiche ibride per la climatizzazione degli edifici</i>	4500	145,0	87,0	7,7	13,0	0,0	11,0	95,0	358,7
	<i>a.2 Sistemi di metering e controllo innovativi per l'efficienza energetica degli edifici</i>	4200	135,0	81,0	0,2	0,0	0,0	6,5	90,0	312,7
	<i>Subtotale Ob.a</i>	8700	280,0	168,0	7,9	13,0	0,0	17,5	185,0	671,4
b	Reti termiche distribuite									
	<i>Ottimizzazione delle prestazioni di reti energetiche distribuite su scala distrettuale o territoriale</i>	8150	263,0	157,0	1,1	22,0	25,0	8,5	70,0	546,6
c	Tecnologie "green" per gli edifici									
	<i>c.1 Coltri Vegetali</i>	3000	96,0	57,0	28,1	8,0	0,0	0,5	60,0	249,6
	<i>c.2 Climatizzazione microclimatica sostenibile con sistemi innovativi a fonte rinnovabile per sistemi serra.</i>	3400	109,0	65,0	0,2	0,0	0,0	0,0	35,0	209,2
	<i>Subtotale Ob.c</i>	6400	205,0	122,0	28,3	8,0	0,0	0,5	95,0	458,8
d	Gestione di edifici in contesto Smart District e scenari di Demand-Response									
	<i>d.1 Estensione metodi di controllo e modellazione e sviluppo di un sistema di "demand response" per aggregati di edifici terziari</i>	3300	106,0	63,0	21,4	0,0	10,0	3,5	80,0	283,9
	<i>d.2 Sviluppo di sistemi multisensoriali integrati per il controllo di uffici</i>	1600	51,0	30,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	81,1
	<i>Subtotale Ob.d</i>	4900	157,0	93,0	21,5	0,0	10,0	3,5	80	365,0
e	Analisi e benchmark di consumi energetici degli edifici nei settori economici									
	<i>Metodologie e strumenti per la raccolta di dati e la definizione di modelli di riferimento dei consumi energetici nel settore residenziale, terziario e pubblico</i>	3400	109,0	65,0	0,2	0,0	0,0	0,0	30,0	204,2
f	Comunicazione e diffusione dei risultati	950	30,0	18,0	0,0	2,0	0,0	4,0	0,0	54,0
	TOTALE	32500	1044,0	623,0	59,0	45,0	35,0	34,0	460,0	2300,0

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/RdS

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e, consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri pari a 32,1 €/h, Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Pompa di calore aria acqua modulabile con inverter	15.000	300	Esclusivo
a.1	Accumuli termici a stratificazione	6.000	100	Esclusivo
a.1	Struttura sostegno moduli FV	6.000	100	Esclusivo
a.1	Carico elettrico programmabile trifase (10kW) *	25.000	800	Esclusivo
a.1	n.2 container tecnici	35.000	200,	Esclusivo
a.1	Termocamera FLUKE TI27		650	Non esclusivo
a.1	Multimetri FLUKA e generatore AGILENT		490	Non esclusivo
a.1	Convertitori ModBus / Mbus TX-RX RADIO con alimentatore		3.600	Esclusivo
a.1	Centraline, ripartitori calore e accessori		1.460	Esclusivo
a.2	Convertitori di segnale, attuatori e sistema di controllo	4.000	200	Esclusivo
b.1	Serbatoio PCM per accumulo freddo + accessori	3.500	200	Esclusivo
b.1	Utilizzatore sistema di accumulo caldo/freddo	48.000	300	Esclusivo
b.1	Attrezzature di misura + datalogger	3.000	200	Esclusivo
b.1	Materiali di supporto per realizzazione impianti caldo/freddo **	11.000	200	Esclusivo
b.1	Componenti digitali **	8.000	200	Esclusivo
c.1	Struttura per pareti e tetti verdi	24.000	24'000	Esclusivo
c.1	Attrezzature per fertirrigazione ed alimentazione elettrica	15.000	100	Esclusivo
c.1	Stazione di misura per parete verde	15.000	100	Esclusivo
c.1	Stazione acquisizione dati meteo		3.940	Esclusivo
c.2	Sistema di monitoraggio e controllo	25.000	100	Esclusivo
c.2	Piranometro	3.500	100	Esclusivo
d.1	Smart meters, smart plugs per smart building Ispra (Almaviva)	38.000	200	Esclusivo
d.1	Sistema acquisizione dati E9070		950	Esclusivo
d.1	Kit Estimote Beacon 3 sorgenti BT		470	Esclusivo
d.1	Apparecchiatura per circuiti stampati		1.870	Esclusivo
d.1	Valvole a 3 vie, termostatiche e termostati		11.850	Esclusivo
d.1	Strumentazione/attrezzature da laboratorio		6.060	Esclusivo
d.2	Aggiornamento sistemi di monitoraggio energetico, sensoristica	8.000	100	Esclusivo
e.1	Portale banche dati (dB + interfaccia)	20.000	200	Esclusivo

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili; in grassetto le attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Rinnovo Mcubo-Harpa	5.000
a.1	Materiali di evaporazione per OLED innovativi	8.000
b.1	Licenza periodica software CPLEX	6.500
b.1	Schiuma di alluminio	6.000
b.1	Licenza periodica Matlab	5.000
b.1	Software Trnsys TRNFlow	4.500
c.1	Licenza periodica software e ! Sankey	1.000
c.1	Prodotti chimici	2.500
c.1	Servizi bioinformatici e prodotti	1.000
c.1	Materiale florovivaistico	3.500
f.1	Organizzazione convegni	2.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

EURAC - titolo: *Caratterizzazione e classificazioni degli edifici in clima mediterraneo ai fini della connessione ad una rete termica.*

Motivazioni della scelta: l'Istituto per le Energie Rinnovabili di Eurac si occupa di flessibilità energetica dell'edificio, sviluppando concetti tecnologici per ridurre sensibilmente il consumo energetico. L'Istituto per le Energie Rinnovabili è coinvolto e coordina numerosi progetti di ricerca all'interno dei programmi FP7 e H2020 (iNSPIRe, CommonEnergy, BuildHeat), all'interno dei quali sono sviluppati e dimostrati approcci e tecnologie applicate alla ottimizzazione del bilancio energetico negli edifici residenziali e terziari, sia in climi freddi che in climi caldi, e con particolare riferimento al controllo e copertura dei carichi di raffreddamento.

Isimm Ricerche - titolo: *Studio di modelli economici orientati al Demand-Response.*

Motivazioni della scelta: ISIMM Ricerche è un Centro Studi che realizza indagini e ricerche sui fenomeni connessi all'impatto delle nuove tecnologie dell'informazione e della comunicazione nei diversi contenuti e settori di applicazione, quali per esempio energia, sviluppo sostenibile, ricerca e università; vanta inoltre elevata competenza specialistica nel settore di modelli economici per il settore energia.

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	<p>Università di Palermo Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'informazione e Modelli Matematici (DEIM) - Analisi dei sistemi e tecnologie per la climatizzazione degli edifici e la razionalizzazione dei consumi energetici per generazione dell'energia elettrica nei contesti territoriali delle isole minori</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il dipartimento DEIM svolge da anni attività di ricerca incentrate sui temi della pianificazione energetica a livello urbano e territoriale, nonché sull'analisi di impianti ad alta efficienza per la conversione dell'energia. Il DEIM ha maturato una pluriennale esperienza nella progettazione, simulazione e controllo di sistemi per la climatizzazione degli edifici da fonte solare comprovata dalle numerose pubblicazioni scientifiche in ambito nazionale e internazionale. Il DEIM ha approfondito inoltre le metodologie di supporto alla decisione nel settore della pianificazione energetica che hanno consentito di definire diverse metodologie volte alla previsione dei consumi energetici di intere aree geografiche d'utenza.</p>	40
a.1	<p>Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Scienze Chimiche - Sintesi e caratterizzazione di nuovi materiali fluorescenti e/o fosforescenti per dispositivi OLED</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il laboratorio di Sintesi e Proprietà di Materiali Bio-Ispirati del Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, condotto dalla Dott.ssa Paola Manini, possiede comprovata esperienza nella sintesi e caratterizzazione di composti eterociclici e fenolici/catecolici bio-ispirati. Per le finalità del progetto, si potrà verificare la possibile biocompatibilità e/o biodegradabilità dei materiali sintetizzati ai fini della riduzione dell'impatto a fine vita dei dispositivi sperimentati.</p>	30

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	<p>Politecnico Milano, Dipartimento di Energia, Gruppo di ricerca sull'efficienza negli usi finali dell'energia (eERG) - Monitoraggio energetico-ambientale di un edificio ad elevate prestazioni energetiche in clima mediterraneo</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il gruppo di ricerca eERG è da diversi anni impegnato in progetti di ricerca nazionali, europei ed internazionali, inerenti Passive House e Nearly Zero Energy Buildings. In particolare si occupa di monitoraggio energetico/ambientale, ottimizzazione dei sistemi di attuazione e controllo negli edifici, simulazione energetica dinamica, supporto alla progettazione, applicazione di tecniche di ottimizzazione per la progettazione.</p>	25
a.2	<p>Università Sapienza di Roma, Centro Interdipartimentale Territorio, Edilizia, Restauro, Ambiente, C.I.T.E.R.A. - La metodologia BIM come strumento per una efficiente progettazione e gestione degli impianti degli edifici</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il centro interdipartimentale C.I.T.E.R.A. vanta una pluriennale esperienza in materia di progettazione di edifici e aree urbane ed extraurbane con metodi avanzati e di realizzazione di sistemi di produzione di energia ad alta efficienza. Vanta inoltre elevate competenze nell'utilizzo di sistemi di gestione dell'edificio e di Facility Management</p>	30
a.2	<p>Università di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica – Valutazione tecnico-economica dei diversi sistemi di misura (diretta e indiretta) ed attuatori di energia termica al fine di analizzarne le reali prestazioni in campo e le criticità di misura su edifici esistenti</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> la scelta è stata motivata dalla pluriennale esperienza maturata dal Dipartimento nell'ambito della metrologia delle grandezze termofluidodinamiche con particolare attenzione agli aspetti energetici e fluidodinamici dei sistemi di misurazione locale e dei sistemi per il risparmio energetico, l'analisi dell'incertezza di misura, la progettazione degli esperimenti e la modellazione numerica di sistemi di misura.</p>	30
a.2	<p>Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica - Valutazioni tecniche ed economiche sull'utilizzo di nuovi modelli di microgrid nella progettazione di nuovi edifici multiutenza con prevalente destinazioni d'uso residenziale</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> pluriennale esperienza del Dipartimento DIAEE nella progettazione e integrazione di sistemi di <i>building automation</i> e fonti rinnovabili finalizzate all'incremento della prestazione energetica degli edifici con particolare attenzione agli edifici a basso consumo. Competenza nello studio di architetture per reti elettriche speciali (come le <i>microgrid</i> a scala di edificio) comprovata dalle numerose pubblicazioni in ambito nazionale ed internazionale consultabili sui più importanti motori di ricerca scientifica quali IEEE Explore, Scopus, etc.</p>	30
b.1	<p>Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Industriale – Ottimizzazione di carichi termici ed elettrici di una rete di teleriscaldamento</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> pluriennale esperienza del Dipartimento DIN in materia di integrazione di sistemi cogenerativi innovativi di piccola taglia nelle reti energetiche grazie anche allo sviluppo di un proprio codice di simulazione di reti termiche adatto a valutare anche la presenza di utenti attivi connessi alla rete. Il Dipartimento offre la possibilità di studiare e valutare l'ottimizzazione di una rete di teleriscaldamento sia dal punto di vista dei carichi termici richiesti dall'utenza, sia da quello dei carichi elettrici necessari alla rete stessa.</p>	30
b.1	<p>Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Analisi dello stato dell'arte e individuazione di soluzioni tecniche per il miglioramento della trasmissione del calore in sistemi di accumulo termico basati su PCM</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il gruppo di ricerca di Trasmissione del Calore del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II vanta una pluriennale esperienza sulle tematiche legate allo scambio termico nelle applicazioni civili ed industriali, mediante la partecipazione a progetti di ricerca nazionali ed internazionali. Gli studi, effettuati con tecniche analitiche, numeriche e sperimentali, sono condotti in collaborazione con gruppi di ricerca internazionali di elevatissimo valore scientifico. Negli ultimi anni le attività di ricerca si sono focalizzate sullo studio degli accumulatori di energia termica a calore sensibile e latente, sulla modellazione termofluidodinamica di schiume metalliche, ceramiche e sui materiali e tecnologie per net e nearly zero-Energy buildings, sulla modellazione di sistemi di accumulo termico e sull'implementazione di logiche multi-obiettivo per la gestione ottimizzata ed efficiente di reti energetiche in presenza di sistemi di accumulo termico.</p>	40
c.1 c.2	<p>Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) – Modelli di LCA per sostenibilità energetica e ambientale</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) è competente per lo sviluppo di modelli energetici e di LCA per la caratterizzazione del microclima all'interno di edifici ricoperti con essenze vegetali in ambiente climatico mediterraneo, in relazione alle specie vegetali più adeguate alla realizzazione di coperture/pareti verdi in ambiente urbano.</p>	30
c.1	<p>Università Statale degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE) Coltri vegetali e sostenibilità energetica e ambientale delle aree urbane</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> il Dipartimento DAFNE viene inserito nelle attività di ricerca specifiche per le competenze che si riferiscono allo studio di un approccio sistemico rispetto alle relazioni che si stabiliscono tra le essenze vegetali che costituiscono le coltri vegetali localizzate sugli edifici e la sostenibilità energetica ed ambientale in termini di accrescimento vegetale, effetti sul microclima, relazioni con l'effetto <i>heat Island</i>, colore e forma delle essenze vegetali, impatti sulla biodiversità e sull'integrazione con le caratteristiche costruttive che costituiscono il contesto urbano nel quale sono inseriti gli edifici dotati di coltri vegetali. Il gruppo di ricerca coinvolto ha, inoltre, competenze su pianificazione del territorio e coltivazioni arboree.</p>	30

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
c.1 c.2	<p>Università degli Studi Aldo Moro di Bari, Dipartimento Scienze Agro-Ambientali e Territoriali (DISAAT) - Sistemi di climatizzazione innovativi per edifici e sistemi serra</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>il Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e Territoriali (DISAAT) dell'Università di Bari ha competenza negli aspetti di ingegneria sui flussi energetici che caratterizzano il microclima interno di sistemi protetti ed edifici dotati di sistemi di climatizzazione sia naturali (coltri vegetali) sia rinnovabili (solar cooling). L'area scientifica di maggiore interesse riguarda lo studio degli aspetti ingegneristici relativi alle strutture, agli impianti, ai materiali e all'energia concernenti edifici e sistemi serra localizzati in aree che ricadono nelle regioni convergenza.</p>	35
d.1	<p>Università di Roma Tre, Dipartimento di ingegneria - Validazione ed analisi dati energetici, profilazione degli utenti e strategie di ottimizzazione multi-obiettivo orientate al demand-response e modelli di diagnostica termica avanzata di reti di edifici</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>pluriennale esperienza in materia di informatica ed automazione, Istituto Universitario nazionale competente nel settore dalla fusione di dati sensoriali e controllo di impianti complessi</p>	50
d.1	<p>Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche - Sviluppo di un simulatore di distretto orientato alla gestione attiva della domanda</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>pluriennale esperienza in materia di simulazione di sistemi energetici ed in quanto Istituto Universitario nazionale competente nel settore delle tecnologie di generazione dell'energia e nello specifico, nell'ambito dell'analisi delle performance energetiche di reti di edifici</p>	30
e.1	<p>Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Scienze Statistiche – Sviluppo di una procedura automatica di individuazione e trattamento di outlier in database di micro-dati di grandi dimensioni</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>il DSS svolge attività di ricerca multidisciplinare, con gruppi di ricerca altamente qualificati nel contesto internazionale, nei settori della Statistica, Probabilità, Finanza e Scienze attuariali, Demografia, Economia, Statistica economica ed Econometria, Statistica Ambientale, Ricerca operativa, Informatica, Ricerca sociale. La multidisciplinarietà del DSS permette di realizzare collaborazioni su argomenti molto complessi che richiedono competenze metodologiche ed applicative.</p>	30
TOTALE		460

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Nessun progetto in corso.

AREA	EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI
Tema di Ricerca	EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO (NZEB)
Progetto D.2	STUDI SULLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PARCO ESISTENTE DI EDIFICI PUBBLICI MIRATA A CONSEGUIRE IL RAGGIUNGIMENTO DI EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO (NZEB)

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

La riduzione del fabbisogno energetico negli edifici sia di nuova costruzione sia esistenti, con particolare riferimento alla climatizzazione degli ambienti e all'illuminazione artificiale, è un importante obiettivo dell'Unione Europea e dei paesi membri e l'attività prevista nel Piano Triennale 2015-2017 s'inserisce perfettamente ed è funzionale al raggiungimento di quest'obiettivo, contribuendovi in maniera operativa. Quest'attività costituisce l'oggetto del presente progetto del PAR 2015.

Dai primi anni del nuovo secolo c'è stata un'evoluzione rilevante nel settore delle politiche energetiche europee, con l'emanazione, in particolare, di tre importanti Direttive che hanno introdotto nuovi strumenti normativi e nuove metodologie per l'implementazione di misure tecnico-normative. Il primo intervento normativo (*Direttiva 2002/91/UE*, detta EPBD - *Energy Performance of Buildings Directive*) è stato emanato con l'obiettivo di migliorare le prestazioni energetiche delle costruzioni edili del settore civile, settore che presenta i maggiori consumi negli usi finali di energia e responsabile delle maggiori emissioni di gas climalteranti a livello europeo e nazionale, Direttiva recepita in Italia con il decreto legislativo 192/2005 e s.m.i.

Nel 2010 è stata emanata la Direttiva 2010/31/UE (detta EPBD recast), che ha aggiornato i principi relativi al miglioramento della prestazione energetica degli edifici nuovi e di quelli sottoposti a ristrutturazione rilevante, e che è stata recepita in Italia dal decreto legge 63/2013, convertito con la legge 90/2013, che ha modificato il decreto legislativo 192/2005 per adeguarlo alle nuove prescrizioni europee. La direttiva ha introdotto, tra l'altro, un meccanismo di analisi (*cost optimal comparative analysis*) volto a determinare livelli ottimali di costo da utilizzare come metro per la formulazione di prescrizioni energetiche in ambito edilizio. Questa Direttiva impone agli Stati Membri, infatti, che i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari siano definiti in un'ottica di raggiungimento dei livelli ottimali del rapporto tra costo e beneficio. La direttiva inoltre introduce un target entro il 2020 sugli "edifici a energia quasi zero" (nZEB - *nearly Zero-Energy Buildings*), definito come "quell'edificio che ha prestazioni energetiche molto elevate e che richiede quindi un piccolo fabbisogno di energia, la maggior parte della quale deve essere fornita da fonti rinnovabili".

La direttiva 2012/27/UE modifica le direttive 2009/125/UE e 2010/30/UE, abroga le direttive 2004/8/UE (relativa alla promozione della cogenerazione) e 2006/32/UE (relativa all'efficienza energetica negli usi finali), e stabilisce un quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica, al fine di concorrere al raggiungimento degli obiettivi del Pacchetto Clima Energia 2020. Tra le varie disposizioni la direttiva impone agli stati membri l'obbligo di ristrutturare il 3% annuo della superficie degli edifici pubblici riscaldati e/o raffrescati, in maniera tale da rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica.

In Italia il quadro normativo per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici è complesso e articolato; ai decreti di attuazione del decreto legislativo 192/2005 e alla legge 90/2013, vanno aggiunti il decreto legislativo 115/08 sui servizi energetici (recepimento della Direttiva 2006/32/UE) ed il decreto legislativo 28/2011 sulle fonti rinnovabili. Nel seguito si presentano alcuni decreti di particolare interesse per l'efficienza energetica degli edifici emanati.

Il decreto legislativo 28/2011 recepisce la direttiva 2009/28/UE sulla promozione sull'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Per quanto riguarda l'efficienza energetica degli edifici, esso, tra l'altro, prescrive:

- la definizione degli obblighi di utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e sottoposti a ristrutturazioni importanti;
- per i progetti di edifici di nuova costruzione ed i progetti di ristrutturazioni rilevanti degli edifici

esistenti, obbligo di utilizzo di fonti rinnovabili per la copertura dei consumi di calore, di elettricità e per il raffrescamento, secondo i principi minimi di integrazione e le decorrenze di cui all'allegato 3.

Con la legge 90/2013, di conversione *del decreto legge 4 giugno 2013 n.63*, sono state introdotte diverse modifiche al D.Lgs. n. 192/2005 nel rispetto della Direttiva 2010/31/UE. La legge 90/2013 getta le basi e fissa i nuovi criteri per l'aggiornamento e la programmazione di standard prestazionali degli edifici (involucro, impianti e fonti rinnovabili), al fine di raggiungere gli obiettivi fissati a livello europeo in materia di edifici a energia quasi zero. Ciò comporta lo sviluppo di codici di calcolo, di modelli di analisi e l'utilizzo di strumenti quali la metodologia comparativa. I requisiti minimi prestazionali per l'edilizia tengono in debito conto il periodo di condizionamento invernale ed estivo, la zona climatica e gli altri standard prestazionali previsti dal quadro normativo. Tra le principali novità introdotte dalla Legge, che prevede l'emanazione di decreti attuativi di carattere tecnico, si citano i seguenti temi:

- a) *Metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici*, che viene aggiornata in riferimento alle Norme UNI TS 11300, parte 1,2,3 e 4 e alla Raccomandazione 14 del Comitato Termotecnico Italiano (CTI)
- b) *I requisiti minimi di prestazione energetica*: i requisiti sono definiti in base alle valutazioni tecniche ed economiche derivanti dall'applicazione della metodologia comparativa, definita nel Regolamento UE 244/2012, e saranno aggiornati ogni 5 anni
- c) *Edifici a energia quasi zero (nZEB)*: a partire dal 1° gennaio 2019 gli edifici di nuova costruzione di proprietà pubblica o occupati da amministrazioni pubbliche dovranno essere di tipo nZEB; tutti gli altri edifici nuovi dovranno esserlo dal 1° gennaio 2021.

Il decreto legislativo 4 luglio 2014 n.102 recepisce la Direttiva 2012/27/UE e fornisce un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza energetica, aventi come obiettivo la riduzione di 20 Mtep dei consumi di energia primaria, pari a 15,5 Mtep di energia finale, sul periodo 2011-2020, come indicato dalla Strategia Energetica Nazionale (SEN) e nel Piano d'Azione Efficienza Energetica (PAEE) 2014. Nel decreto sono introdotte alcune novità per le pubbliche amministrazioni, le imprese e i privati, tra le quali:

- la realizzazione d'interventi di riqualificazione energetica sulle strutture della pubblica amministrazione centrale per un minimo annuo del 3%, a partire dal 2014 e fino al 2020;
- l'istituzione del Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica, un fondo rotativo per finanziare interventi di efficienza energetica.

Infine è stato pubblicato il *Decreto Ministeriale 26 giugno 2015: nuovi requisiti minimi di efficienza ed edifici a energia quasi zero*, il cosiddetto "DM requisiti minimi", che definisce le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche e l'utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici, delle prescrizioni e dei requisiti, in relazione ai paragrafi 1 e 2 dell'allegato I della predetta direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia.

Il decreto ha l'obiettivo, inoltre, di favorire una applicazione omogenea, coordinata e immediatamente operativa delle norme per l'efficienza energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale, attualmente molto variegata a causa dell'ampia autonomia regionale nelle norme di recepimento della precedente direttiva 2002/91/CE.

Descrizione del prodotto dell'attività

La riqualificazione energetica del parco di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale...) darà, in particolare, un contributo notevole al miglioramento dell'efficienza energetica del costruito pubblico. In tal senso, è necessario studiare, data l'importanza del settore da questo punto di vista unita all'importanza come attività esemplare e di stimolo che deve essere svolta dalla PA, la riqualificazione energetica di quegli edifici pubblici esistenti e ancora operativi, progettati in accordo alle normative previste dalla L. 373/76, la prima in Italia che regolava l'efficienza energetica degli edifici, o, addirittura precedenti a questa.

D'altra parte il Decreto legislativo 4 luglio 2014 n. 102 prevede la realizzazione d'interventi di riqualificazione energetica sulle strutture della pubblica amministrazione centrale per un minimo annuo del

3%, a partire dal 2014 e fino al 2020 e è stato predisposto, a tal fine, il Piano di Riqualificazione Energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione Centrale (PREPAC).

L'attività prevista è mirata a ottenere prodotti, sotto la forma di metodologie di calcolo, procedure operative e aggiornamenti delle normative tecniche e legislative, dagli studi e verifiche su casi reali proposti nei settori di seguito descritti.

- a) Individuare edifici pubblici esistenti, quindi reali e operativi, che possano essere rappresentativi di quelli presenti nel territorio nazionale, che siano suscettibili di essere portati, con interventi di riqualificazione verso la definizione nZEB. Si studieranno le implicazioni tecniche ed economiche della ristrutturazione, tramite interventi di riqualificazione energetica che riguardino sia l'involucro opaco che trasparente, sia gli impianti di climatizzazione e controllo sia di quelli di illuminazione artificiale, che li portino ad essere considerati edificio nZEB. Per definire gli interventi da effettuare per la riqualificazione energetica di un edificio esistente e per valutarne a priori l'importanza relativa sia in termini di efficacia nel miglioramento dell'efficienza energetica, mirata alla riduzione dei consumi di energia senza sacrificare il confort dei fruitori dell'edificio, e sia in termini di costi da sostenere (analisi costi-benefici), è necessario effettuare una diagnosi energetica dell'edificio sia nella situazione pre-interventi sia nella situazione a interventi già individuati, ma non ancora realizzati. Per diagnosi energetica s'intende quindi una procedura sistematica consistente in ispezioni e analisi volta a:
 - fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici;
 - individuare e quantificare le opportunità di miglioramento energetico sotto il profilo costi-benefici.
- b) Un'importante voce del fabbisogno energetico elettrico degli edifici è quella necessaria a garantire l'illuminazione interna degli ambienti. L'importanza di questo fabbisogno cresce, i termini percentuali rispetto al fabbisogno energetico totale dell'edificio, con l'aumentare dell'efficienza termica dell'involucro dell'edificio e degli impianti di climatizzazione. È quindi necessario definire metodi di calcolo che consentano di valutare accuratamente tale fabbisogno tenendo opportuno conto del contributo dell'illuminazione gratuita naturale.
- c) La progettazione e la realizzazione di edifici nZEB in generale, e la riqualificazione energetica a nZEB di edifici pubblici in particolare, pur in presenza di una definizione dell'obiettivo da raggiungere (D.M. 26 giugno 2015 "requisiti minimi") presenta criticità e interrogativi, sia a livello progettuale che realizzativo, che è opportuno investigare con lo scopo di individuare eventuali modifiche e integrazioni nelle norme tecniche che riguardano il calcolo delle prestazioni dell'involucro dell'edificio e degli impianti a fonte rinnovabile e, conseguentemente, di individuare eventuali modifiche nel corpus legislativo e normativo.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Le direttive 2012/27/ UE e 2010/31/UE richiedono che si sviluppino materiali, componenti e strumenti per la verifica del rendimento energetico degli edifici non solo per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento e acqua calda sanitaria, ma anche i sistemi di condizionamento estivo e l'illuminazione.

I dispositivi di legge nazionali in recepimento delle direttive sono d'indubbio indirizzo nel raggiungere questi obiettivi anche se le assunzioni e le prescrizioni previste devono essere validate nella loro pratica attuazione. La progettazione e la realizzazione di edifici nZEB in particolare e la riqualificazione energetica a nZEB di edifici pubblici, pur in presenza di una definizione dell'obiettivo da raggiungere (D.M 26 giugno 2015 "requisiti minimi") presenta attualmente, infatti, criticità e interrogativi, sia a livello progettuale sia a livello realizzativo e di costi. A titolo di esempio, non esaustivo, citiamo alcune criticità.

La diagnosi energetica dell'edificio, fase essenziale per definire gli interventi di riqualificazione, pur definita a livello normativo dalla norma UNI CEI EN 16247-1:2012 (Diagnosi energetiche Parte 1: Requisiti generali) e UNI CEI EN 16247-2:2012 (Diagnosi energetiche Parte 2: edifici) è coniugata ed effettuata operativamente in molteplici modi e con differenti gradi di approfondimento dell'analisi. È necessario, quindi, tramite applicazioni operative, stabilire una procedura proponibile come standard.

Le "Linee Guida Nazionali per la Certificazione energetica degli edifici" prevedono il calcolo dell'indicatore energetico per l'illuminazione, per gli edifici del terziario; la norma di riferimento UNI EN 15193:2008 - Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione, tuttavia, sovrastima, secondo autorevoli autori e organizzazioni, il fabbisogno di energia elettrica necessaria. È opportuno studiare una

metodologia alternativa maggiormente rispondente alla realtà che consideri le caratteristiche climatiche (illuminamento naturale) nazionali.

Gli obblighi d'integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, richiamato nella definizione di edificio nZEB, per i nuovi edifici o gli edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti comportano delle criticità progettuali, realizzative e di costi, che possono, in taluni casi, condurre a notevoli difficoltà per ottemperarvi.

Il settore energetico ha un ruolo fondamentale nella crescita dell'economia del Paese, sia come fattore abilitante (avere energia a costi competitivi, con limitato impatto ambientale e con elevato livello di servizio è una condizione fondamentale per lo sviluppo delle imprese e per le famiglie), sia come fattore di crescita in sé. Assicurare un'energia più competitiva e sostenibile è dunque una delle sfide più rilevanti per il futuro del nostro Paese.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Le attività previste in questo piano triennale costituiscono il naturale sviluppo di alcune di quelle svolte durante il precedente piano triennale, 2012-2014, che riguardava l'Area "Razionalizzazione e risparmio dell'energia elettrica", Tema di Ricerca "Studio e progettazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico", Progetto C.2 "Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico", che ne sono il presupposto, e nei precedenti piani triennali 2009-2011 (Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile) e 2006-2008 (Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. interazione condizionamento e illuminazione).

Le attività del precedente piano triennale sono consistite nello studio, sviluppo e valutazione di strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica degli edifici del settore residenziale e non residenziale, finalizzate al contenimento dei consumi energetici, alla riduzione dei gas serra e a indirizzare le politiche degli interventi di riqualificazione, con riferimento agli edifici della Pubblica Amministrazione (PA).

Nella programmazione delle attività 2012-2014 si è fatto riferimento alle indicazioni e prescrizioni contenute nella direttiva 27/2012/CE, in cui era data particolare attenzione agli edifici del settore pubblico, residenziali e non residenziali, per i quali si chiedeva una serie di dati di caratterizzazione del parco immobiliare, e di dati dei consumi energetici (stimati e/o da bolletta) sui quali poter sviluppare misure e standard d'intervento accompagnati da una diagnosi energetica e da una sensibilizzazione e formazione del personale tecnico delle PA.

Le attività svolte hanno dato un contributo al raggiungimento degli obiettivi europei e nazionali sull'efficienza energetica degli edifici e hanno definito valori di benchmark e standard prestazionali a supporto della normativa e delle politiche energetiche, tenendo conto delle esigenze del mercato e degli utenti finali nel rispetto dell'ambiente e con un uso razionale dell'energia.

In particolare si sono ottenuti i risultati nei settori seguenti:

- sviluppo di modelli, metodologie e strumenti, indirizzati in modo particolare alla PA, per l'adeguamento al quadro normativo europeo e nazionale in materia di efficienza energetica;
- edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani;
- sviluppo ed assessment di cool material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio;
- sviluppo di componenti innovativi per la riduzione dei carichi termici per l'edificio anche con applicazione di sistemi vegetali sull'involucro edilizio;
- studio e sviluppo di metodologie e strumenti per le valutazioni di interventi di efficienza energetica per gli edifici pubblici e privati finalizzati al nZEB.

I risultati ottenuti sono stati utilizzati dal Ministero per lo Sviluppo Economico (MiSE) per la predisposizione dei seguenti principali atti legislativi:

- Aggiornamento, con il decreto legge n. 63 del 2013 in recepimento della direttiva 2010/31/UE, del decreto legislativo n. 192 del 2005 di recepimento della direttiva 2002/91/UE sul rendimento energetico in edilizia
- Decreto legislativo n. 28 del 2011 di recepimento della direttiva 2009/28/UE
- Decreto legislativo n. 102 del 2014, di recepimento della direttiva 2012/27/UE.

Sulla base dei risultati ottenuti l'ENEA ha inoltre elaborato, con il coordinamento del MiSE, il documento STREPIN (Strategia per la Riqualificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale) nel quadro dei Piani di Azione nazionale per l'Efficienza Energetica (PAEE).

Il documento STREPIN, coerentemente con quanto previsto all'articolo 4 del decreto legislativo n.102/2014, riporta un quadro del parco immobiliare nazionale e identifica i criteri di intervento in base all'ottimizzazione del rapporto costi/benefici; analizza poi le barriere tecnico-economiche e finanziarie che ostacolano la realizzazione di interventi di efficienza energetica negli edifici, con una rassegna delle misure di policy messe in campo per il superamento delle stesse, proponendo alcuni interventi finalizzati a migliorare l'efficacia degli strumenti di supporto. Il documento riporta, infine, una stima del risparmio di energia atteso al 2020 nel settore civile.

ENEA, in collaborazione con RSE e CTI, con l'approvazione del MiSE, ha inoltre predisposto il documento PANZEB (Piano d'azione nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero). Il documento, previsto dall'articolo 4-bis, comma 2, del decreto legislativo 192/2005, chiarisce il significato di nZEB, valutando le prestazioni energetiche di alcune delle sue espressioni nelle differenti tipologie d'uso e zone climatiche. Fornisce, inoltre, una prima stima dei sovra-costi necessari, rispetto ai livelli attuali, per la realizzazione di nuovi edifici nZEB o per la trasformazione in nZEB degli edifici esistenti e traccia gli orientamenti e le linee di sviluppo nazionali per incrementare il loro numero tramite le misure di regolazione e di incentivazione rese disponibili.

Nel corso degli anni 2006-2011, obiettivo principale dell'attività di ricerca è stato sempre quello di supportare il legislatore nell'azione normativa e fornire ai professionisti e tecnici del settore adeguati metodi, strumenti e parametri prestazionali in vista dell'attuazione delle normative europee sull'efficienza energetica degli edifici. Ciò ha richiesto un'approfondita analisi del sistema edificio-impianto, e la raccolta di dati e informazioni sui fabbisogni energetici invernali ed estivi utili a indirizzare la *governance*.

Sono stati predisposti gli strumenti tecnici (parametri climatici, metodologie d'indagine e valutazione per gli interventi negli edifici e per la gestione del sistema edificio impianto, e una metodologia per gli audit energetici) per la progettazione d'impianti a basso consumo energetico, dell'involucro trasparente e degli elementi schermanti. In particolare si citano:

- l'aggiornamento dell'archivio dei dati climatici e la definizione dell'anno climatico tipo e la proposta di revisione dei dati climatici che dovranno aggiornare la UNI 10349;
- l'applicazione della metodologia ENEA in merito all'Indice di Severità Climatica (ISC) per il periodo estivo definendo le zone climatiche estive in cui suddividere il territorio nazionale (in analogia alla climatizzazione invernale) e l'elaborazione dell'ISC per i capoluoghi di Provincia;
- lo studio di nuove metodologie e di standard per il legislatore al fine di recepire le direttive europee in tema di usi finali dell'energia e per definire il nearly Zero Energy Building (nZEB);
- la caratterizzazione del parco immobiliare del settore del residenziale per i consumi energetici e lo sviluppo di una metodologia comparativa per determinare l'efficacia degli standard energetici utilizzati dalla normativa vigente;
- lo sviluppo di un software per le audit energetiche nel settore residenziale e terziario (uffici e scuole);
- la definizione dei fabbisogni e dei consumi energetici in grandi impianti sportivi;
- la caratterizzazione di componenti di involucro per la schermatura degli edifici, e lo studio e sviluppo di Cool Material con attività sperimentali, per l'efficienza energetica dell'involucro e la mitigazione del fenomeno 'isola di calore'; sono state implementate delle metodologie atte a valutare l'intensità dell'isola di calore urbana, l'impatto energetico a larga scala, nonché tecniche di previsione del

fenomeno, anche al fine di minimizzare i rischi per l'approvvigionamento energetico.

È stato sviluppato, inoltre, il software WINSHELTER per il calcolo delle proprietà luminose, solari e termiche di sistemi trasparenti integrati con elementi schermanti e in collaborazione con il CNR, l'ENEA ha messo a punto la nuova versione del software DOCET (v3.0) per la certificazione energetica di edifici di nuova costruzione ed esistenti, residenziali e non residenziali. Il software è stato implementato negli anni e la nuova versione recepisce le modifiche apportate alla norma UNI TS 11300. La versione DOCETpro 2010 ha ottenuto l'Attestato di Conformità da parte del CTI alle metodologie di calcolo definite dalle norme UNI TS 11300.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale è quello di dare un significativo contributo al raggiungimento degli obiettivi europei e nazionali sull'efficienza energetica (nZEB) degli edifici pubblici esistenti e definire procedure *standard*, valori di benchmark e standard prestazionali a supporto della normativa e delle politiche energetiche; l'obiettivo sarà raggiunto tenendo conto dei costi, delle esigenze del mercato e degli utenti finali nel rispetto dell'ambiente, con un uso razionale dell'energia primaria e con l'indispensabile e importante, dal punto di vista quantitativo, ricorso alle energie rinnovabili.

Elementi per raggiungere quest'obiettivo sono:

- studi sulla riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB;
- messa a punto di metodi per la verifica delle disponibilità di luce naturale e per la stima dei requisiti energetici per illuminazione naturale in edifici nZEB;
- individuazione delle criticità nella progettazione e realizzazione d'interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative.

Descrizione dell'attività a termine

La direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia (direttiva EPBD, *Energy Performance of Buildings Directive*) è il principale strumento legislativo dell'Unione Europea per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici europei.

Un elemento fondamentale della direttiva EPBD è rappresentato dagli edifici a energia quasi zero (nZEB). La direttiva EPBD, prevede che gli Stati membri provvedano affinché entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero e a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.

Proprio su questi ultimi si concentra l'attività prevista in quest'area e in questo tema nel triennio 2015-2017.

Il decreto ministeriale del 26 giugno 2015, il cosiddetto "DM requisiti minimi", definisce nel dettaglio le caratteristiche che devono avere degli edifici nZEB. Questi edifici sono caratterizzati da avere prestazioni energetiche migliori degli edifici "ottimali" (quelli per i quali gli interventi di efficienza energetica minimizzano il rapporto costi/benefici), ma costi globali superiori, generati dagli investimenti, dalla manutenzione e dalla gestione.

Gli edifici nZEB, quindi, si pongono, in termini di innovazione tecnologica e di contenimento dei costi, come i potenziali edifici "ottimali" dell'immediato futuro, in quanto prevedono soluzioni tecnologiche e impostazioni progettuali già raggiungibili, ma non ancora sufficientemente diffuse.

La ristrutturazione degli edifici pubblici esistenti, in modo da trasformarli in edifici nZEB, risulta strategica, in quanto tali edifici svolgono una importante funzione dimostrativa poiché o sono aperti ai visitatori o vi si svolgono importanti attività pubbliche (edifici esemplari).

Nel corso dell'attività triennale si individueranno tre tipologie di edifici pubblici reali e operativi, una per ciascuna annualità, contraddistinti da una differente utilizzazione funzionale, situati in tre zone climatiche invernali. Tali edifici saranno rappresentativi di quelli esistenti nel territorio nazionale; si studieranno le implicazioni tecniche ed economiche di una loro ristrutturazione, tramite interventi di riqualificazione energetica che riguardino sia l'involucro opaco che trasparente, sia gli impianti di climatizzazione e

controllo sia di quelli di illuminazione artificiale, che li porti ad essere considerati edifici NZEB.

Visto il contributo importante al fabbisogno energetico totale di un edificio NZEB dell'illuminazione artificiale, si studierà e si proporrà una metodologia per il calcolo del contributo dell'illuminamento naturale al soddisfacimento del servizio di illuminazione interna degli ambienti tarata e calibrata sperimentalmente per il territorio nazionale. La necessità di acquisire dati statisticamente significativi sull'illuminamento sul territorio nazionale comporterà l'estensione pluriennale di questa attività.

La presenza delle criticità, precedentemente segnalate, nella progettazione e realizzazione degli interventi NZEB, indica la necessità di studiare cosa comporta, a livello operativo e di costi, la definizione delle attuali norme che codificano gli edifici NZEB e di valutarne sia l'applicazione che la loro evoluzione nel tempo.

Si svilupperanno, inoltre, delle linee guida dedicate al monitoraggio delle tecniche di cantiere per la corretta messa in opera degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica e si studierà l'influenza del raggiungimento degli obiettivi NZEB per i principali parametri IAQ (Indoor Air Quality) che caratterizzano la salubrità ed il comfort interno.

Obiettivo finale di tutta l'attività pluriennale del progetto è sia la generalizzazione di quanto trovato per gli edifici studiati, rappresentativi ma pur sempre dotati delle loro specificità, ad una platea di configurazioni di edifici più vasta e, possibilmente, omnicomprensiva, sia individuare e segnalare, con le opportune proposte pratiche di soluzione normativa e legislativa, le criticità messe in evidenza dallo stato attuale.

Principali risultati previsti alla fine del triennio

L'attività prevista si concretizzerà in prodotti, sotto la forma di procedure operative, di metodologie di calcolo e di aggiornamenti delle normative tecniche e legislative derivanti dagli studi proposti, volti a dare un contributo al superamento dello stato attuale verso un deciso miglioramento del livello di efficienza energetica degli edifici pubblici.

- ✓ Diagnosi energetiche della situazione degli edifici in 3 zone climatiche (*nord Italia, centro e sud*) prima e dopo gli interventi di riqualificazione con le relative implicazioni economiche insieme ai limiti tecnici del livello di riqualificazione raggiungibile secondo la localizzazione climatica degli edifici
- ✓ Metodi e strumenti in grado di stimare con maggiore accuratezza gli aspetti energetici legati al servizio di illuminazione e al comfort visivo nella riqualificazione di edifici con standard NZEB
- ✓ Definizione delle modifiche e integrazioni nelle norme tecniche che riguardano il calcolo delle prestazioni dell'involucro dell'edificio e degli impianti a fonte rinnovabile per gli edifici NZEB e, conseguentemente, una proposta organica relativa alle eventuali modifiche nel corpus legislativo attuale in questo campo. Inoltre sarà pubblicato un manuale che riporterà una metodologia di controllo e monitoraggio in cantiere della corretta esecuzione degli interventi di riqualificazione energetica a NZEB degli edifici pubblici
- ✓ Proposta di ampliamento dell'attuale sistema di "requisiti minimi" previsto dal DM 26 giugno 2015 per includere requisiti minimi della qualità dell'aria e del microclima interno degli edifici NZEB.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Non sono previste attività di coordinamento con RSE e CNR.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Le attività di questo progetto costituiscono la base per la valutazione della realizzazione pratica delle soluzioni tecnologiche e costruttive attualmente previste dalla normativa e dalla legislazione allo scopo di verificarne le potenzialità, la realizzabilità e i costi connessi, oltre che per lo sviluppo di strumenti di governo e normativi atti a favorire il progressivo ma rapido raggiungimento degli obiettivi comunitari nei termini del miglioramento dell'efficienza energetica nel costruito pubblico. L'importante ricorso alle fonti di energia rinnovabile anche per la produzione locale di energia elettrica alleggerirà la richiesta dal sistema elettrico nazionale.

La riduzione dei consumi termici e la diminuzione della richiesta di energia elettrica nel settore civile e, in

particolare, in quello degli edifici della Pubblica Amministrazione è un fattore di cui beneficerà il sistema Paese, in generale, e, parallelamente, l'utente finale.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Il progetto si articola in due parti: una Parte A che ha come organo esecutore ENEA e una Parte B che coinvolge il Polo Tecnologico del Sulcis. Quest'ultima prevede sia attività che hanno come organo esecutore SOTACARBO (B.1) sia attività con organo esecutore ENEA (B.2).

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

Parte A: Attività ENEA

a. Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB

Saranno individuati, per la prima annualità, tre edifici test-case in base alla destinazione d'uso "scuola" con caratteristiche di modelli di tipologia diffusa sul territorio nazionale e suscettibili d'interventi di riqualificazione importanti.

Per questi edifici sarà eseguita una diagnosi energetica ex ante e saranno successivamente identificate le tecnologie più appropriate per la loro riqualificazione in senso nZEB per l'involucro, gli impianti di climatizzazione, di controllo e d'illuminazione artificiale, gli impianti alimentati da fonti rinnovabili insieme alla analisi economica dei costi. Una diagnosi energetica ex-post servirà a valutare gli effetti energetici degli interventi proposti.

L'attività riguarderà quindi la caratterizzazione di un edificio scolastico di riferimento per la zona climatica Nord Italia E ($2.100 < GG \leq 3.000$), Centro Italia D ($1.400 < GG \leq 2.100$) e Sud Italia B ($600 < GG \leq 900$) e lo studio della possibile trasformazione in nZEB. Le zone climatiche prescelte concentrano oltre il 75% della popolazione italiana, e quindi presumibilmente anche di quella scolastica, e individuano quelle numericamente più significative dal punto di vista della diversità climatica (B ed E).

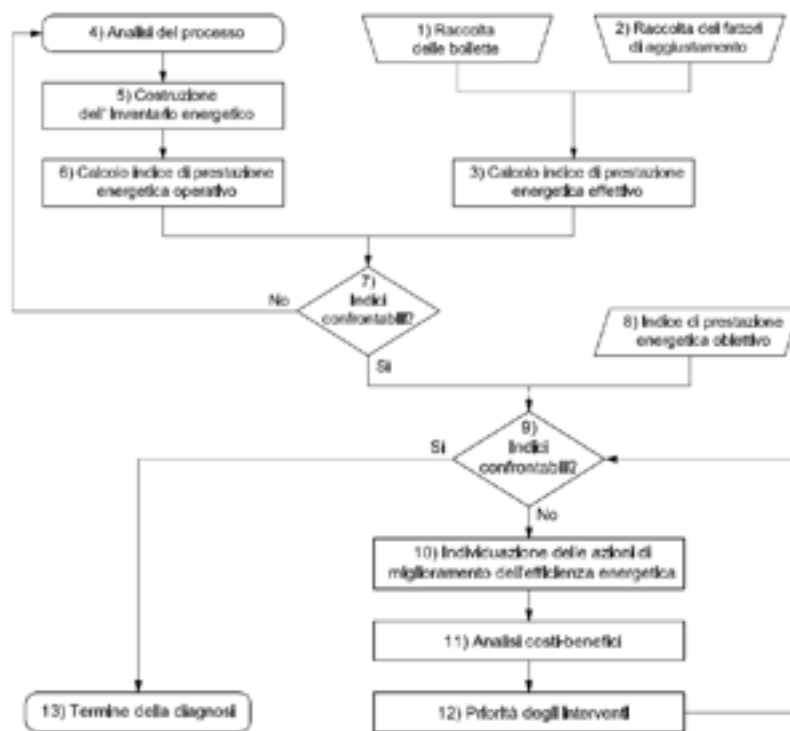
Per la trasformazione di un edificio scolastico in nZEB si dovrà partire dalla conoscenza del reale comportamento e del consumo energetico del sistema costituito dall'insieme del fabbricato e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno. L'analisi dello stato di fatto sarà realizzata attraverso una diagnosi energetica che consentirà di costruire il bilancio in usi finali di energia, individuare eventuali cause di sprechi e gli interventi più appropriati da porre in essere per la trasformazione in nZEB, valutandone non solo la fattibilità tecnica, ma anche e soprattutto quella economica.

La diagnosi energetica sarà realizzata secondo la metodologia prevista dalla principale normativa tecnica di riferimento (UNI CEI EN 16247 parte 1,2,3 e UNI CEI/TR 11428) e quindi prevedrà la costruzione di modelli energetici i cui risultati dovranno convergere con le prestazioni derivanti dai dati di consumo effettivo, così come riportato nello schema proposto (UNI CEI/TR 11428 - vedi figura).

Parallelamente sarà previsto l'utilizzo, per lo svolgimento della diagnosi energetica, del software SEAS 3.0 (acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati), nato nel precedente PAR da una collaborazione tra ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa sia per uniformare e confrontare i risultati ottenuti, sia per validare il software SEAS.

Poiché gli interventi individuati (involucro e impianti) per la trasformazione nZEB di edifici esistenti sono, sia come tipologia sia come misura, differenti a seconda delle zone climatiche dove fisicamente è situato l'edificio, è necessario estendere lo studio, come detto, a tre differenti zone climatiche; sono stati, di conseguenza, individuati tre subtask, temporalmente in parallelo, della attività.

Poiché una parte non trascurabile dell'intero patrimonio edilizio scolastico nazionale pubblico è stato edificato oltre settant'anni fa ed è assoggettabile a tutela (ex Codice dei beni culturali e del paesaggio), è necessario investigare quale sia il grado di riqualificazione energetica al quale si può arrivare in questi casi, sempre tenendo conto del rapporto costi-benefici. Si è considerato di conseguenza un ulteriore sub-task.



a.1 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2.100 < GG \leq 3.000$)

Risultati/Deliverable:

- Diagnosi energetica di un edificio scolastico rappresentativo sottoposto a riqualificazione energetica nZEB e analisi economica degli interventi proposti

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: $1.400 < GG \leq 2.100$)

Risultati/Deliverable:

- Diagnosi energetica di un edificio scolastico rappresentativo sottoposto a riqualificazione energetica nZEB e analisi economica degli interventi proposti

Principali collaborazioni: Università di Pisa

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.3 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Sud Italia (zona B: $600 < GG \leq 900$)

Risultati/Deliverable:

- Diagnosi energetica di un edificio scolastico rappresentativo sottoposto a riqualificazione energetica nZEB e analisi economica degli interventi proposti

Principali collaborazioni: Università di Catania

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.4 Studio di un edificio scolastico soggetto a tutela

Si prevede l'individuazione di un caso-studio, rappresentativo di una tipologia edilizia ricorrente nel settore scolastico tutelato, e la definizione d'interventi di retrofit secondo i diversi casi contemplati dal DM 26 giugno 2015 (ristrutturazione di primo e secondo livello e riqualificazione energetica). Gli interventi, lato involucro e lato impianti, inclusi i sistemi avanzati di controllo e gestione delle utenze elettriche e il ricorso alle fonti rinnovabili di energia, saranno concertati nel rispetto dei vincoli di tutela. L'analisi costi-efficacia delle soluzioni individuate consentirà di definire un set d'interventi replicabili in casi analoghi.

Il lavoro è strutturato nelle seguenti fasi:

- A. Individuazione del caso-studio e analisi prestazionale dello stato di fatto
 - Individuazione delle caratteristiche tipo-tecnologico rappresentative di una casistica diffusa
 - Selezione del caso-studio, reperimento documentale-descrittivo e riscontri in situ.
 - Definizione del modello di simulazione termofisica del caso-studio.
 - Valutazione della prestazione energetica allo stato di fatto e calibrazione del modello

- B. Diagnosi energetica dell'edificio e analisi costi-efficacia degli interventi
 - Individuazione delle ipotesi di intervento secondo requisiti e prescrizioni ex DM 26 giugno 2015 in accordo con i vincoli di tutela
 - Implementazione del modello di simulazione con le diverse ipotesi
 - Valutazione delle prestazioni energetiche conseguibili
 - Composizione dei costi degli interventi ed analisi correlata alle prestazioni energetiche conseguibili

Risultati/Deliverable:

- Criteri di intervento su edifici scolastici di interesse culturale, con vincolo di tutela, nell'ottica della riqualificazione secondo il target nZEB

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Metodi per la verifica delle disponibilità di luce naturale e per la stima dei requisiti energetici per illuminazione naturale in edifici nZEB

Gli edifici non residenziali sono caratterizzati da usi per illuminazione artificiale stimabili in circa il 20% degli usi elettrici totali, dato soggetto ad elevata dispersione dovuta a: zona climatica, destinazione d'uso, profili di utilizzo per medesima destinazione d'uso, caratteristiche distributive delle facciate e degli spazi interni dell'edificio, tecnologie di illuminazione utilizzata. Gli usi elettrici per l'illuminazione artificiale sono destinati ad assumere sempre più importanza, in termini percentuali, rispetto al fabbisogno totale di energia negli edifici nZEB. Il quadro normativo fa riferimento alla norma tecnica UNI EN 15193:2008 - Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione, standard orientato verso un calcolo molto standardizzato e solo in parte adatto a valutare le prestazioni di illuminazione naturale di edifici esistenti e di nuova costruzione. L'attività intende proseguire gli studi svolti nelle annualità precedenti, al fine di definire metodi e strumenti in grado di stimare con maggiore accuratezza gli aspetti energetici legati al servizio di illuminazione e al comfort visivo nella riqualificazione di edifici con standard nZEB. In linea con gli obiettivi generali del progetto, si approfondiranno i temi legati all'edilizia scolastica. L'attività dovrà esplorare aspetti rilevanti quali: database di dati di illuminamento esterno a partire da dati satellitari validati a terra e di modello nazionale dell'efficacia luminosa della radiazione solare; implicazioni di diversi modelli di illuminamento esterno sulle prestazioni energetiche degli edifici da diagnosi e in condizioni standard; esame della norma alla luce della versione aggiornata attesa nel prossimo anno; implicazioni tecnico-economiche dei vari metodi di calcolo dei requisiti energetici per illuminazione rispetto a dati reali. Saranno inoltre esplorati, in via embrionale, gli aspetti legati alla qualità della luce, alla luce di nuove soluzioni tecnologiche per applicazioni nell'ambiente costruito (LED, OLED).

b.1 Acquisizione e monitoraggio congiunto di dati di illuminamento e di radiazione solare in tre località italiane per la definizione di un modello nazionale di efficacia luminosa.

I modelli di efficacia luminosa consentono di convertire i livelli d'irradiazione solare (W/m^2) in livelli di illuminamento (lux). Quelli disponibili in letteratura sono stati sviluppati con dati sperimentali misurati presso località non italiane. L'intento perseguito in questa fase è di installare tre luxmetri per la misurazione degli illuminamenti globale e diffuso in altrettante località italiane, in modo da stabilire un nuovo modello valido precipuamente per la situazione nazionale. Le località italiane prescelte sono: Milano, Casaccia, Lampedusa. A seconda di quello che verrà suggerito dall'analisi dei dati sperimentali, la "novità" della ricerca potrà riguardare il ricalcolo dei parametri del più promettente fra i modelli già esistenti, in modo da migliorare la sua capacità predittiva per il territorio italiano, oppure la proposizione di un modello ex-novo formalmente più efficace.

Risultati/Deliverable:

- Campagna di misura dell'illuminamento e della radiazione solare in tre località italiane (nord, centro e sud Italia)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.2 Metodi per la valutazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminamento artificiale considerando il contributo dell'illuminazione naturale

Sarà investigata la definizione consolidata del *fattore di luce diurna* (daylight factor), alla luce di metodi di calcolo dei requisiti di illuminazione artificiale *climate based*. Sarà in particolare studiata l'evoluzione del suddetto indicatore in funzione delle diverse condizioni di cielo, che possono realizzarsi in condizioni reali, attraverso un'attività di monitoraggio di illuminamento indoor e outdoor presso il CR Casaccia. Si eseguiranno, ove necessario, le prime analisi per una nuova definizione dell'indicatore, sulla base dei risultati dell'analisi sperimentali e di analisi numeriche a supporto. Sarà codificato un metodo di valutazione spaziale del fattore di luce diurna rappresentativo di ambienti lavorativi, con focus su edifici scolastici, da inserire nella metodologia di calcolo per i requisiti di illuminazione artificiale *climate based*.

Risultati/Deliverable:

- Valutazione energetica ed economica del servizio illuminazione negli edifici nZEB

Principali collaborazioni: Università di Roma

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Le criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative

La progettazione e la realizzazione di edifici nZEB in generale e la riqualificazione energetica a nZEB di edifici pubblici in particolare, pur in presenza di una definizione dell'obiettivo da raggiungere (D.M 26 giugno 2015 "requisiti minimi") presenta criticità e interrogativi, sia a livello progettuale che realizzativo, che è opportuno investigare con lo scopo di individuare eventuali modifiche e integrazioni nelle norme tecniche che riguardano il calcolo delle prestazioni dell'involucro dell'edificio e degli impianti a fonte rinnovabile e, conseguentemente, di individuare eventuali modifiche nel *corpus* legislativo.

c.1 L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB

Gli obblighi d'integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, richiamato nella definizione di edificio NZEB, per i nuovi edifici o gli edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti comportano delle criticità progettuali e realizzative che possono, in taluni casi, condurre a notevoli difficoltà per ottemperarvi.

Lo studio in questione è rivolto a evidenziare tali criticità e a individuare e prospettare le soluzioni possibili. In questa ottica è utile sviluppare una ricerca che affronti i seguenti aspetti, con particolare riferimento agli

edifici scolastici e alla trasformazione di edifici esistenti:

Parte generale

1. raccolta delle attuali definizioni di nZEB attualmente in uso nella EU;
2. approfondimenti sulle ricadute derivanti dalla applicazione della definizione italiana al settore degli edifici pubblici;
3. prime conclusioni di carattere generale con eventuali indicazioni sulle criticità e aspetti che potrebbero essere migliorati;

Parte applicativa

4. valutazione, nel quadro normativo vigente, delle diverse possibili configurazioni impiantistiche idonee per permettere il conseguimento della qualifica di nZEB;
5. conclusioni di carattere specialistico applicabili agli edifici scolastici.

In particolare per i punti 4 e 5 si procederà con:

- definizione di alcune soluzioni impiantistiche di interesse (numero da definire);
- applicazione delle stesse soluzioni a un edificio scolastico standard (da scegliere e definire) eventualmente in tre situazioni climatiche differenti e rappresentative della situazione nazionale;
- valutazione tecnico-economica delle singole soluzioni sulla base delle prestazioni energetiche conseguibili e soprattutto della copertura con rinnovabile dei consumi in energia primaria;
- conclusioni con indicazioni per la scelta operativa degli impianti per gli edifici scolastici da trasformare in nZEB

Risultati/Deliverable:

- Criticità dell'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.2 Evoluzione dei requisiti energetici ottimali degli edifici NZEB

Il decreto ministeriale del 26 giugno 2015, il cosiddetto "DM requisiti minimi", prescrive che gli edifici NZEB debbano rispettare le condizioni previste nell'allegato 1 "Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici".

Sono "edifici a energia quasi zero" tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati:

- a) tutti i requisiti previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3, determinati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici;
- b) gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

Il rispetto di tali condizioni, pur se identificate nella loro generalità, richiede uno studio sui parametri tecnici dell'edificio di riferimento, come indicato nel decreto, al fine di verificare le caratteristiche delle tecniche costruttive, convenzionali e innovative, e monitorare l'evoluzione prevista nel tempo dei requisiti energetici ottimali. Per gli edifici non residenziali, tale studio comprende i requisiti energetici minimi degli impianti di illuminazione, con particolare attenzione all'interazione fra luce naturale e luce artificiale, degli ascensori e delle scale mobili.

È altresì necessario, nello stesso ambito, l'aggiornamento della classificazione degli edifici e degli spazi di cui al paragrafo 1.2, dell'Allegato 1, in relazione alle diverse condizioni di utilizzo, anche all'interno di edifici della stessa categoria.

I risultati di questo studio sono proposti al legislatore per le eventuali modifiche alle attuali disposizioni.

L'attività prevista si inquadra, quindi, nel decreto che stabilisce i requisiti affinché gli edifici possano essere considerati nZEB.

Lo stesso decreto, prevede, all'articolo 7 "Strumenti di calcolo", comma 4 che: "L'Enea, in collaborazione con il CTI predispone uno studio per valutare l'aggiornamento della classificazione degli edifici e degli spazi

di cui al paragrafo 1.2, dell'Allegato 1, in relazione alle diverse condizioni di utilizzo, anche all'interno di edifici della stessa categoria.”

L'attività prevista è quindi dedicata a ottemperare a queste disposizioni di legge e si inquadra nel decreto che stabilisce i requisiti affinché gli edifici possano essere considerati nZEB.

Risultati/Deliverable:

- L'evoluzione dei requisiti energetici ottimali degli edifici nZEB

Principali collaborazioni: CTI

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.3 Linee guida per la realizzazione degli interventi di riqualificazione nZEB

Intervenire nell'esistente parco edilizio pubblico nazionale, caratterizzato da vetustà ed obsolescenza tecnologica nonché da consumi energetici elevati, è l'obiettivo prioritario nelle azioni di riqualificazione energetica e di miglioramento della qualità del confort ambientale interno.

Per il raggiungimento degli standard prestazionali di edifici nZEB, si deve tenere conto delle peculiari caratteristiche di ogni singolo edificio, dei vincoli e degli ostacoli di natura tecnica, legislativa e di tutela, sicuramente in fase di progettazione per la definizione delle migliori soluzioni tecnico-innovative atte a raggiungere il potenziale di miglioramento delle prestazioni energetiche e del confort indoor, ma soprattutto nella complessa e delicata fase di esecuzione degli interventi di riqualificazione energetica previsti nel progetto, dal momento che una realizzazione non eseguita a perfetta regola d'arte, potrebbe inficiare il conseguimento degli obiettivi di risparmio e di qualità progettati.

L'attività di questa linea di ricerca mira a definire, per gli edifici esistenti pubblici, le procedure per il monitoraggio in cantiere delle opere da realizzare, a garanzia della corretta esecuzione degli interventi di riqualificazione energetica per il conseguimento delle caratteristiche di edificio nZEB ovvero per raggiungere il massimo potenziale miglioramento possibile.

Obiettivo, questo, raggiungibile attraverso lo studio e lo sviluppo di metodologie e strumenti, da inserire in una Linea Guida, atti a definire un quadro dei principali interventi di riqualificazione energetica possibili per gli edifici esistenti, con la descrizione delle modalità di corretta esecuzione degli stessi, delle caratteristiche tecniche dei materiali utilizzati e la definizione dei particolari costruttivi più significativi.

Il controllo e la verifica della qualità dei lavori eseguiti in cantiere, sia dal punto di vista tecnico/tecnologico che da quello organizzativo/gestionale, è effettuato attraverso la definizione delle modalità di svolgimento del monitoraggio e l'individuazione/gestione delle relazioni che intercorrono tra i diversi attori del processo realizzativo.

In particolare verranno sviluppate le seguenti attività:

- ricognizione delle tecniche generali e specifiche per la corretta esecuzione delle opere di miglioramento dell'efficienza energetica dell'involucro edilizio e degli impianti, tenendo conto della complessità e della varietà delle caratteristiche tipologiche e costruttive degli edifici esistenti;
- modalità di rilievo dello stato di fatto del fabbricato oggetto di riqualificazione,
- monitoraggio in cantiere delle opere da realizzare: descrizione delle fasi esecutive, modalità e tecnologie realizzative degli interventi, dettagli dei particolari costruttivi più significativi;
- individuazione delle criticità realizzative: analisi dei difetti costruttivi che derivano da una esecuzione non a regola d'arte.

Bisogna inoltre considerare che la corretta attuazione dell'intero processo di riqualificazione energetica, non può prescindere dalle idonee competenze e capacità di tutti gli attori coinvolti.

L'attuazione degli interventi in accordo a quanto previsto dalle linee guida potrebbe essere propedeutica, preparatoria o addirittura sostitutiva, alla certificazione come nZEB dell'edificio in esame

Risultati/Deliverable:

- Linee guida per la progettazione e il monitoraggio delle tecniche di cantiere nell'ambito della riqualificazione energetica di edifici esistenti

Principali collaborazioni: CasaClima

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c.4 Gli edifici nZEB in Italia

La direttiva 2010/31/UE sulle prestazioni energetiche nell'edilizia ha introdotto il concetto di edificio a energia quasi nulla (nZEB) per gli edifici che saranno costruiti a partire dal 2020, anticipando l'obbligo di due anni per la Pubblica Amministrazione. L'assenza di una definizione del concetto di nZEB da parte della Commissione europea suggerisce di cercare di fare una ricognizione degli edifici esistenti che presentino prestazioni molto spinte, al fine di trarne buone pratiche e suggerimenti per definire i dettagli a livello di policy.

Studi condotti nel corso degli anni hanno evidenziato come il tentativo di realizzare edifici passivi o a consumi molto bassi nel nostro Paese si sia talvolta tradotto in prestazioni effettive non in linea con le aspettative, specie per le condizioni di comfort estive, a causa del clima molto vario riscontrabile in Italia (sia dal punto di vista stagionale, sia come escursione termica giornaliera). Il settore scolastico, a causa delle sue peculiarità, è fra quelli su cui sono disponibili più risposte al tema del contenimento dei consumi energetici, specie nelle realizzazioni dell'ultimo decennio.

Sarà eseguita un'indagine, estesa a tutto il territorio nazionale, per individuare, al momento attuale, quali e quanto siano gli edifici, con particolare riferimento a quelli pubblici e ad uso scolastico sia di nuova costruzione sia riqualificati, che possano rientrare nella categoria nZEB. Ogni edificio individuato sarà caratterizzato dal punto di vista energetico, con riferimento in particolare agli usi e all'autoproduzione elettrici, e verranno fornite informazioni utili a mettere in relazione il comfort avvertito dagli occupanti con le prestazioni energetiche teoriche (fabbisogno) e con i consumi.

Risultati/Deliverable:

- Verso gli edifici nZEB: esempi di edifici pubblici e ad uso scolastico a prestazioni energetiche elevate

Principali collaborazioni: FIRE

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

d. La qualità ambientale indoor degli edifici nZEB

Le corrette condizioni di thermal comfort e di qualità dell'aria indoor rappresentano un target fondamentale da garantire nell'ambito di una riqualificazione energetica di un edificio. Diverse ricerche (HealthVent project EU/2013) hanno, infatti, recentemente evidenziato la necessità di integrare l'implementazione delle norme relative all'efficienza energetica degli edifici (EPBD), con la definizione di standard e soluzioni tecniche avanzate per la qualità dell'aria indoor (IAQ), in modo da ottenere convergenza tra riduzione dei consumi energetici ed elevati livelli di comfort per gli occupanti.

Tale aspetto assume ancor più rilevanza nel caso riqualificazioni verso nZEB di edifici scolastici, in cui il mantenimento del comfort e della qualità dell'aria risulta particolarmente delicato e al tempo stesso essenziale, per garantire condizioni psicofisiche ottimali durante le ore di lezione.

Talvolta, anche interventi efficaci dal punto di vista energetico, possono influire negativamente dal punto di vista della qualità del microclima indoor, sia nei periodi di climatizzazione (es. insufficienti ricambi d'aria indotti dalla maggior tenuta dell'involucro) sia in quelli di non funzionamento degli impianti (overheating risk).

Soprattutto nel caso di riqualificazioni avanzate, miranti ad ottenere edifici nZEB, è importante quindi che fin dalla fase di progettazione gli interventi siano indirizzati verso standard opportuni di qualità dell'aria e del microclima interno.

Obiettivo dell'attività sarà quello eseguire un'analisi del comfort termico mediante simulazione dinamica su uno edificio scolastico di riferimento, per analizzare, durante l'intero periodo di utilizzo dell'edificio, i principali caratteristiche termoisometrici ed ambientali (T_{air} , RH, T_{rad} , concentrazione di CO_2) prima nella situazione di fatto, e poi, dopo l'adeguamento dell'edificio agli standard nZEB

Successivamente saranno simulati diversi interventi migliorativi, seguendo i criteri di progettazione previsti dalla normativa tecnica UNI 15251:2008 (*Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la*

valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica). Le analisi saranno condotte per diverse configurazioni di edificio e per diverse condizioni climatiche.

Risultati/Deliverable:

- Influenza della riqualificazione energetica a nZEB sulle condizioni di comfort e sulla qualità dell'aria interna.

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

e. Comunicazione e diffusione dei risultati

Saranno organizzati da ENEA o si parteciperà a workshop e convegni per la comunicazione delle attività e dei risultati raggiunti nel progetto.

- Convegno ANIMA: "Alcune esperienze ENEA per il miglioramento energetico della P.A. centrale" MCE_Milano
- Workshop –" Turkey delegation Study Visit on Energy Efficiency Policies and Measures" Roma

Risultati/Deliverable:

Workshop per la comunicazione dei risultati raggiunti

Durata: agosto 2016 - settembre 2016

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Nel precedente piano triennale sono state svolte attività, che hanno contribuito alla crescita delle conoscenze del personale del Polo Tecnologico, finalizzate alla caratterizzazione del patrimonio edilizio pubblico e allo sviluppo di una metodologia per interventi di efficienza energetica in edifici vincolati nel territorio del Sulcis. In particolare era stata realizzato da SOTACARBO un data base degli edifici pubblici insistenti sul territorio del Sulcis, con la caratterizzazione degli edifici tramite opportuni indicatori statistici, ed era stata acquisita un prima dotazione di dispositivi e attrezzature di mercato per l'analisi del sistema edificio (quali energy-meter sia elettrici che termici, centralina climatica esterna, sensori di grandezze del confort temperatura umidità illuminazione presenza ecc. per applicazioni di sistemi per la Building Automation ecc.) per effettuare il monitoraggio del sistema edificio/impianto.

Le conoscenze acquisite dal personale del Polo Tecnologico possono essere ora applicate e ulteriormente sviluppate nell'ambito della riqualificazione energetica nZEB degli edifici pubblici, individuati nel data base realizzato, con particolare riferimento agli edifici scolastici.

B.1 Attività SOTACARBO

a. La riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

a.1 Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

Si prenderanno in considerazione edifici pubblici del territorio (di cui almeno uno ad uso scolastico) suscettibili di essere riqualificati energeticamente in accordo alla definizione nZEB. Si eseguirà su di essi una diagnosi energetica approfondita nello stato in cui sono attualmente e si individueranno gli interventi di riqualificazione energetica in senso nZEB, insieme con i costi relativi. Oltre alla valutazione energetica dello stato dell'edificio, il lavoro prevedrà un'analisi di altri aspetti che ne influenzano il comportamento energetico e che riguardano il degrado della struttura, delle murature e delle finiture, lo stato di manutenzione degli impianti, la documentazione amministrativa, etc. Il raggiungimento potenziale dell'obiettivo nZEB sarà verificato tramite la diagnosi energetica, in accordo alle migliori pratiche e alle normative del settore, effettuata considerando gli interventi proposti. Oltre a calcolare, per ogni edificio, i consumi di energia necessari per servizi quali ad esempio il riscaldamento, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione, verrà dunque svolta una analisi costi-benefici dei possibili interventi di riqualificazione energetica.

Risultati/Deliverable:

- Studio sulla riqualificazione a nZEB di edifici pubblici del Sulcis

Principali collaborazioni: Università di Cagliari

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Studio del microclima interno negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

In un'ottica di eco-sostenibilità, il progetto edilizio e impiantistico deve contemplare le soluzioni tecniche di carattere strutturale, e quelle di carattere gestionale (dispositivi per la regolazione locale dei parametri ambientali, configurazioni atte a consentire l'illuminazione naturale o il raffrescamento notturno) che consentano all'utente di gestire correttamente il sistema "edificio-impianto", ottenendo soddisfacenti livelli di comfort con il minimo consumo di risorse energetiche. I consumi di energia per riscaldamento, ventilazione, climatizzazione e illuminazione di un edificio sono direttamente influenzati dal livello di comfort ambientale. I consumi energetici possono poi subire significative variazioni in relazione a molteplici aspetti quali ad esempio: aspettative di comfort dell'utente (valori di set point per temperatura, umidità relativa, qualità dell'aria, illuminamento ecc.); effettiva disponibilità di risorse naturali per il controllo del microclima (numero di ore di luce naturale, numero di ore in estate in cui l'aria esterna è utilizzabile per raffrescare gli ambienti ecc.); strategie che l'utente adotta per il controllo ambientale (programmazione temporale dei valori di set point, uso dell'illuminazione artificiale, apertura e chiusura delle finestre etc.). Pertanto non ha senso occuparsi della qualità energetica di un edificio senza contemporaneamente determinare il livello di qualità dell'ambiente interno cui ci si riferisce, sia esso "di progetto" oppure "in esercizio". Sulla base di tali considerazioni, si attrezzeranno degli edifici pubblici (di cui almeno uno ad uso scolastico) con centraline di misura dotate di sensori di microclima interno (in termini di temperatura, umidità, CO2), del tipo acquisito nel corso della precedente annualità ed eventualmente integrati con nuovi sistemi/sensori, e, sulla base dei dati misurati si determineranno alcuni indici relativi della qualità dell'aria interna (IAQ). Tale studio stabilirà una baseline in vista della riqualificazione energetica dell'edificio.

Risultati/Deliverable:

- Studio sperimentale del microclima interno di un edificio scolastico pubblico del Sulcis

Principali collaborazioni: Università di Cagliari

Durata: ottobre 2015- settembre 2016

B.2 Attività ENEA

a.1 Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

ENEA eseguirà la diagnosi energetica edificio selezionato da SOTACARBO, con l'utilizzo del software ENEA SEAS costruito per semplificare le procedure di diagnosi. In tal modo si amplia lo spettro di tipologie di edifici con le quali si verificherà la validità di questo software per lo studio della riqualificazione a nZEB degli edifici, destinato a diventare uno strumento di riferimento nazionale.

Risultati/Deliverable:

- Studio sulla riqualificazione a nZEB di edifici pubblici del Sulcis

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Studio della qualità ambientale indoor negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

ENEA elaborerà i dati dei sensori del microclima interno di un edificio, attrezzato con la strumentazione necessaria prevista in accordo alla normativa nazionale del settore, valutando opportuni indicatori della qualità dell'aria interna.

Risultati/Deliverable:

- Studio sperimentale del microclima interno di un edificio

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PARTE A. ATTIVITÀ ENEA

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a	Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB													
	<i>a.1 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: 2.100 <GG ≤ 3.000)</i>													
	<i>a.2 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1.400 <GG ≤ 2.100)</i>													
	<i>a.3 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Sud Italia (zona B: 600 <GG ≤ 900)</i>													
	<i>a.4 Studio di un edificio scolastico soggetto a tutela</i>													
b	Metodi per la verifica delle disponibilità di luce naturale e per la stima dei requisiti energetici per illuminazione naturale in edifici nZEB													
	<i>b.1 Acquisizione e monitoraggio congiunto di dati di illuminamento e di radiazione solare in tre località italiane per la definizione di un modello nazionale di efficacia luminosa.</i>													
	<i>b.2 Metodi per la valutazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminamento artificiale considerando il contributo dell'illuminazione naturale</i>													
c	Criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative													
	<i>c.1 L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB</i>													
	<i>c.2 Evoluzione dei requisiti energetici ottimali degli edifici nZEB</i>													
	<i>c.3 Linee guida per la realizzazione degli interventi di riqualificazione nZEB</i>													
	<i>c.4 Gli edifici nZEB in Italia</i>													
d	La qualità ambientale indoor degli edifici nZEB													
e	Comunicazione e diffusione dei risultati													

PARTE B. ATTIVITÀ POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
PARTE B.1 - ATTIVITA' SOTACARBO														
a	La riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis													
	<i>a.1 Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis</i>													
	<i>a.2 Studio della qualità ambientale indoor negli edifici pubblici del territorio del Sulcis</i>													
PARTE B.2 - ATTIVITA' ENEA														
a	La riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis													
	<i>a.1 Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis</i>													
	<i>a.2 Studio della qualità ambientale indoor negli edifici pubblici del territorio del Sulcis</i>													

PARTE A. ATTIVITÀ ENEA

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB									
	<i>a.1 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: 2.100 <GG ≤ 3.000)</i>	595	21,3	12,7	0,0	1,0	0,0	1,5	20,0	56,5
	<i>a.2 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1.400 <GG ≤ 2.100)</i>	542	19,3	11,6	0,0	1,0	0,0	1,5	20,0	53,4
	<i>a.3 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Sud Italia (zona B: 600 <GG ≤ 900)</i>	542	19,3	11,6	0,0	1,0	0,0	1,5	20,0	53,4
	<i>a.4 Studio di un edificio scolastico soggetto a tutela</i>	542	19,3	11,6	0,0	1,0	0,0	1,5	20,0	53,4
	<i>Subtotale Ob. a</i>	2221	79,2	47,5	0,0	4,0	0,0	6,0	80,0	216,7
b	Metodi per la verifica delle disponibilità di luce naturale e per la stima dei requisiti energetici per illuminazione naturale in edifici nZEB									
	<i>b.1 Acquisizione e monitoraggio congiunto di dati di illuminamento e di radiazione solare in tre località italiane per la definizione di un modello nazionale di efficacia luminosa.</i>	462	16,5	9,9	3,0	1,0	0,0	1,5	0,0	31,9
	<i>b.2 Metodi per la valutazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminamento artificiale considerando il contributo dell'illuminazione naturale.</i>	326	11,6	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	38,6
	<i>Subtotale Ob. b</i>	788	28,1	16,9	3,0	1,0	0,0	1,5	20,0	70,5
c	Criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative									
	<i>c.1 L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB</i>	325	11,6	7,0	0,0	0,0	0,0	1,5	20,0	40,1
	<i>c.2 Evoluzione dei requisiti energetici ottimali degli edifici nZEB</i>	325	11,6	7,0	0,0	0,0	45,0	0,0	0,0	63,6
	<i>c.3 Linee guida per la realizzazione degli interventi di riqualificazione nZEB</i>	325	11,6	7,0	0,0	0,0	25,0	2,0	0,0	45,6
	<i>c.4 Gli edifici nZEB in Italia</i>	215	7,7	4,6	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	22,3
	<i>Subtotale Ob. c</i>	1190	42,5	25,6	0,0	0,0	80,0	3,5	20,0	171,6
d	La qualità ambientale indoor degli edifici nZEB	645	23,0	13,8	0,5	0,0	0,0	1,0	0,0	38,3
e	Comunicazione e diffusione dei risultati	50	1,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
	TOTALE	4894	174,6	104,9	3,5	5,0	80,0	12,0	120,0	500,0

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento; include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri pari a 35,7 €/h, Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Indicazioni sulle principale attrezzature da acquistare e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
b	Strumentazione per monitoraggio congiunto di dati di illuminamento e di radiazione solare	3.000	3.000	100%
d	Strumentazione per il monitoraggio del comfort	13.500	500	100%

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
b	Forniture materiale di consumo	1.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
c.2	Contratto di ricerca CTI	45.000
c.3	Contratto di ricerca CASACLIMA	25.000
c.4	Contratto di ricerca FIRE	10.000

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Le attività di ricerca prevedono la collaborazione con Istituti Universitari nazionali, individuati da ENEA. Tali scelte si sono basate in considerazione delle competenze specifiche e le esperienze maturate, per i diversi temi da analizzare e sviluppare, dal personale accademico che gode anche di riconoscimenti in campo europeo e internazionale e che si occupa da sempre di progetti di ricerca e sviluppo nell'ambito dell'efficienza energetica degli edifici. Infatti, molti di questi Istituti dispongono di collaborazioni a livello europeo o internazionale che consentono il conseguimento di risultati di alto contenuto tecnico scientifico. Le Università coinvolte dispongono di competenze per le valutazioni delle prestazioni energetiche del sistema edificio impianto e di componenti dell'involucro edilizio.

Ob.	Contraente-Oggetto del contratto/motivazione della scelta	Importo k€
a.1	<p>Politecnico di Torino - Dipartimento Energia <u>Oggetto del contratto</u> : Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: 2.100 <GG ≤ 3.000) <u>Motivazione della scelta</u>. Il Dipartimento Energia - Politecnico di Torino, si occupa da sempre di progetti di ricerca e sviluppo nell'ambito dell'efficienza energetica degli edifici. La struttura segue ed approfondisce, sia in laboratorio sia sul campo, tutti i filoni di ricerca relativi alla ottimizzazione energetica dei sistemi e degli impianti. In particolare il Dipartimento è focalizzato sulla ricerca e sviluppi di metodologie, tecniche e tecnologie di miglioramento della efficienza energetica e per il risparmio energetico. Il Dipartimento inoltre partecipa a progetti europei e ad attività della IEA.</p>	20
a.2	<p>Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni <u>Oggetto del contratto</u>: Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1.400 <GG ≤ 2.100) <u>Motivazione della scelta</u>. Il Dipartimento si occupa da molti anni di temi afferenti l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto sviluppando conoscenze e competenze di alto livello con particolare attenzione al settore tecnico-scientifico sul risparmio energetico nel civile. La struttura segue ed approfondisce, sia in laboratorio che sul campo, tutti i filoni di ricerca relativi alla ottimizzazione energetica del sistema edificio impianto ed è coinvolto, con le PA, in progetti di riqualificazione energetica degli edifici.</p>	20

Ob.	Contraente-Oggetto del contratto/motivazione della scelta	Importo k€
a.3	Università di Catania - Dipartimento Ingegneria industriale - Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Sud Italia (zona B: 600 <GG ≤ 900) <i>Motivazione della scelta:</i> L'Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria Industriale, si occupa da sempre di progetti di ricerca e sviluppo nell'ambito dell'efficienza energetica degli edifici. I principali raggruppamenti di ricerca in esso inclusi sono Elettrotecnica, Misure Elettriche, Macchine Elettriche ed Impianti Elettrici. La struttura segue ed approfondisce, sia in laboratorio sia sul campo, tutti i filoni di ricerca relativi alla ottimizzazione energetica dei sistemi e degli impianti.	20
a.4	Politecnico di Milano - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC) - Studio di un edificio scolastico soggetto a tutela <i>Motivazione della scelta:</i> Il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC) si occupa da sempre di progetti di ricerca e sviluppo nell'ambito dell'efficienza energetica degli edifici. I principali raggruppamenti di ricerca in esso inclusi sono Elettrotecnica, Misure Elettriche, Macchine Elettriche ed Impianti Elettrici. La struttura segue ed approfondisce, sia in laboratorio sia sul campo, tutti i filoni di ricerca relativi alla ottimizzazione energetica dei sistemi e degli impianti	20
b.2	Università Sapienza Roma Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica - Metodi per la valutazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale considerando il contributo dell'illuminazione naturale. <i>Motivazione della scelta:</i> Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica è stata determinata dall'alta competenza nelle attività di ricerca in ingegneria e nelle scienze ad essa applicate, specifiche aree. Il Dipartimento sviluppa attività di ricerca innovativa e di eccellenza, e con utilizzo di codici di calcolo complessi e apparecchiature scientifiche necessarie per le attività del progetto. Svolge attività di ricerca sul tema dell'illuminazione artificiale e sull'illuminazione mista, naturale /artificiale, per cui ha partecipato anche a Task dello IEA sul tema.	20
c.1	Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali - L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB <i>Motivazione della scelta:</i> La scelta del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali – Politecnica delle Marche, deriva dal significativo impegno e coinvolgimento in progetti di ricerca e sviluppo nell'ambito dell'efficienza energetica negli edifici e dell'innovazione tecnologica degli impianti con riferimento anche all'integrazione con le fonti rinnovabili. Il Dipartimento segue ed approfondisce, sia in laboratorio sia sul campo, tutti i filoni di ricerca relativi alla ottimizzazione energetica dei sistemi tecnologici e degli impianti in riferimento agli edifici NZEB, partecipando anche a progetti europei .	20

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Titolo del Progetto	Nota esplicativa
RePublic_ZEB	È un progetto finanziato dalla Commissione Europea che coinvolge partner dei paesi del Sud-Est europeo al fine di sviluppare e promuovere strumenti per gli edifici nZEB
SCHOOL OF THE FUTURE: 7° FPV/UE	Obiettivi: progettare, realizzare, dimostrare, valutare e comunicare esempi di eccellenza di edifici ad alta prestazione energetica nel settore scolastico. (caso studio Scuola Tito Maccio Plauto a Cesena)
ELIH-MED: Programma MED – Area Paesi del Mediterraneo	Obiettivi: dimostrazione e realizzazione di interventi di efficienza energetica in edifici di Social Housing utilizzati da utenti a basso reddito: sviluppo di strumenti e metodi per migliorare il comportamento dei consumatori, i sistemi energetici, l'involucro edilizio: definizione di strumenti innovativi di finanziamento. (Casi studio: Genova, Frattamaggiore, Alghero, Oristano, Carbonia-Iglesias)
FRESH: : Intelligent Energy Europe (EIE)	Obiettivi: sviluppare e dimostrare l'efficacia e l'applicabilità di strumenti contrattualistici di Energy Performance Contract (EPC) in interventi di efficienza energetica negli edifici. (ACER Reggio Emilia)
REQUEST2ACTION: Intelligent Energy Europe (EIE)	Obiettivi: mira ad accrescere la quantità e la qualità degli interventi di riqualificazione energetica degli edifici residenziali in Europa avvalendosi del coinvolgimento degli attori chiave del settore (Stakeholder) intorno alle priorità del cost-effectiveness e cost-optimality (efficacia e ottimizzazione economica)

6) Risultati ottenuti nella annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Si segnalano i soli risultati, ottenuti nel PAR 2014, che presentano continuità tra il progetto dell'attuale annualità del Piano triennale 2015-2017 con l'annualità del precedente Piano Triennale.

Ob.	Risultati PAR 2014	Ob.	Risultati attesi PAR 2015
a.1	Atlante per la scelta rapida degli interventi da realizzare per la riqualificazione degli edifici	a.1	Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Nord-Italia): diagnosi energetica di un edificio scolastico rappresentativo sottoposto a riqualificazione energetica nZEB e analisi economica degli interventi proposti.
a.1	Definizione degli edifici tipo di riferimento da utilizzare per i calcoli e le valutazioni di prestazione energetica degli edifici residenziali e non residenziali. Analisi delle prestazioni energetiche degli edifici, da applicare agli edifici di riferimento, per un confronto dei risultati utilizzando un calcolo stazionario ed uno dinamico	a.2	Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro-Italia: diagnosi energetica di un edificio scolastico rappresentativo sottoposto a riqualificazione energetica nZEB e analisi economica degli interventi proposti.
a.1	Sviluppo del sw SEAS light per le diagnosi energetiche negli edifici del residenziale e realizzazione di corsi e-learning per l'utilizzo di sw SEAS e SEAS light	a.3	Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Sud-Italia: diagnosi energetica di un edificio scolastico rappresentativo sottoposto a riqualificazione energetica nZEB e analisi economica degli interventi proposti.
a.1	Sviluppo di una metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di illuminazione naturale	b.1	Acquisizione e monitoraggio congiunto di dati d'illuminamento e di radiazione solare in tre località italiane per la definizione di un modello nazionale di efficacia luminosa: campagna di misura dell'illuminamento e della radiazione solare in tre località italiane (nord, centro e sud Italia)
a.3	L'accumulo di energia termica per la realizzazione di edifici nZEB	b.2	Metodi per la valutazione del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminamento artificiale considerando il contributo dell'illuminazione naturale: la valutazione energetica ed economica del servizio illuminazione negli edifici nZEB
b	Modelli di regressione per la stima dei fabbisogni energetici per la climatizzazione degli edifici.	c.1	L'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB: criticità dell'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici pubblici riqualificati a nZEB.
b	Linee guida per l'analisi dei dati di assorbimento elettrico di edifici del terziario pubblico	c.2	L'evoluzione dei requisiti energetici ottimali degli edifici nZEB
b	Sviluppo di modelli e strumenti informatici a supporto delle decisioni per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici della PA	c.3	Linee guida per la progettazione e il monitoraggio delle tecniche di cantiere nell'ambito della riqualificazione energetica di edifici esistenti
b	Sviluppo di un sistema informatico per gli edifici ad uso scolastico per le valutazioni tecnico- economiche degli interventi	c.4	Verso gli edifici nZEB: esempi di edifici pubblici e ad uso scolastico a prestazioni energetiche elevate.
b	Sviluppo di modelli per la quantificazione del potenziale Ventilative Cooling nell'edilizia	d	Influenza della riqualificazione energetica a nZEB sulle condizioni di comfort e sulla qualità dell'aria interna.

PARTE B. ATTIVITÀ POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

ATTIVITÀ ENEA

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Sotacarbo	
a	La riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis									
	<i>a.1 Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis</i>	1945	69	42	0	1	0	1	0	113
	<i>a.2 Studio della qualità ambientale indoor negli edifici pubblici del territorio del Sulcis</i>	1480	53	32	0	1	0	1	0	87
	TOTALE	3425	122	74	0	2	0	2	0	200

ATTIVITÀ SOTACARBO

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	La riqualificazione energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis									
	a.1 Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis	3200	81	49	5	2	25	5	0	167
	a.2 Studio della qualità ambientale indoor negli edifici pubblici del territorio del Sulcis	2500	63	37	25	5	0	3	0	133
	TOTALE	5700	144	86	30	7	25	8	0	300

1B) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio - Sotacarbo

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Software e hardware ad uso esclusivo	5.000
a.2	Strumentazione per monitoraggio climatico e ambientale degli edifici	25.000

2B) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Consumabili (schede di acquisizione, supporti di memorizzazione dati, batterie, etc.)	1.000
a.2	Consumabili (materiale elettrico, sensori, cablaggi, connettori, etc.)	5.000

3B) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Nessuna

4B) Attività previste per le Università con contratti di ricerca, motivazioni della scelta e relativi importi

Università degli Studi di Cagliari – Facoltà di Ingegneria Gruppo Studi Energetici. Il gruppo si occupa di efficienza energetica degli edifici e in particolare di:

sistema edificio-impianti; legislazione europea e nazionale; Metodi di analisi e valutazione secondo UNI EN ISO 13790 e UNI TS 1130; valutazione in regime periodico della prestazione energetica; Analisi e misurazione delle forzanti dinamiche dell'edificio: dati climatici, radiazione solare, carichi termici.

Importo previsto: € 25.000

5B) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Nessuno

6B) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Ob.	Risultati ottenuti PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a.1	Realizzazione di un database sugli edifici scolastici del Sulcis	Analisi energetica di alcuni edifici pubblici del Sulcis Iglesiente
a.2	Acquisizione di un sistema di monitoraggio climatico e ambientale dell'edificio del Centro Ricerche Sotacarbo	Monitoraggio in continuo di alcuni edifici pubblici e elaborazione ed analisi dei dati

AREA	EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI
Tema di Ricerca	PROCESSI E MACCHINARI INDUSTRIALI
Progetto D.3	PROCESSI E MACCHINARI INDUSTRIALI

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Negli ultimi decenni i Paesi industrializzati hanno progressivamente fissato degli obiettivi sempre più pressanti e ambiziosi in materia di ambiente ed energia, attraverso la stesura di documenti come il Protocollo di Kyoto, il Pacchetto europeo Clima – Energia 2020 e la Roadmap 2050, che fissando degli standard in termini di salvaguardia dell'ecosistema e decarbonizzazione, contribuiscono di fatto alla messa in atto di una strategia per la crescita economica oltre che per garantire la sicurezza di approvvigionamento.

La domanda di energia nel mondo è infatti prevista in crescita (+35% al 2035) e, all'interno del quadro finora tracciato, il settore industriale gioca un ruolo fondamentale, in quanto responsabile di un buon 30% dei consumi globali di energia elettrica, percentuale in crescita nei prossimi anni soprattutto grazie al contributo dei Paesi in via di sviluppo (International Energy Agency, 2012). Nei Paesi industrializzati, infatti, a causa della crisi economica e dello spostamento degli investimenti sul terziario, l'incremento dei consumi energetici dell'industria sembra destinato a rimanere abbastanza contenuto, ma proprio per questo lo sforzo per aumentare l'efficienza di questo settore a parità di volumi di produzione potrebbe risultare strategico al fine di conservare un margine di competitività a livello mondiale.

Negli ultimi anni grandi sforzi sono stati effettuati per introdurre interventi di miglioramento dell'efficienza energetica nel settore industriale. Tuttavia questi interventi molto spesso si sono bloccati all'edificio non intervenendo direttamente nell'aggiornamento e sostituzione dei processi di produzione dove è più complicato intervenire anche per aspetti culturali (tradizionalismo dei settori).

L'analisi dei processi industriali, con particolare riguardo alla sostituzione di tecnologie ed apparecchiature, che oltre ad essere più efficienti elettricamente risultino più efficienti nel processo, permetterebbe di introdurre notevoli vantaggi in termini di efficienza elettrica al tessuto industriale nazionale.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

La capillare diffusione dei motori a livello industriale, nell'ordine di oltre 19 milioni di unità installate ad oggi in Italia fa sì che i tre quarti dell'energia elettrica consumata nel settore industriale in Italia sia attribuibile al funzionamento dei motori elettrici, valore che corrisponde a circa il 40% del consumo elettrico nazionale. Le potenzialità complessive di miglioramento dell'efficienza energetica di questi sistemi in modo economicamente efficace sono state quantificate nel 20-30% circa. Per indirizzare il mercato dei motori verso l'efficienza energetica, a livello internazionale, si è reso necessario assicurare una base normativa comune per la progettazione ecocompatibile e la classificazione dei motori elettrici.

La IEC 60034-30:2008 definisce le classi di rendimento IE1, IE2 e IE3 per i motori trifase con determinate specifiche, la successiva IEC 60034-30-1:2014 allarga la gamma dei motori interessati dalla norma (es. 8 poli e fino a 1000kW) e definisce i parametri per una nuova classe di rendimento (IE4).

Tuttavia, un importante ostacolo all'attuazione dei programmi di riduzione dei consumi energetici e che viene spesso denunciato dal settore produttivo interessato, riguarda proprio la verifica dei prodotti che vengono immessi nel mercato e la mancanza di strumenti adatti per un adeguato controllo.

Per quanto riguarda l'efficientamento dei processi industriali sono state individuate tre aree di intervento che riguardano il recupero del calore a bassa temperatura nell'industria agroalimentare, efficientamento energetico dei processi produttivi nell'industria chimica e nella produzione e utilizzo di aria compressa.

L'industria agroalimentare con i suoi 130 miliardi di fatturato e quasi 60.000 imprese è un settore trainante dell'economia italiana e Federalimentare prevede una crescita del comparto che porterà dal 2015 a un aumento dei consumi e della produzione associati alla ripresa delle esportazioni. Nella maggior parte dei processi produttivi di questo distretto l'utilizzo di energia sotto forma di elettricità, calore, vapore o energia frigorifera è cruciale durante le fasi di lavorazione e rappresenta una voce di costo rilevante che, in funzione dello specifico processo, può raggiungere valori del 40% dei costi generali⁴. I tipi d'intervento per ridurre i consumi sono vari con investimenti e complessità differenti. Il recupero dei cascami termici a bassa temperatura mediante sistemi ad assorbimento/adsorbimento per la produzione di freddo può migliorare l'efficienza energetica nel settore agroalimentare in cui i sistemi di refrigerazione/condizionamento sono ampiamente impiegati con un'incidenza sul consumo globale che può essere rilevante.

Attualmente esistono pochi studi di dettaglio sull'entità dei consumi energetici relativi alle singole voci di costo anche data l'estrema variabilità intrinseca del settore. Tra questi, esempi positivi sono costituiti dalle analisi del settore ortofrutticolo per il quale i maggiori consumi sono dovuti alla refrigerazione e ammontano a circa il 20% dei costi generali e al 50% del totale dei costi energetici^{5 6}. Su tale valore c'è un ampio margine d'intervento sia mediante sostituzione dei sistemi convenzionali che attraverso la loro integrazione in soluzioni ibride. Tra queste ultime è d'interesse rilevante lo sviluppo di sistemi frigoriferi a ciclo aperto che vedono impiegati sistemi ad adsorbimento come stadio aggiuntivo di deumidificazione in sistemi di refrigerazione tradizionali (i materiali adsorbenti, saranno successivamente rigenerati mediante sfruttamento di cascami termici). In questo caso i benefici in termini di riduzione della richiesta di energia frigorifera e di miglioramento dell'efficienza porterebbero a una riduzione dei consumi elettrici per refrigerazione fino al 40% in funzione della specifica applicazione e delle condizioni ambientali.

Per quanto riguarda l'efficientamento energetico dei processi produttivi nell'industria chimica, un recente (2013) studio congiunto dell'International Council of Chemical Associations (ICCA), International Energy Agency (IEA) e della Society for Chemical Engineering and Biotechnology (DECHEMA) descrive il cammino che il settore dell'industria chimica deve intraprendere per conseguire benefici nel campo dell'efficienza energetica⁷. Tale cammino evidenzia il ruolo della catalisi nella riduzione dell'utilizzo di energia e delle emissioni di gas serra nel settore dell'industria chimica. Circa il 90% dei processi chimici industriali utilizzano catalizzatori per una produzione efficiente. La catalisi è pertanto un argomento centrale nell'ambito di processi di efficientamento basati sul miglioramento tecnologico volti al risparmio energetico. In tale documento sono ipotizzati differenti scenari da quelli più conservativi, all'applicazione di nuove tecnologie in processi consolidati fino ai cosiddetti "game-changers", dove s'ipotizza un cambio di paradigma ossia ad esempio l'introduzione di nuovi processi catalitici, materie prime alternative, e nuovi reattori. Dal rapporto si evince che a seconda degli scenari considerati si arriverebbe a risparmi potenziali di energia (mondiali) per 13-16 exajoules nel 2050, equivalenti all'utilizzo primario annuale di energia della Germania. Le raccomandazioni rinnovate ai vari stakeholder (principalmente l'industria, i governi e l'accademia) per conseguire la visione e gli impatti descritti nella roadmap convergono verso maggiori investimenti in R&D e nella messa in pratica di nuove vie catalitiche, in particolare nel settore della chimica di base (produzione di ammoniaca, etilene, propilene e metanolo) che è in assoluto il settore più energivoro.

Un'area di intervento molto promettente per la riduzione dei consumi elettrici riguarda gli impianti di produzione, trattamento e distribuzione dell'aria compressa. Sono sistemi utilizzatori di energia che hanno una diffusione trasversale e capillare (il loro impiego è diffuso generalmente a prescindere dal tipo di settore in cui le aziende operano e dal tipo di impianto), coprendo una buona percentuale dei consumi a livello nazionale e internazionale, e quindi con una grande rilevanza strategica (sono presenti in circa il 70% delle aziende italiane⁸). A livello europeo si stima che l'aria compressa possa influire per il 10%¹ (fig.1) sul consumo totale di energia elettrica all'interno di un impianto industriale (fino al 70% nel caso di aziende

⁴ Quotidiano Energia "Efficienza: best practice nell'agroalimentare", 10/04/2015

⁵ Progetto europeo TESLA "Transferring Energy Save Laid on Agroindustry", IEE/12/758/SI2.644752, www.teslaproject.org

⁶ Progetto europeo SAHC "Solar assisted heating & cooling", EIE/07/224/SI2.466849

<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/sahc>

⁷ I risultati di tale studio sono disponibili in "Technology Roadmap: Energy and greenhouse-gas reductions in the Chemical Industry via Catalytic Processes". www.icca-chem.org/catalysisroadmap.

⁸ Radgen, P. and E. Blaustein, Compressed Air System in the European Union: Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions, 2001.

Pubblicazioni più recente fanno tutte riferimento ai dati contenuti dalla presente lavoro del Fraunhofer Institute.

manifatturiere⁹; inoltre, se si confronta il costo di diversi servomezzi (fig.2), l'aria compressa risulta senz'altro la più dispendiosa dal punto di vista economico potendo arrivare a coprire il 73% del costo totale d'impianto calcolato su dieci anni di vita¹⁰.

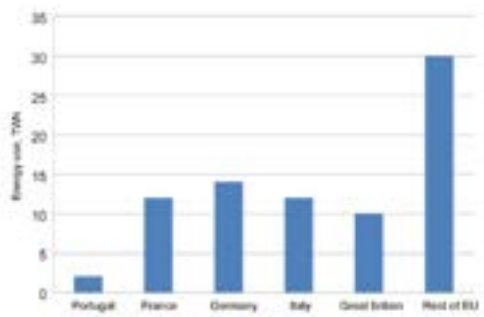


Figura 1: Consumo di energia in 15 Paesi EU per la produzione di aria compressa (Ragden, 2006).

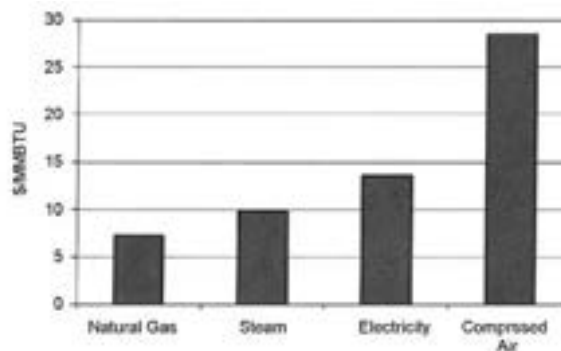
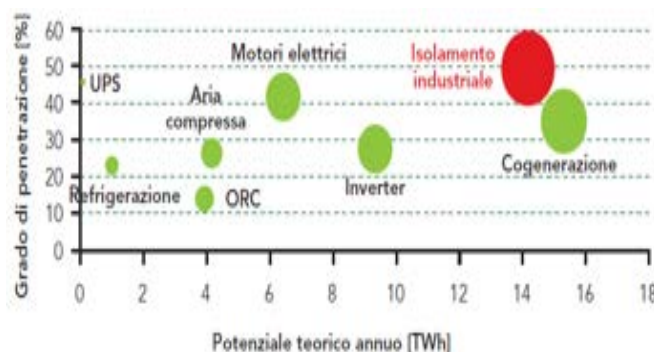


Figura 2: Confronto costo servomezzi (Zhang et al., 2006).

L'implementazione sistematica di interventi di efficienza energetica nel settore industriale consente non solo di ridurre significativamente i consumi di energia con conseguenti ricadute positive a livello ambientale in termini di riduzione delle emissioni di CO₂, ma anche di aumentare la competitività delle aziende "efficienti" grazie alla diminuzione dei costi di produzione. Nonostante siano disponibili sul mercato tecnologie ad alta efficienza più o meno consolidate, il grado di penetrazione nel settore industriale è per molte di esse ancora basso o addirittura insignificante.



(Fonte: Energy Efficiency Report EER 2014)

Tra le barriere principali a questa difficoltà di penetrazione sono state identificate:

1. Mancanza di dati sui consumi effettivi con conseguente difficoltà nell'individuazione della baseline
2. Mancanza di competenza ed esperienza delle aziende nel valutare i potenziali risparmi energetici conseguibili con le tecnologie disponibili
3. Mancanza di informazione sull'esistenza stessa di alcune tecnologie.

Queste barriere sono ancora più limitanti nelle piccole-medie imprese in cui i risparmi conseguibili sono in proporzione meno significativi e, quindi, rendono ancora più importante un'accurata valutazione della sostenibilità economica degli investimenti. Alla luce delle barriere identificate si rende necessario sviluppare uno strumento che, sulla base di una selezione accurata e continuamente aggiornata delle migliori tecnologie ad alta efficienza disponibili sul mercato, sia da supporto alle imprese nell'identificazione di interventi di efficienza energetica, che siano economicamente sostenibili e che rappresentino dei benchmark per il settore industriale di riferimento.

⁹ Phelan et al., 2002 - Zhang et al., 2006.

¹⁰ Fonte: Sustainability Victoria, 2009.

Per quanto riguarda l'impiego di tecnologie elettriche nei processi industriali, sono state prese in considerazione l'efficientamento nei processi industriali di saldatura e i campi elettrici pulsati.

Infatti, uno dei processi più utilizzati nella fabbricazione, dalle piccole carpenterie metalliche, al settore degli elettrodomestici, del navale, dell'automotive fino alla costruzione dei grandi impianti civili ed industriali, è certamente la saldatura. I processi di saldatura sono realizzati principalmente sfruttando processi ad arco elettrico che trasformano l'energia elettrica a tensioni e correnti atte a fondere il materiale per effetto Joule. Fissato il rendimento di trasformazione dell'energia elettrica con i moderni sistemi inverter, il modo con cui questa energia viene trasformata in calore e trasferita al materiale per fondere i lembi e realizzare la giunzione definisce il rendimento di saldatura, che in prima approssimazione possiamo intendere come il rapporto fra il volume di materiale fuso rispetto all'energia impiegata.

Un recente progetto europeo (<http://www.ecomachinetools.eu/typo/reports.html>) ha realizzato un'analisi accurata basata su dati statistici europei aggiornati al 2009 (dati statistici PRODCOM) su tutta la filiera di produzione industriale. In particolare, riguardo i sistemi di saldatura utilizzati in Europa essi sono 7,1 milioni compresi i sistemi di brasatura. Di questi 1,5 milioni sono grandi unità stazionarie. Questi numeri fanno capire come le lavorazioni industriali di saldatura incidano in modo consistente sui consumi elettrici del settore industriale. Inoltre, uno studio condotto dal Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (ADB) e Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, stima che il consumo complessivo di energia per i processi di saldatura industriale, compresi i processi di saldatura delle materie plastiche, rappresenta il 4,5 % del consumo energetico lordo dell'Unione europea (EPTA, 2007).

La definizione di efficienza complessiva del processo di saldatura risulta assai complessa e dipendente da vari fattori (spessori, materiali, fattore di forma) e tipo di energia impiegata (arco elettrico, luce laser, attrito). In generale, i processi a maggiore concentrazione del calore e minore apporto termico ed in particolare i processi di saldatura Key Hole come ad esempio la saldatura laser e plasma, riducono notevolmente le perdite di calore permettono di ottenere i processi più efficienti. La differenza di rendimento è ancora più marcata se viene associata un'analisi di secondo grado relativa all'intero processo industriale di fabbricazioni saldate dove la saldatura è solo uno step intermedio del processo di produzione che viene seguito da processi di raddrizzatura e verniciatura che risultano estremamente più semplificati o nulli in termini di tempi e quindi di energia addizionale impiegata nella fabbricazione completa dei beni.

Nel settore industriale, l'inattivazione batterica mediante campi elettrici, rappresenta un trattamento energeticamente migliorativo per alcuni processi ad elevato impatto sociale e ambientale. I settori che potrebbero beneficiare del trattamento di inattivazione microbica sono molteplici e differenti nelle loro finalità. Si fa riferimento, a tutti quei settori industriali che per la trasformazione delle materie prime nei prodotti finali necessitano di trattamenti specifici sia per la produzione primaria e sia per il successivo trattamento dei sottoprodotti di processo. Ad es. applicazioni riguardanti prodotti e sottoprodotti agro-alimentari intesi come scarti di produzione.

Nell'industria alimentare, le tecniche di conservazione degli alimenti sono molteplici, si possono distinguere:

- metodi fisici, come le alte temperature (pastorizzazione e sterilizzazione), le basse temperature (come la refrigerazione e il congelamento), la variazione di atmosfera (attraverso il confezionamento sottovuoto o in atmosfera controllata), le radiazioni ionizzanti. A queste si possono aggiungere alcuni metodi innovativi, oggetto di ricerche in questi ultimi anni, come le alte pressioni, gli ultrasuoni, i campi elettrici pulsati (Pulsed Electric Fields, PEF);
- metodi chimici, come l'aggiunta di conservanti naturali (sali, zuccheri, alcool, olio, aceto) o artificiali (additivi chimici);
- metodi fisico-chimici, come l'affumicamento;
- metodi biologici, come le fermentazioni e l'uso di enzimi.

Ciascuna di queste tecniche ha proprie peculiarità sia riguardo al tipo di componente su cui è in grado di operare (per esempio liquidi o solidi) e alla difficoltà di attuazione (Blackburn and McClure, 2002). Ad es. in ambito alimentare le tecniche di inattivazione microbica rappresentano una fase cruciale, sono eseguite attraverso macchinari specifici e richiedono una non indifferente energia di processo. Una tecnica molto promettente sotto il punto di vista della sua efficienza energetica, ma tuttavia ancora in

fase di studio, è quella dell'utilizzo dei campi elettrici pulsati PEF come metodo non-termico di conservazione degli alimenti (Zhang et al., 1995). I vantaggi principali delle tecnologie PEF rispetto ai trattamenti termici tradizionali consistono nella migliore preservazione delle proprietà fisiche, nutrizionali e sensoriali del prodotto (Quass, 1997) e nel limitato consumo energetico in assenza di scarti o fumi inquinanti, con conseguente riduzione dell'impatto ambientale di processo. Diverse pubblicazioni scientifiche in questi ultimi anni hanno reso disponibili risultati teorici e sperimentali applicati a diverse tipologie di alimenti e utilizzando apparecchiature ad hoc specifiche (U.S. Food and Drug Administration, 2015). Tali reports, se da un lato forniscono una base determinante per l'individuazione di adeguati percorsi di sviluppo dei sistemi PEF, dall'altro evidenziano una mancanza di organicità che, ad oggi, limita la generalizzazione dei risultati ottenuti e la diffusione delle metodiche proposte, ponendo importanti sfide di ricerca, sviluppo ed efficientamento energetico. Relativamente a quest'ultimo punto, in particolare, le politiche di efficienza energetica dell'UE degli ultimi anni, attraverso piani di azione nazionali come il National Energy Efficiency Action Plans (NEEAPs) e l'Art. 7 della Direttiva sull'Efficienza Energetica (EED), hanno spinto gli stati membri all'utilizzo di nuove misure volte all'efficientamento energetico. Tra i punti chiave, si sottolineano la necessità e l'importanza dell'utilizzo di metodi per l'analisi quantitativa dell'efficientamento che, relativamente al settore industriale, risultano dominati da misure di tipo finanziario e cooperativo, come gli accordi volontari (ODYSSEE-MURE, 2015).

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Nel PAR 2014 del progetto C1: "Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi" è stata condotta la linea di attività "F. Realizzazione di una facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza" con l'obiettivo realizzare una facility predisposta appositamente per la verifica dei motori elettrici sul mercato e il supporto alla sperimentazione di nuovi sistemi ad alta efficienza. I risultati ottenuti in quest'annualità sono stati: l'analisi di mercato, le definizioni delle specifiche, la progettazione e l'approvvigionamento di quanto necessario per motori elettrici fino a 15 kW.

Quanto avviato nel precedente Piano triennale è stato valutato, da parte della commissione degli esperti nominati dall'Autorità per l'Energia Elettrica, il Gas e il Sistema Idrico (AEEGSI), meritevole di ulteriori approfondimenti vista la centralità degli argomenti in relazione al miglioramento della sostenibilità ambientale del sistema energetico nazionale. Per questo motivo il presente piano contiene una linea di attività che partendo dai risultati ottenuti mira al conseguimento finale dell'obiettivo descritto.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale dell'attività consiste nella realizzazione di strumenti e metodi, che mirano alla promozione di tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di favorire il mercato di prodotti più performanti sia a livello di componenti, che consumano energia, sia a livello di sistemi che la producono e di migliorare la qualità dei processi industriali più energivori per contribuire alla riduzione della bolletta energetica nazionale e aumentare la competitività del settore produttivo rispetto ai mercati internazionali.

I temi della presente proposta sono stati scelti in modo da escludere sovrapposizioni ed attuare, invece, una efficace sinergia con altri progetti che hanno affinità con l'efficienza energetica nell'industria e che ENEA svolge su incarico del Ministero dello sviluppo economico, con riferimento alle convenzioni "Attuazione del programma per il monitoraggio sullo stato e le prospettive delle tecnologie per la produzione di energia elettrica e calore e per l'efficienza energetica - SIMPT" e "Attuazione delle disposizioni contenute nell'articolo 9 del decreto ministeriale 22 dicembre 2006, in materia di misure ed interventi su utenze energetiche". A tale proposito è stata svolta un'attività specifica di coordinamento tra i referenti istituzionali del Ministero e i responsabili dell'ENEA dei suddetti progetti. Nell'ambito della convenzione SIMPT è stato deciso di redigere una monografia che partendo dagli indicatori sviluppati nel presente progetto (linea C) fornisca un quadro di riferimento delle migliori tecnologie utilizzate in Italia per i settori energivori di carta, ceramica e siderurgia-fonderie.

Descrizione dell'attività a termine

L'attività a termine, con un orizzonte temporale triennale, si articola attraverso le seguenti linee di attività, più una dedicata alla diffusione dei contenuti e dei risultati ottenuti:

- a. Studio e applicazione di tecnologie per l'efficientamento di macchinari
- b. Efficientamento di processi industriali
- c. Metodologia per la caratterizzazione di processi industriali energivori: benchmark e valutazione dei potenziali di risparmio energetico
- d. Impiego di tecnologie elettriche nei processi industriali
- e. Tecnologie ICT per l'efficientamento dei processi industriali (solo 1° annualità)
- f. Comunicazione e diffusione dei risultati

Prodotti significativi previsti alla fine del triennio

- ✓ Facility per la validazione delle prestazioni dei motori elettrici fino a 55 kW
- ✓ Laboratorio per il controllo e verifica dell'ecoprogettazione nei sistemi per la saldatura elettrica.
- ✓ Reattore in scala di laboratorio per la sperimentazione di nuovi materiali (catalizzatori) da utilizzare nella catalisi magnetica per induzione
- ✓ Sistema prototipale ad assorbimento o adsorbimento per il recupero di calore di scarto a bassa temperatura.
- ✓ Prototipo di un sistema per l'applicazione di campi elettrici pulsati in un caso pilota.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Le attività proposte non presentano sovrapposizioni con altre linee di attività dell'Accordo di Programma presentate da CNR e RSE.

In particolare, per quanto attiene la linea B.1 "Materiali innovativi per lo sviluppo di sistemi per il recupero energetico da cascami termici in ambito industriale" si precisa che l'Istituto di Tecnologie Avanzate per l'Energia 'Nicola Giordano' (ITAE) del CNR è tradizionalmente impegnato nella ricerca per lo sviluppo di sistemi a pompa di calore alimentati da energia termica. Mentre l'attività ITAE è focalizzata sullo sviluppo impiantistico e di componenti avanzati di pompe di calore e/o refrigeratori ad adsorbimento di vapore di gas, la presente linea proposta da ENEA è dedicata all'individuazione e allo sviluppo di materiali non convenzionali e innovativi da utilizzare come substrati solidi ad elevata efficienza. Tali materiali, se compatibili con le tecnologie sviluppate, potranno anche essere utilizzati negli impianti sviluppati da ITAE. In tal senso le attività s'integrano perfettamente e saranno anche favorite dal consolidato rapporto di collaborazione tradizionalmente in essere.

Per quanto riguarda, il tema dell'incremento dell'efficienza dei processi industriali attraverso l'utilizzo dei cascami termici, in questo settore

- ENEA svolge attività di ricerca volte alla realizzazione di un sistema prototipale basato su un nuovo ciclo frigorifero adsorbimento per il recupero di calore di scarto a bassa temperatura e con l'utilizzo di materiali a basso costo.
- RSE, a valle di una rassegna delle tipologie di cascami termici riutilizzabili nei settori industriali energivori, sviluppa nuovi materiali adatti a superare le problematiche di erosione e corrosione insite negli assetti impiantistici realizzabili per lo sfruttamento dei cascami medesimi.

In merito agli studi su alcuni settori specifici industriali:

- ENEA conduce ricerche per la definizione di indicatori di prestazione energetica, specifici della realtà italiana, sulla base dell'analisi del database delle diagnosi energetiche svolte dalle aziende (obbligo imposto dal D.lgs.102/2014), arricchito con informazioni aggiuntive raccolte ad hoc, e sviluppo di una piattaforma sw per l'individuazione delle priorità di interventi di riqualificazione energetica nelle PMI.
- RSE conduce ricerche volte a condurre un assessment tecnologico ed energetico dei principali settori per definire le potenzialità di efficientamento sulla base delle migliori tecnologie riportate dai documenti

BREF europei. E' poi realizzato un focus settoriale (con analisi di interventi di efficienza energetica), riguardanti sia i processi produttivi che i servizi, realizzati dai settori industriali italiani, con l'obiettivo di individuare le tecnologie e le misure di efficientamento adottate dalle industrie in esame. Si studiano gli interventi effettuati dai casi studio dei settori acciaio e alimentare per applicare criteri di replicabilità utili a valutare il risparmio già conseguito a tutto il settore nazionale, e per ottenere un potenziale di risparmio futuro, differenziato per consumi elettrici e termici.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

L'attività di studio, ricerca e verifica sperimentale di tecnologie efficienti nei processi industriali consente di acquisire e diffondere informazioni tecnico-scientifico a vantaggio del sistema produttivo, che se ne può giovare in termini di competitività contribuendo direttamente alla crescita economica del Paese, e dei cittadini in generale, che ne ricevono un beneficio in termini di riduzione della bolletta energetica nazionale e di miglioramento della sostenibilità ambientale.

Le attività rivolte al controllo del mercato acquistano sempre maggiore importanza soprattutto in tutti quei settori in cui l'energia elettrica (ed il suo consumo) diventa elemento cardine. Nel contesto europeo, l'Italia gioca un ruolo da pioniere in questo ambito, è infatti il primo Paese a divenire parte attiva per lo sviluppo di un sistema di controllo del mercato. Ad esempio la capillare diffusione dei motori a livello industriale, nell'ordine di oltre 19 milioni di unità installate ad oggi in Italia fa sì che i tre quarti dell'energia elettrica consumata nel settore industriale in Italia sia attribuibile al funzionamento dei motori elettrici, valore che corrisponde a circa il 40% del consumo elettrico nazionale. Per quanto riguarda la produzione dei motori elettrici è possibile affermare che attualmente in Europa e in Italia non esistono istituti di prova di parte terza che possano testare i motori in tutta la loro gamma (0,75-375 kW). Questo significa che prodotti che non rispondono ai requisiti imposti dai regolamenti vigenti circolano liberamente nel mercato e appesantiscono le bollette di utenti spesso ignari. La creazione, da parte di ENEA nel 2014 in accordo con ANIE, di uno specifico database consultabile dai potenziali acquirenti ha creato, da un lato, la possibilità per meglio orientarsi nel mercato confrontando le caratteristiche e l'efficienza dei prodotti in commercio, dall'altro lato, la trasparenza dei dati caratteristici diviene un altissimo valore aggiunto per le aziende che desiderano presentare al grande pubblico i propri prodotti certificati e conformi ai Regolamenti. Tuttavia non ha potuto risolvere il problema in maniera consistente. Considerando che motori non performanti possono consumare anche il 20% in più di quelli efficienti è evidente che l'investimento, pari a 400k€anno, richiesto nel presente progetto per allestire la facility per la verifica dei motori può produrre nella bolletta dell'utente una significativa diretta riduzione.

Un altro significativo esempio è rappresentato dai sistemi di saldatura industriale, che incidono in modo consistente sui consumi elettrici del settore produttivo: si stima che i sistemi di saldatura utilizzati in Europa siano 7,1 milioni e che il consumo complessivo di energia per i processi di saldatura industriale, compresi i processi di saldatura delle materie plastiche, rappresenti il 4,5 % del consumo energetico lordo dell'Unione europea (EPTA, 2007). Ciononostante allo stato attuale non esiste un sistema di etichettatura energetica (labeling) per queste apparecchiature industriali né è stato designato un programma di verifica e controllo. Il sistema di labelling rappresenta uno strumento valido per gli operatori nella scelta per la sostituzione dei processi di saldatura energivori, specialmente se integrato in un sistema di premialità basato sull'emissione di certificati bianchi alle aziende che investono in efficienza energetica nel settore della produzione per saldatura, e può innescare un volano economico del sistema nazionale sia in termini di risparmi energetici sia in termini di competitività globale grazie alla promozione in investimenti per l'applicazione di processi di fabbricazione avanzata. Si stima che grazie all'applicazione di tecniche più efficienti è possibile ridurre i consumi elettrici del settore della saldatura in Europa del 12,5% in 5 anni. Se commisuriamo i consumi nel settore della saldatura in proporzione al contributo del PIL Italiano all'Europa (circa il 15%) questo implica una riduzione di consumi per il nostro paese di circa 75 GWh, che equivale ai consumi annui di una piccola cittadina di 25000 abitanti (3000 kWh/anno per abitazione) a fronte di un investimento annuo di 400-500k€/anno per la R&S.

L'allestimento in ENEA di due nuove facility presso cui le aziende potranno procedere alla verifica dei motori elettrici e dei sistemi di saldatura industriale (queste strutture si aggiungono ad altre già presenti per la verifica di lampadine, frigoriferi e congelatori, forni, pompe di calore e trasformatori elettrici) e

l'attività di definizione/monitoraggio dei requisiti minimi di efficienza (requisiti di ecodesign) nel caso di apparecchi di largo consumo (televisori, lavatrici, aspirapolvere e frigoriferi/frigocongelatori, forni elettrici, lavastoviglie, ecc.) costituiscono un oggettivo vantaggio per le autorità competenti nell'ottica di un efficace attività di controllo del mercato, e per il settore produttivo nella prospettiva di bloccare gli effetti negativi, più volte denunciati dagli operatori, di una concorrenza sleale (ad es. il phase-out di prodotti, che ben rispondono alle specificità nazionali, ma non sempre alla strategia di sviluppo tecnologico ipotizzata dai consulenti della Commissione Europea con evidenti ricadute sulle potenzialità del mercato delle suddette aziende) e per i cittadini che inconsapevoli spesso acquistano prodotti apparentemente a norma, ma che in realtà non possiedono le performance dichiarate. Inoltre, la ricerca e l'analisi della potenziale circonvenzione dei metodi di misura e della legislazione, che sfrutta da un lato lacune nella legislazione e dubbi interpretativi nelle condizioni di prova e dall'altro veri e propri artifici elettronici per immettere sul mercato prodotti non rispondenti alle norme, può permettere un significativo risparmio energetico, stimato in 17 GWh/anno, mentre la definizione di un efficace e fattibile sistema di verifica della conformità dei trasformatori e dei grandi ventilatori industriali eviterà la perdita nell'Unione Europea di 0,85 TWh/anno per i ventilatori e 0,4 TWh/anno per i trasformatori.

L'innovazione dei processi industriali produce sempre vantaggi in termini di riduzione dei consumi energetici ed aumenta la competitività delle imprese, generalmente riguarda modifiche significative nelle tecniche di produzione, nella dotazione di attrezzature o software, o nell'organizzazione produttiva al fine di rendere l'attività aziendale economicamente più efficiente e sostenibile dal punto di vista ambientale. In tale contesto si inseriscono i subtask 1-2-3 della linea "b".

La metodologia innovativa proposta per l'efficientamento del processo di essiccazione industriale della pasta (linea b1) consente di recuperare e rigenerare tutti i cascami termici e idrici associati al processo di essiccazione mediante un parziale trasferimento dei consumi termici verso quelli elettrici, con significativa riduzione del consumo complessivo di energia primaria e creazione di condizioni più favorevoli all'applicazione di soluzioni cogenerative. Nel caso di studio considerato di un impianto di essiccazione che consuma circa 350 kW termici e 60 kW elettrici per tonnellata di pasta prodotta in un'ora, l'adozione del sistema di recupero dei cascami termici comporterebbe il consumo di 180 kW termici e 85 kW elettrici, rispettivamente, con una conseguente riduzione del consumo di energia primaria di oltre il 25%. Sulla base dei costi medi di un ipotetico utente industriale che produca 80.000 tonnellate di pasta l'anno, una riduzione del 25% dell'energia primaria si tradurrebbe in una riduzione del 18-20% dei costi totali per l'energia, corrispondente a circa 250 k€/anno. Ipotizzando un impianto di recupero da 1.7 MW termici l'investimento si ripagherebbe in circa 4 anni a fronte di un costo finito non superiore a 1 M€ corrispondente a poco meno di 600€/kW termico. A questo stadio delle attività, tale obiettivo appare realisticamente raggiungibile poiché non si prevede l'utilizzo di elementi critici che non siano suscettibili di riduzione dei costi per effetto scala. Infatti, le tipologie di apparecchiature richieste per la realizzazione del sistema si basano su tecnologie mature, caratterizzate da costi compatibili con l'applicabilità industriale e già utilizzate in altri settori per processi simili di recupero termico come, ad esempio, le ruote entalpiche. Per quanto riguarda l'implementazione dei letti adsorbenti, nella valutazione delle effettive caratteristiche applicative dei materiali individuati come potenziali candidati per l'applicazione, si terrà conto prioritariamente dell'esistenza di prodotti di facile reperibilità commerciale, aventi proprietà caratterizzanti efficaci e di maggior convenienza dal punto di vista economico.

Per quanto riguarda l'efficientamento energetico dei processi produttivi nell'industria chimica (linea b2), un recente (2013) studio congiunto dell'International Council of Chemical Associations (ICCA), International Energy Agency (IEA) e della Society for Chemical Engineering and Biotechnology (DECHEMA) descrive il cammino che il settore dell'industria chimica deve intraprendere per conseguire benefici nel campo dell'efficienza energetica. Tale cammino evidenzia il ruolo della catalisi nell'ambito di processi di efficientamento basati sul miglioramento tecnologico volti al risparmio energetico. In tal senso si inserisce l'attività proposta che mira all'implementazione di un reattore a scala di laboratorio basato sulla catalisi magnetica per induzione, tecnica che è stata designata come "game-changer", ovvero in grado di determinare un cambio di paradigma di nuovi processi catalitici. Tale reattore sarà messo a disposizione per caratterizzare nuovi catalizzatori (costituiti da nanoparticelle magnetiche) da impiegare per l'efficientamento dei processi industriali. Il potenziale di tale tecnica trova riscontro nelle raccomandazioni rinnovate ai vari stakeholder (principalmente l'industria, i governi e l'accademia) per conseguire gli impatti

descritti nella roadmap convergono verso maggiori investimenti in R&D e nella messa in pratica di nuove vie catalitiche, in particolare nel settore della chimica di base (produzione di ammoniaca, etilene, propilene e metanolo) che è in assoluto il settore più energivoro.

Le attività relative alla linea “c” (calcolo di benchmark e valutazione dei potenziali di risparmio energetico di processi industriali), che vedono la partecipazione di tutte le principali associazioni di categoria, mirano alla valorizzazione del database delle diagnosi energetiche (art. 8 D.Lgs. 102/2014) a disposizione di ENEA allo scopo di caratterizzare il contesto energetico del sistema produttivo italiano e fornire indicazioni mancanti allo stato attuale. L’analisi accurata degli interventi individuati, dei relativi costi, dei tempi di ritorno previsti e del potenziale di risparmio energetico risulta essere determinante al fine anche di individuare possibili scenari energetico-economici che possano essere utili al decisore politico per individuare le più opportune politiche energetiche a livello nazionale per favorire e stimolare l’efficienza energetica nelle imprese. Il numero di interventi con un tempo di ritorno inferiore ai 5 anni e che le aziende tramite le diagnosi energetiche hanno individuato come necessari risultano pari a circa 14.000, dovrebbero far conseguire risparmi per 1,2Mtep/a (al loro compimento) e produrre investimenti pari a 1,6 Mld di euro.

Le attività proposte mirano alla valorizzazione di questi dati nell’ottica di fornire una base di conoscenza con cui costruire un sistema di supporto alle decisioni per facilitare il percorso delle imprese, soprattutto se PMI, nell’individuazione e realizzazione di interventi di riqualificazione energetica e riorganizzazione di processi produttivi. Spesso è proprio la difficoltà di affrontare tale percorso che scoraggia le aziende ad avviare processi di trasformazione e rinnovamento. I dati della tabella, sebbene relativi alle grandi imprese e imprese energivore, possono dare un’idea del potenziale in termini di investimenti e di risparmi che è necessario stimolare e, di conseguenza, i benefici incrementali che si possono indurre sulle bollette degli utenti.

L’attività proposta da ENEA nella linea “d” mira allo sviluppo di una metodologia multicriteriale e (semi)automatica di supporto alla progettazione di apparecchiature campi elettrici pulsati (Pulse Electric Field - PEF) e alla realizzazione di un prototipo. Nel settore industriale, l’inattivazione batterica mediante PEF rappresenta un trattamento energeticamente migliorativo per alcuni processi ad elevato impatto sociale e ambientale. I settori che potrebbero beneficiare del trattamento di inattivazione microbica sono molteplici e tra questi il settore alimentare è sicuramente quello più promettente e con grande impatto sul territorio nazionale. I vantaggi principali delle tecnologie PEF rispetto ai trattamenti termici tradizionali consistono nel limitato consumo energetico in assenza di scarti o fumi inquinanti e nella migliore preservazione delle proprietà fisiche, nutrizionali e sensoriali del prodotto. Tuttavia l’applicazione di tali tecniche nelle industrie è praticamente assente, a causa della mancanza di studi scientifici che, ad oggi, limita la generalizzazione dei risultati ottenuti e la diffusione delle metodiche proposte. In pratica, i costi potrebbero ridursi sia per l’eliminazione di alcune fasi della catena di conservazione, conseguentemente, l’insieme delle lavorazioni ad essa connesse, e sia perché l’energia richiesta per l’applicazione potrebbe essere generata con fonti di energia rinnovabili (ad es. solare), rendendo il processo potenzialmente energeticamente autonomo. Da alcune sperimentazioni nel settore vitivinicolo emerge che l’applicazione di questa tecnica prevede una bassa richiesta di energia intorno a 320 kJ/litro di prodotto inattivato e, dunque, si configurano buoni margini di riduzione dei consumi. Grazie ad alcuni contatti intercorsi sul tema specifico con Federalimentare si è evidenziato un particolare interesse ad avviare delle applicazioni pilota.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Studio e applicazione di tecnologie per l’efficientamento di macchinari

a.1 Potenziamento della facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza

Il tema dell’efficienza energetica assume un ruolo primario nell’ambito dell’installazione di un motore elettrico anche perché il costo dell’energia consumata rappresenta, nel ciclo di vita utile del prodotto, una porzione importante del total cost of ownership (TCO).

Da un punto di vista legislativo la Comunità Europea ha affrontato il problema con il Regolamento della Commissione 640/2009, adottato il 22 luglio 2009 il quale specifica i requisiti in materia di progettazione ecocompatibile per i motori elettrici definendo le specifiche per l'appartenenza alle classi di efficienza minima (IE2, IE3) e i tempi di introduzione delle suddette classi di efficienza:

- dal 16 giugno 2011 i motori immessi sul mercato devono essere in classe di efficienza IE2;
- dal 1 gennaio 2015 i motori con potenza tra 7,5 e 375 kW dovranno essere in classe di efficienza IE3 oppure IE2 se accoppiati ad inverter;
- dal 1 gennaio 2017 la classe di efficienza imposta per i motori con potenza tra 0,75 e 375 kW sarà IE3 oppure IE2 se esse verranno accoppiati ad inverter.

Nell'ambito del Regolamento 2009/640/CE, il Ministero dello Sviluppo Economico ha riconosciuto in ENEA il suo braccio operativo per tutto ciò che riguarda l'ERP (Energy Related Products) e nell'ambito della Direttiva 2012/27/UE, recepita dal D.Ls. 102/2014, ha affidato a ENEA il compito di svolgere i controlli di conformità delle diagnosi energetica fatte nelle aziende energivore, dove spesso vengono impiegati motori elettrici e, più in generale, di stimolare le PMI all'uso di tecnologie efficienti.

All'interno del progetto relativo alla Ricerca di Sistema per il triennio 2012-2014, l'ENEA ha sviluppato un'attività per la realizzazione di una facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza; obiettivo di questa linea di attività per il triennio 2015-2017 è il potenziamento della facility con lo scopo di ampliare la fascia di mercato dei motori che, ad oggi, possono essere sottoposti a controllo e verifica così come previsto dal sistema di sorveglianza del mercato.

Con il supporto di ANIE Energia è stato svolto uno studio di mercato che ha consentito di ricavare una stima della distribuzione sia della domanda da parte del mercato, sia dell'attuale utilizzo dei motori elettrici in campo industriale in funzione delle specifiche tecniche degli stessi. Tale risultato è stato reso possibile grazie anche all'analisi dei dati contenuti sul portale realizzato da ENEA (<http://motorielettrici.enea.it>).

Alla luce dei risultati ottenuti e delle risorse disponibili è stata individuata una gamma di motori sul quale indirizzare la ricerca e sviluppo definendo il campo di applicazione sulla quale far operare la facility. Tale scelta ha fatto sì che si potessero creare le condizioni per una fase di start up del sistema che opera in un intervallo di 0,12-15 kW in alta efficienza. Si rende, ora, necessaria una fase di potenziamento della facility che, non solo consenta di confermare i risultati ottenuti ma, permetta di passare ad un ampliamento delle possibilità di azione sul mercato potendo verificare e controllare anche motori di potenza superiore.

La configurazione potenziata consentirà di testare motori fino a 55 kW. Tale soluzione prevede un upgrade della strumentazione esistente consentendo l'integrazione degli strumenti già presenti con i nuovi dispositivi. La progettazione della nuova componente sarà preceduta da uno studio preliminare di fattibilità che permetta una piena compatibilità della soluzione integrata.

La seconda fase delle attività prevede la realizzazione dei primi test su motori messi a disposizione, su attività volontaria, dai produttori (principalmente quelli iscritti al portale <http://motorielettrici.enea.it>). Le prove iniziali si baseranno su range di potenze relativamente basse, per poi proseguire con potenze maggiori. Il numero di verifiche coprirà un vasto panorama delle diverse possibilità di configurazione sui diversi range di potenza.

La norma IEC 61034-2-1 infatti afferma che "E' difficile stabilire regole precise per la determinazione del rendimento. La scelta del metodo di prova da utilizzare dipende dalle informazioni richieste, dalla precisione richiesta, dal tipo e dalle dimensioni della macchina interessata e dall'apparecchiatura di prova disponibile (alimentazione, carico o macchina di trascinamento).

Poiché il metodo di prova deve essere scelto tra le procedure con incertezza minore e la ISO/IEC 17025 prescrive che un laboratorio di taratura, o un laboratorio di prova che esegue le proprie tarature, deve avere e deve applicare una procedura per stimare l'incertezza di misura per tutte le tarature e tipi di taratura, si rende necessario identificare tutte le componenti dell'incertezza e fornire una stima ragionevole basata sulla conoscenza del metodo e sullo scopo della misurazione facendo uso, per esempio, delle esperienze precedenti e della validazione dei dati.

All'interno di questa fase di attività sarà, quindi, effettuata un'analisi di tutte le componenti di incertezza e si elaborerà un metodo per la validazione dei risultati basato su una stima ragionata della qualità del processo di misurazione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti

Principali collaborazioni: ANIE Energia, Università dell'Aquila

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Tecniche di efficientamento per sistemi di microcogenerazione

L'evoluzione della normativa inerente i Sistemi Efficienti di Utenza (SEU), strumenti definiti dal decreto legislativo 115 del 2008 ma rimasti di fatto inutilizzabili sino al rilascio della delibera 578/2013/R/eel dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, rende nuovamente attuale il tema della possibile diffusione della micro cogenerazione, tematica che era stata investigata da ENEA, con anche la collaborazione di FIRE, nel corso del PAR 2009-2011. Numerosi sono stati inoltre gli stimoli da parte di imprese produttrici di tale tecnologia ad un approfondimento dello studio del possibile efficientamento delle sue applicazioni reali.

Si propone un'attività, articolata su tre anni, che prevede come principali obiettivi: l'analisi dell'impatto della normativa inerente i SEU sugli scenari applicazione della micro cogenerazione; lo sviluppo di strumenti di modellazione matematica che consentano di proporre opportunità di miglioramento dell'efficienza delle applicazioni reali della micro cogenerazione; una campagna di studio sperimentale su un'applicazione reale in campo (da individuare in collaborazione con un'azienda produttrice del settore) che consenta di caratterizzarne le principali criticità; l'individuazione di una proposta di efficientamento del caso reale oggetto dello studio sperimentale; l'individuazione, a seguito della modellazione numerica e dello studio sperimentale, delle principali possibili tecniche di efficientamento di applicazioni in campo di sistemi di cogenerazione.

Le attività del primo anno sarà principalmente incentrate sulle seguenti attività:

- **Analisi della normativa inerente i Sistemi Efficienti di Utenza**
L'attività è volta all'analisi della normativa attualmente vigente sulla Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR) e sui Sistemi Efficienti di Utenza (SEU). L'ottenimento della qualifica di SEU, rilasciata dal GSE, comporta il riconoscimento di condizioni tariffarie agevolate sull'energia elettrica consumata all'interno del Sistema e non prelevata dalla rete, limitatamente alle parti variabili degli oneri generali di sistema. Per tale ragione sarà valutato l'impatto di tale normativa sugli scenari di diffusione della micro-cogenerazione, valutando anche quali sono i settori che possono potenzialmente trarne maggiore beneficio.
- **Sviluppo di un modello di simulazione di un micro-cogeneratore con motore a combustione interna**
Sarà sviluppato un modello di simulazione dinamico di un microcogeneratore con motore a combustione interna alimentato a gas naturale. Il modello dovrà consentire la valutazione delle efficienze energetiche di un microcogeneratore al fine di consentire, in un futuro, la valutazione di eventuali opportunità di miglioramento di tali efficienze ed una sua applicazione ad ampio spettro.
La validazione del modello matematico sarà realizzata a partire da dati sperimentali di uno o più unità di microcogenerazione disponibili in commercio ottenuti da uno o più produttori del settore, che sarà coinvolto nell'attività per mezzo di un accordo di partenariato.

Risultati/Deliverable:

- Relazione sintetica dell'attività di collaborazione il Politecnico di Torino

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino, Dipartimento DENERG

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.3 La progettazione ecocompatibile all'interno dell'economia circolare

all'interno del cosiddetto pacchetto dell' "economia circolare" si realizzano su tre piani, nazionale, europeo ed internazionale per prodotti del settore industriale, professionale e domestico.

Sul piano comunitario è infatti necessario collaborare con la Commissione Europea, a livello dei vari Comitati e Gruppi di Esperti nazionali, nella preparazione di queste politiche cioè nella definizione degli parametri tecnici, energetici, prestazionali e dell'efficienza dei materiali (riparabilità, durabilità, smontabilità

e riusabilità) da includere nei regolamenti di implementazione e contemporaneamente supportare il MISE nella negoziazione di queste misure con gli altri Stati Membri e la stessa Commissione Europea sui tavoli negoziali a Bruxelles. In tale ambito si inquadra anche la partecipazione ai lavori per la revisione della direttiva quadro etichettatura energetica: la nuova legislazione è ora allo stadio di negoziazione fra Consiglio e Parlamento Europeo e dovrebbe entrare in vigore dal gennaio 2017. Gli studi preparatori in corso sui prodotti già etichettati permetteranno alla Commissione di proporre la revisione delle etichette esistenti nella seconda annualità dell'AdP. Su un piano più strettamente nazionale è invece essenziale garantire l'attuazione (applicazione, monitoraggio e controllo) dell'etichettatura e dei requisiti di ecoprogettazione, monitorando la reale presenza delle etichette nei negozi e verificando la conformità dei prodotti immessi sul mercato ai requisiti di legge. In questo modo si proteggono i consumatori e l'industria nazionale dalla concorrenza sleale. Non meno importante infine l'aspetto della misurabilità dei parametri coinvolti nelle politiche per l'efficienza energetica, e quindi la partecipazione ai lavori di preparazione degli standard (metodi di misura), propedeutici alla definizione prima e alla misura poi dei parametri tecnici dei prodotti coperti da legislazione comunitaria. A ciascuno di questi livelli corrispondono attività diverse, che necessitano di personale tecnico-scientifico qualificato e competente e di adeguate risorse economiche, e che sono finalizzate a proteggere l'industria nazionale - ma anche quella europea - dalla concorrenza sleale delle importazioni di prodotti non-conformi, assicurare il consumatore sulle reali prestazioni energetiche, funzionali e dell'efficienza dei materiali per i beni acquistati, al Paese di raggiungere gli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica pianificati in risposta agli obblighi comunitari, e all'intera Unione Europea di aumentare la conoscenza dei nuovi concetti relativi alla cosiddetta "economia circolare".

Azioni globali previste per il triennio sono:

- Supporto al MISE per la negoziazione della legislazione sull'etichettatura energetica e l'ecoprogettazione per i prodotti industriali, professionali e domestici, per identificare i modelli a più elevata ecoefficienza e permetterne la loro diffusione/commercializzazione
- sorveglianza del mercato in Italia: cooperazione con il MISE/Unioncamere per la verifica della conformità dei prodotti coperti da regolamenti di etichettatura ed ecodesign
- sorveglianza del mercato a livello europeo: partecipazione progetto comunitario INTAS - *Industrial and tertiary product testing and application of standards*, sulle verifiche per i trasformatori e i prodotti della ventilazione per il settore terziario. Il progetto inizierà operativamente durante la prima annualità dell'AdP e proseguirà per i successivi 36 mesi
- standardizzazione: il SC59D della IEC si occupa della standardizzazione mondiale degli apparecchi per il lavaggio domestico e professionale, sono in fase di preparazione - che si dovrebbe concludere entro i prossimi 3 anni - i nuovi standard mondiali per questi apparecchi in cui verranno anche descritte le condizioni di prova per la capacità di risciacquo
- monitoraggio: verrà verificata la presenza delle etichette energetiche nei punti vendita dei prodotti etichettati mediante una indagine realizzata da una società di analisi del mercato in un campione di negozi in tutto il paese. L'indagine verrà poi realizzata nuovamente nella terza annualità per verificare l'applicazione della nuova etichetta energetica entrata in vigore nel gennaio 2017 e i risultati saranno confrontati per capire se la nuova etichetta sarà considerata ugualmente efficace dai negozianti e dai consumatori.

Nella prima annualità i temi del triennio si concentreranno sull'efficacia dell'identificazione degli apparecchi e prodotti più ecoefficienti immessi presenti sul mercato attraverso l'attuale etichetta energetica, sulla negoziazione a livello comunitario degli elementi della nuova etichetta energetica che dovrebbe entrare in vigore a partire dal gennaio 2017 e sulla sorveglianza del mercato per i frigoriferi e i grandi prodotti industriali. Azioni e risultati attesi nella prima annualità sono:

- supporto al MISE per la negoziazione della nuova legislazione sull'etichettatura energetica
- supporto al MISE per la negoziazione dei regolamenti di attuazione della direttiva ecoprogettazione per i prodotti professionali e commerciali
- sorveglianza del mercato in Italia: verifica della conformità dei frigoriferi domestici, in cooperazione con MISE/Unioncamere
- sorveglianza del mercato a livello europeo
- standardizzazione: partecipazione alle attività dell'IEC SC59D per la standardizzazione mondiale degli apparecchi per il lavaggio domestico e professionale

- monitoraggio: verrà verificata la presenza delle attuali etichette energetiche nei punti vendita dei prodotti etichettati mediante una indagine realizzata da una società di analisi del mercato in un campione di negozi in tutto il paese, i risultati ottenuti saranno poi confrontati con quelli della stessa azione ripetuta nella terza annualità.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

b. Efficiamento di processi industriali

b.1 Materiali innovativi per lo sviluppo di sistemi per il recupero energetico da cascami termici in ambito industriale

Il recupero energetico da cascami termici in ambito industriale costituisce un'importante fonte di miglioramento dell'efficienza energetica nei sistemi produttivi.

Fonti termiche di scarto possono essere vantaggiosamente utilizzate quali fonti di alimentazione d'impianti di refrigerazione e/o condizionamento. Tuttavia le tecnologie correnti, tradizionalmente basate su sistemi allo stato liquido, ad esempio acqua/ammoniaca, permettono di ottenere alti livelli di efficienza quando alimentate con temperature relativamente elevate (circa 200-300°C), mentre risultano totalmente inefficienti a temperature inferiori ai 100°C. Differentemente dalle possibilità consolidate di realizzare recuperi termici da calori di scarto a temperature elevate, il recupero termico da fonti a bassa temperatura presenta quindi criticità ancora sostanziali.

Specifiche interazioni chimico-fisiche di assorbimento e/o adsorbimento di un fluido su opportuni materiali allo stato solido possono essere utilizzate per ottenere il recupero di calore di scarto a temperature inferiori a 100°C. Infatti, materiali assorbenti e/o adsorbenti possono interagire con fasi gassose e tale fenomeno può essere sfruttato per lo sviluppo di dispositivi potenzialmente efficaci anche a temperature dell'ordine di 70-80°C. Tra questi materiali sono da citare le leghe metalliche idrurizzabili per i sistemi ad assorbimento e i materiali a elevata superficie specifica (zeoliti, materiali organici e ibridi metallorganici) per l'adsorbimento.

In ENEA sono presenti consolidate competenze riguardanti lo sviluppo di sintesi e trattamento di materiali assorbenti e adsorbenti quali leghe metalliche idrurizzabili e materiali a elevata superficie specifica. Recentemente, le competenze presenti hanno permesso la partecipazione nel ruolo di leader progettuale al progetto europeo HP-ACS¹¹. Le attività svolte hanno portato a una realizzazione prototipale basata sull'utilizzo di leghe metalliche assorbenti in grado di recuperare calore da fonti a temperature dell'ordine di 100-130°C con produzione di energia frigorifera. Sebbene il sistema sviluppato utilizzi materiali di tipo AB5 di alto costo, il progetto ha dimostrato la fattibilità tecnologica di un recupero energetico da fonti termiche a bassa temperatura mediante processi di assorbimento. Contemporaneamente tra i risultati progettuali è stata evidenziata la necessità di individuare e utilizzare materiali con costi contenuti che possano sostituire efficacemente le leghe AB5 anche migliorandone le prestazioni. In particolare sono da valutare in maniera organica leghe non contenenti terre rare e/o altri materiali sostitutivi.

Si propone, a partire dai risultati già assunti in ambito progettuale, un'attività di studio finalizzata all'individuazione di materiali a basso costo da utilizzare quali substrati solidi assorbenti e/o adsorbenti in grado di permettere recuperi energetici a partire da cascami termici a bassa temperatura e/o da utilizzare quale stadio ad adsorbimento nello sviluppo di un ciclo frigorifero a ciclo aperto. In particolare sarà eseguito uno studio delle proprietà chimico fisiche di interesse dei materiali in oggetto dei quali sarà valutata quale preminente sia la possibilità di acquisizione sul mercato, se presenti, sia le possibilità di sintesi diretta e i costi associati. Al termine di tale analisi saranno selezionati alcuni materiali di particolare interesse da utilizzare come substrati solidi per gli sviluppi implementativi da portare a termine nelle successive annualità dell'AdP.

¹¹ Progetto europeo HP-ACS "Metal Hydride Heat Pump for Waste Heat Recovery in Vans Refrigeration Systems", FP7-SME-2012-315103; www.hp-acs-project.eu

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Industriale

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

b.2 Studio di catalizzatori magnetici a elevata attività con finalità di efficientamento energetico dei processi produttivi nell'industria chimica

Una delle principali criticità del settore industriale della chimica di base e della chimica fine è il costo dell'energia, assai penalizzante per le imprese. Pertanto, ogni intensificazione dei processi produttivi, per esempio mediante l'utilizzo di nuovi catalizzatori più attivi e/o selettivi, si traduce in risparmio concreto.

La produzione chimica industriale italiana è uno dei comparti più pronti all'innovazione. Rispetto a un'immagine stereotipata di un'industria nazionale che non fa ricerca, la chimica investe in Italia circa 480 milioni di euro in R&S, alla quale dedica oltre 4.900 addetti con un'incidenza sull'occupazione pari al 4.2% contro una media manifatturiera del 2.6%. Il solo settore della sintesi dei principi attivi farmaceutici è tuttora trainante e in grado di competere con le produzioni in Asia in virtù dell'importanza della qualità e dell'affidabilità dei produttori che deriva da un continuo investimento in innovazione. Secondo una recente indagine di Federchimica¹² circa il 3% del fatturato del settore è destinato alla ricerca applicata allo sviluppo per l'ottimizzazione dei processi produttivi.

Nella produzione chimica l'utilizzo di nuovi materiali catalizzatori a elevata efficienza può comportare significativi incrementi di resa e quindi di efficienza di reazione e indurre conseguentemente dei sostanziali incrementi nell'efficienza dell'energia utilizzata nei singoli processi (intensificazione dei processi produttivi). In tale ambito lo sfruttamento delle proprietà magnetiche di alcuni materiali è già argomento che si sta affermando con forza, grazie soprattutto all'efficiente meccanismo di recupero del catalizzatore ottenuto mediante l'applicazione di un appropriato campo magnetico in fase post-produzione. La separazione magnetica, infatti, permette di non effettuare differenti processi post-reazione (ad esempio centrifugazione, filtrazione etc.) con sostanziali vantaggi in termini di consumi energetici, nonché di recupero del materiale catalizzatore spesso molto costoso. Per sua natura, la separazione magnetica è virtualmente estendibile a ogni sistema reattivo, a patto che possa essere ideato e sintetizzato un materiale magnetico opportuno per il processo su cui legare chimicamente il materiale cataliticamente attivo.

Un ulteriore e importante vantaggio nell'utilizzo di catalizzatori con proprietà magnetiche consiste nel loro utilizzo in Reattori Magneticamente Stabilizzati (RMS). In questo caso si sfruttano le proprietà magnetiche dei materiali per fluidizzare il letto catalitico mediante applicazione di un campo magnetico esterno in alternativa all'induzione della fluidizzazione mediante la movimentazione di rilevanti flussi di gas o liquido con notevoli vantaggi diretti in termini energetici. Se utilizzati in alternativa al letto fisso, s'ipotizzano ugualmente vantaggi in termini energetici grazie ad un'intensificazione dei processi produttivi a parità di consumo energetico. Una recentissima sperimentazione in campo relativa alla reazione di hydrorefining del caprolattame (precursore del nylon6) mediante catalizzatori a base di nichel ingegnerizzati in forma RMS ha dimostrato un aumento di efficienza di resa di ben dieci volte con utilizzo di catalizzatore ridotto del 60% se paragonato alla tecnologia tradizionale dei reattori discontinui.

Nello studio si propone di verificare la possibilità di progettare e sviluppare nuovi sistemi catalizzatori a supporto magnetico da utilizzare ai fini dell'efficientamento energetico di processi produttivi in ambito chimico industriale, con particolare focalizzazione al sistema nazionale (chimica farmaceutica, petrolchimico, sintesi di materie plastiche, sviluppo di coatings, prodotti avanzati per l'edilizia...). Tale studio prenderà in analisi una serie di processi già consolidati nell'industria chimica nazionale e valuterà i potenziali benefici in termini di risparmio energetico legati all'utilizzo di nuovi catalizzatori magnetici, con particolare attenzione a processi particolarmente energivori tipici della chimica di base e processi meno energivori ma molto diffusi nel territorio nazionale quali la chimica fine.

Il rapido sviluppo di strategie sintetiche di nanomateriali magnetici con composizione, struttura e dimensioni controllabili, offre la possibilità di vagliare l'utilizzo di nuovi concetti di reattori finalizzati al

¹² L'Industria Chimica in Italia: Rapporto 2014-2015. <http://www.federchimica.it/DATIEANALISI/ConoscereIndustriaChimica.aspx>

risparmio energetico mediante processi catalitici innovativi. L'utilizzo di nanoparticelle magnetiche nel settore della catalisi sarà analizzato dettagliatamente nelle sue molteplici possibilità applicative:

- come supporto passivo: tale approccio consiste nel supportare i catalizzatori tradizionali su substrati magnetici al fine di ottimizzarne il recupero, risparmiando l'energia necessaria ai processi separativi, prefigura il miglioramento di tecnologie già in uso. Il processo di produzione industriale non viene sostanzialmente modificato e gli investimenti da parte dell'industria sarebbero minimi;
- come supporto attivo: la possibilità di sostituire i tradizionali metodi di fluidizzazione dei letti (movimentazione di grossi volumi di fluidi e quindi utilizzo di compressori e pompe) con una fluidizzazione sostenuta da campi magnetici si configura come una modifica di processo. Sarà necessario valutare lo stato attuale delle tecnologie riguardanti la realizzazione di reattori Magneticamente Stabilizzati e sull'impatto che essi potranno avere nella sostituzione dei reattori tradizionali. Da un esempio riportato in letteratura⁴ (primo impianto commerciale di refining del caprolattame che utilizza reattori stabilizzati magneticamente) la tecnologia si prospetta come vantaggiosa ed estendibile a processi energivori quali la metanazione del CO, l'idrogenazione selettiva dell'acetilene e l'oligomerizzazione di olefine. L'introduzione di questa tecnologia, fornendo nuove opportunità d'intensificazione di processi produttivi, peraltro nel caso specifico a una temperatura di 100°C inferiore a quella tradizionalmente utilizzata, promette sicuramente dei vantaggi in termini di risparmio energetico;
- come catalizzatore di processo e generatore di calore localizzato ad alta efficienza: questa terza possibilità, è al momento ancora in uno stadio di studio. Brevemente, consiste nell'utilizzare tali materiali sia come attivatori di reazione (nei processi dove le nanoparticelle catalizzano la reazione chimica oggetto d'interesse) che, sfruttandone le proprietà magnetiche, per operare un riscaldamento elettromagnetico a induzione. Il riscaldamento a induzione è una tecnica utilizzata per fornire calore rapidamente, in modo controllato e a elevatissima efficienza¹³. Tale ambito applicativo è ancora in fase di sviluppo¹⁴ ma si prefigurano risparmi energetici notevoli.

I risultati di tale studio permetteranno di focalizzare l'attività su specifici processi per i quali saranno in seguito implementate le relative attività sperimentali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Chimica

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.3 Sistema di supporto alle decisioni per il risparmio energetico nella produzione e nell'utilizzazione dell'aria compressa

L'energia elettrica utilizzata nel sistema aria compressa costituisce il 75% del costo del prodotto nell'intero arco del suo ciclo di vita (LCC). L'aria che viene utilizzata negli impianti industriali, infatti, pur essendo una materia prima presente in quantità praticamente illimitata in natura, deve essere filtrata, compressa a pressioni superiori a quella atmosferica e infine raffreddata e trattata per poi essere immagazzinata e trasportata prima di poter essere impiegata come vettore energetico. Tali impianti presentano quindi un elevato costo energetico sul quale si intende intervenire.

Si propone un'attività, articolato su tre anni, con i seguenti principali obiettivi:

- la definizione di metodiche e buone pratiche per la riduzione dei consumi degli impianti di produzione, trattamento, distribuzione e utilizzo dell'aria compressa;
- la realizzazione di strumenti di supporto alle decisioni (DSS, Decision Support Systems) in grado di indirizzare le aziende di vari settori produttivi verso l'adozione di tali buone pratiche secondo le modalità e le specifiche esigenze del settore e dell'impianto.

¹³ Duquenne P. et al. Application of inductive heating to granular media: temperature distribution in a granular bed. Int. Journal Heat Mass. Transfer (1993) 36 2473-2478

¹⁴ Houlding T.K., Rebrov E.V., Application of alternative energy forms in catalytic reactor engineering. Green Process Synth. (2012) 1 19-31

Il primo anno sarà principalmente incentrato sulle seguenti attività:

- Individuazione, raccolta, analisi comparativa e selezione di best practices energetiche riguardanti gli impianti di produzione, trattamento, distribuzione e utilizzo dell'aria compressa già esistenti, con particolare riferimento a quelle sviluppate da organismi internazionali per l'efficienza energetica e per lo studio degli impianti di compressione dell'aria (Carbon Trust, U.S. Department of Energy, Compressed Air and Gas Institute, ecc.).
- Output di questa prima attività sarà una collezione completa e ordinata di best practices, che potrà essere resa disponibile alle aziende.
- Individuazione dei principali campi di applicazione sul territorio italiano, analisi dell'uso dell'aria compressa nelle aziende italiane nei diversi settori produttivi e dello stato dell'arte per quanto riguarda l'efficientamento energetico di tali impianti.

Output di questa seconda attività sarà un documento che illustri il livello di avanzamento delle aziende italiane in questo ambito e quindi individui i principali gap da colmare attraverso la diffusione delle best practices.

- Sviluppo di un modello di maturità che, utilizzato in modalità di self-assessment, sia in grado di fornire alle aziende una fotografia del loro stato attuale di avanzamento in tale ambito e quindi le aiuti a delineare un adeguato percorso di sviluppo.

Output di questa attività sarà la struttura del modello di maturità pronta per l'utilizzo e quindi per essere messa a disposizione delle aziende.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico redatto in collaborazione con Università della Tuscia contenente la descrizione delle attività svolte.

Principali collaborazioni: Università della Tuscia

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

c. Metodologie per la caratterizzazione di processi industriali energivori: benchmark e valutazione dei potenziali di risparmio energetico

Definizione di metodologie per il calcolo dei rendimenti dei processi

Il settore industriale italiano rappresenta di per sé uno dei principali centri di costo energetico del nostro Paese (circa il 22%, elaborazione ENEA su dati forniti dal MISE, Rapporto Annuale Efficienza Energetica - giugno 2015).

Il decreto legislativo 102/2014 (recepimento della Direttiva Comunitaria 27 del 2012) ha introdotto per tutte le grandi imprese e per le aziende energivore l'obbligo di effettuare una diagnosi energetica per tutti i propri siti di produzione entro il 5 Dicembre 2015 e poi successivamente ogni 4 anni.

La realizzazione delle diagnosi, se prodotte conformemente a quanto prescritto, permetterà di avere un quadro completo e chiaro dei consumi (dei vari vettori energetici) del settore industriale, individuandone gli aspetti più critici e le relative possibili soluzioni. Le diagnosi pervenute permetteranno inoltre di individuare, a valle di analisi e studi, il potenziale di risparmio energetico e i valori di benchmark dei vari settori merceologici nell'ambito del settore analizzato.

Uno studio puntuale ed un'analisi statistica significativa delle diagnosi da parte di ENEA permetterà di individuare tra l'altro gli indici di prestazione più *significativi di* processo nel settore industriale e di individuare le tecnologie maggiormente adoperate nei vari settori merceologici caratterizzandone in modo più puntuale gli aspetti energetici.

In particolare, in collaborazione con varie associazioni di categoria e con i principali players dei vari settori industriali, si cercherà di individuare il potenziale di risparmio energetico di 3 settori specifici opportunamente scelti, ovvero il settore ceramico, quello metallurgico/siderurgico e cartario. Saranno inoltre individuati, per questi 3 settori, i valori di benchmark di riferimento, tramite analisi delle BAT e BREF, e saranno individuati tutta una serie di interventi di efficientamento energetico atti a ridurre i consumi e far

conseguire al sistema Paese, in termini di energia primaria risparmiata, gli obiettivi di efficienza energetica e di riduzione delle emissioni al 2020.

In collaborazione con l'Università di Padova si definiranno opportuni criteri che consentano di stabilire un ordine di priorità tra le tecnologie precedentemente selezionate, tali criteri considereranno non solo il potenziale applicativo della tecnologia (alto, medio, basso), ma anche altri fattori che potrebbero incentivare o disincentivare la loro applicazione come facilità di reperimento sul mercato ed impatto dell'intervento di efficienza energetica sul processo produttivo (fermi di produzione, modifiche di impianto, ecc.). Tali criteri insieme ad un numero selezionato di input provenienti dal sistema di monitoraggio (on-line) dell'impianto costituirà uno strumento di conoscenza che segue l'evoluzione dell'impianto fornendo al suo gestore, in termini di breve e medio periodo, suggerimenti specifici per interventi di ottimizzazione e /o riduzione dei consumi energetici e la stima dei relativi risparmi.

In aggiunta si vuole focalizzare l'attenzione sulla valutazione dell'impatto potenziale derivante dall'implementazione di strumenti tecnico-finanziari (diagnosi energetica, rete d'impresa, ecc.) all'interno di PMI del settore industriale, in termini di risparmio energetico e costi da sostenere per l'esecuzione dei necessari interventi di efficientamento.

In tal senso da una parte verrà proseguita la collaborazione con l'Università di Udine che predisporrà nell'implementazione la definizione e specificazione di un' applicazione informatica a partire dall'analisi del modulo 3EMT. In questa fase verranno definiti i modelli degli utenti, i requisiti funzionali e non (pragmatici ed edonici) mediante scenari, casi d'uso ed esplicitazione dell'ontologia. Tale analisi è necessaria per consentire, nelle fasi successive, la progettazione e l'implementazione di un modulo software che sarà reso disponibili gratuitamente e che permetterà al gestore di una PMI di fare una autovalutazione (off-line) dello stato di efficientamento della propria aziende e, in funzione di modelli di benchmark opportunamente sviluppati, ottenere una proposta di interventi da eseguire per operare un miglioramento. Inoltre verrà attivata una seconda collaborazione con il gruppo di ricerca del Dip. Economia e imprese, dell'Università della Tuscia allo scopo di mappare la diffusione territoriale di strumenti tecnico-finanziari, che sono già stati sfruttati per accrescere la capacità innovativa e la competitività sul mercato e che si intendono orientare all'efficienza energetica, di modellizzare da un punto di vista teorico le interazioni tra le imprese coinvolte, e di valutarne quindi, anche sulla base di stime econometriche, il grado di efficientamento energetico conseguito e potenziale, i relativi risparmi energetici e il conseguente effetto su competitività e capacità innovativa delle imprese coinvolte, presentando dei casi studio di riferimento, se disponibili.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Principali collaborazioni: Università di Udine, Università della Tuscia, Università di Padova

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

d. Impiego tecnologie elettriche nei processi industriali

d.1 Efficientamento dei processi di saldatura industriale

Il 99% delle saldature vede l'energia elettrica quale protagonista indiscussa, per questo motivo negli anni una grande attenzione da parte dei produttori di generatori di saldatura è stata posta nello sviluppo di sistemi a rendimento elettrico migliorato portandolo dal 60-70% dei vecchi generatori fino a oltre il 90% di quelli attuali. Tuttavia, il miglioramento all'efficienze energetica dei generatori ed alle tecniche di saldatura tradizionali non può superare i limiti intrinseci dei processi di saldatura ad arco che avviene in tutti i casi per effetto Joule con le perdite intrinseche della conduzione.

Nell'ultimo decennio la produzione di sorgenti laser ad elevato rendimento elettrico, superiore al 30% (sorgenti laser in Fibra, a Disco e a Diodo) ha rappresentato un interessante evoluzione di processo. Tali sorgenti associate alla realizzazione di saldature ad elevato rapporto di forma e basso apporto termico permettono di effettuare giunzioni con input energetici di un ordine di grandezza inferiori. Tali tecnologie sono ormai già ampiamente utilizzate nella saldatura di spessori sottili del settore automotive e del bianco, ma anche ad esempio in cicli produttivi automatizzati come la saldatura di tubi o pannellature piane nel

settore navale. Altra tecnica alternativa sviluppatasi nell'ultimo decennio è la saldatura Friction Stir Welding (FSW).

Pur tuttavia, manca ancora una valutazione di una terza parte sia sull'efficienza dei generatori ad arco tradizionali, sia dei generatori laser o degli impianti di saldatura FSW. Non esiste ancora alcun sistema di etichettatura energetica per i generatori di saldatura che comunque da un lato va legato alla mera efficienza energetica, dall'altra va correlato, in funzione del materiale e degli spessori, alla qualità dei processi realizzabili con quello specifico generatore/processo, un po' come per le lavatrici esiste l'efficienza energetica ma anche quella di efficacia della centrifuga.

L'attività prevista il primo anno riguarderà la definizione preliminare delle condizioni di testing per la valutazione dell'efficienza energetica delle tecnologie di saldatura Elecron Beam (EBW), Laser (LBW) a arco ad elettrodo infusibile "Tungsten inert gas Welding" (TIG) e Friction Stir Welding (FSW). Le quattro su menzionate tecnologie di saldatura rappresentano processi di benchmark iniziali per poter successivamente trattare processi di saldatura complementare quali la saldatura ad Arco Sommerso (SAW), la saldatura Plasma (PAW), la saldatura a filo continuo "Gas Metal Arc Welding" (GMAW) e più in generale tutte le altre varianti di tecnologie di saldatura ad arco che vengono maggiormente utilizzate per processi di saldatura ed affini (Cladding).

Sarà implementato il sistema di saldatura laser ad alta efficienza con componenti optoelettronici in grado di incrementare l'attuale potenza da 2300 W a 4000 W per garantire l'applicazione del processo in almeno due range di produttività sullo spessore di 5 mm di spessore.

Al fine di monitorare le reali energie assorbite dalla rete e prodotte sotto forma di vari output (Elettroni per il fascio elettronico, fotoni per il processo laser, correnti per il processo TIG ed attrito per il processo FSW) sarà definito con il supporto dell'Università Tor Vergata un sistema basato su sensori wireless per il monitoraggio delle energie complessive in ingresso (comprensive di tutti i componenti ausiliari se presenti) e di quelle in uscita. Questo permetterà di valutare il rendimento di trasformazione dell'energia e potrà essere un valido strumento di comparazione essenzialmente per la saldatura ad arco tradizionale come comparazione fra generatori. L'analisi di base sull'efficienza energetica sarà approfondita in condizioni standard da individuare che dipenderà dal materiale e dallo spessore oltre che da parametri di processo (saldatura in continuo o in pulsato).

Al fine di replicare condizioni standard di test è prevista l'implementazione di una facility, all'interno di un laboratorio del CR Casaccia, in grado di poter testare i generatori di saldatura trasportabili fra cui si possono annoverare oltre a quasi tutti generatori ad arco con correnti fino a 600 A anche i generatori laser i ultima generazione fino a 10 kW di potenza. La facility è costituita da una stanza climatizzata e monitorata comprensiva di tutti gli ausiliari, elettrici, aria compressa gas di processo e sistemi di aspirazione fumi e controllo remoto che permetta di garantire le condizioni standard di test durante le misure di assorbimento elettrico.

Per lo sviluppo del protocollo di qualifica dell'efficienza energetica dei sistemi Friction Stir Welding ci si avvarrà del contributo del Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e dei Trasporti Scuola Politecnica Università degli Studi di Genova che ha una pluriennale esperienza nello sviluppo di processi di saldatura Friction Stir Welding. Per questo particolare procedimento è prevista l'implementazione di una serie di sensori per monitorare da un lato in consumo elettrico complessivo alla presa complessivo, dall'altro quello dei singoli motori. Il rendimento dipenderà dalla mole dell'impianto in quanto: maggiori sono le dimensioni dei componenti lavorabili maggiori saranno i soli consumi di movimentazione del peso della struttura. Sarà quindi necessario definire un rendimento complessivo normalizzato alle dimensioni delle apparecchiature di saldatura o rendimenti correlati ad essi.

Per tutti i processi il rendimento complessivo finale verrà correlato all'energia assorbita dalla rete elettrica per la realizzazione di una saldatura "standard" per specifico spessore e materiale rispetto all'energia teorica necessaria a fondere il materiale della Zona Fusa. Tuttavia sarà definito un indice di efficienza relativo allo spessore ed allo specifico materiale saldato oltre che al tempo impiegato per lo stesso tipo di giunto con i diversi processi di saldatura che non è legato solo alla produttività ma anche ai consumi ancillari al processo (tempo locali, tempo ed energia necessaria per lavorazioni successive che alcune tecniche permettono di ridurre o evitare).

La comparazione fra i risultati su queste prime quattro tecniche utilizzate permetterà di fare delle prime valutazioni sui trend da promuovere per l'efficientamento energetico nel settore industriale della saldatura.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Principali collaborazioni: Università di Genova, Università Tor Vergata

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

d.2 Applicazione di campi elettrici pulsati nei processi industriali

Nel settore industriale, l'inattivazione batterica mediante campi elettrici, può rappresentare un trattamento energeticamente migliorativo per alcuni processi ad elevato impatto sociale e ambientale. Si fa riferimento, a tutti quei settori industriali che per la trasformazione delle materie prime nei prodotti finali necessitano di trattamenti specifici sia per la produzione primaria e sia per il successivo trattamento dei sottoprodotti di processo. Ad es. applicazioni riguardanti prodotti e sottoprodotti agro-alimentari, le acque reflue di processo intese come scarti di produzione.

In particolare, ci si riferisce a procedure di inattivazione microbica, intese come soppressione dell'attività funzionale di un microrganismo, cioè alla sua capacità di riprodursi e di produrre molecole o reazioni enzimatiche evidenti. Tali tecniche possono riferirsi all'intera popolazione di microrganismi o ad un suo sottoinsieme di microrganismi patogeni. L'attività batterica è regolata da diversi fattori ambientali, come la disponibilità di acqua, di nutrienti, di sostanze antimicrobiche naturali, il pH, l'umidità e la temperatura. Le tecniche di inattivazione microbica agiscono su uno o più di questi fattori rendendo più difficile o impossibile l'attività dei batteri (Blackburn and McClure, 2002).

Nell'industria alimentare, le tecniche di conservazione degli alimenti sono molteplici, si possono distinguere:

- metodi fisici, come le alte temperature (pastorizzazione e sterilizzazione), le basse temperature (come la refrigerazione e il congelamento), la variazione di atmosfera (attraverso il confezionamento sottovuoto o in atmosfera controllata), le radiazioni ionizzanti. A queste si possono aggiungere alcuni metodi innovativi, oggetto di ricerche in questi ultimi anni, come le alte pressioni, gli ultrasuoni, i campi elettrici pulsati (Pulsed Electric Fields, PEF).
- metodi chimici, come l'aggiunta di conservanti naturali (sali, zuccheri, alcool, olio, aceto) o artificiali (additivi chimici).
- metodi fisico-chimici, come l'affumicamento.
- metodi biologici, come le fermentazioni e l'uso di enzimi.

Ciascuna di queste tecniche ha proprie peculiarità sia riguardo al tipo di componente su cui è in grado di operare (per esempio liquidi o solidi) e alla difficoltà di attuazione (Blackburn and McClure, 2002). Ad es. in ambito alimentare le tecniche di inattivazione microbica rappresentano una fase cruciale, sono eseguite attraverso macchinari specifici e richiedono una non indifferente energia di processo. Una tecnica molto promettente sotto numerosi punti di vista, non ultimo quello della sua efficienza energetica, ma tuttavia ancora in fase di studio, è quella dell'utilizzo dei PEF come metodo non-termico di conservazione degli alimenti (Zhang et al., 1995). Brevemente, essa consiste nell'utilizzo di impulsi ad alta tensione, tipicamente 20 - 80 kV/cm, realizzati per mezzo di due elettrodi tra i quali si interpone l'alimento da processare. I vantaggi principali delle tecnologie PEF rispetto ai trattamenti termici tradizionali consistono nella migliore preservazione delle proprietà fisiche, nutrizionali e sensoriali del prodotto (Quass, 1997) e nel limitato consumo energetico in assenza di scarti o fumi inquinanti, con conseguente riduzione dell'impatto ambientale di processo. Relativamente a quest'ultimo punto, in particolare, le politiche di efficienza energetica dell'UE degli ultimi anni, attraverso piani di azione nazionali come il National Energy Efficiency Action Plans (NEEAPs) e l'Art. 7 della Direttiva sull'Efficienza Energetica (EED), hanno spinto gli stati membri all'utilizzo di nuove misure volte all'efficientamento energetico. Tra i punti chiave, si sottolineano la necessità e l'importanza dell'utilizzo di metodi per l'analisi quantitativa dell'efficientamento che,

relativamente al settore industriale, risultano dominati da misure di tipo finanziario e cooperativo, come gli accordi volontari (ODYSSEE-MURE, 2015).

In tale contesto si propone un'attività volta ad affrontare difficili problemi di trattamento degli effluenti inquinati, liquidi e gassosi, con il vantaggio di una affidabilità ineguagliata dalle altre tecnologie. Nella prospettiva di applicabilità di questa tecnica su larga scala, dalla valorizzazione energetica degli scarti industriali alla lavorazione di prodotti di utilità collettiva (conservazione dei prodotti alimentari) in sostituzione delle attuali tecniche, più dispendiose da un punto di vista della efficienza energetica.

La proposta di ricerca, realizzata in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Roma Tor Vergata, si articolerà nelle fasi di seguito illustrate.

La prima fase del progetto (primo anno) consisterà nell'analisi dello stato dell'arte in materia di PEF applicati in differenti ambiti (come il settore alimentare, processi industriali) . La raccolta di informazioni sarà organizzata secondo le seguenti attività:

- 1) reperimento dei lavori che hanno trattato teoricamente e sperimentalmente questo tema, da un punto di vista fisico, chimico, biologico, elettrico, energetico.
- 2) individuazione degli ambiti e dei criteri di applicazione. In particolare, per il settore alimentare l'attività sarà rivolta a definire un quadro di dettaglio sulla sicurezza alimentare. In questa fase saranno analizzate sia le documentazioni e/o norme elaborati da organismi internazionali di riferimento e sia i sistemi di gestione esistenti a garanzia della qualità e sicurezza dei prodotti e loro contestualizzazione in relazione all'utilizzo dei PEF.
- 3) processamento dei dati acquisiti, al fine di indicare e definire i criteri di progettazione sia generici e sia specifici in base al contesto di applicazione. Questa sarà sicuramente la fase più complessa in quanto gli attuali studi trattano l'argomento in modo estremamente eterogeneo applicando i PEF a casi specifici.

La seconda fase (secondo anno) riguarderà la definizione dei fattori di processo, quali forza del campo elettrico, numero e durata degli impulsi, forma degli impulsi e temperatura iniziale; questi verranno relazionati ai parametri specifici del prodotto, ad esempio composizione, forza ionica e conduttività. In aggiunta, potranno essere analizzati i parametri dei microrganismi esposti al trattamento di inattivazione, come le caratteristiche morfometriche, la concentrazione e la fase di crescita. Ciò sarà completato con una analisi delle necessità aziendali attuali e delle presenti apparecchiature disponibili, considerando in modo prioritario il tema dell'efficienza energetica. Per la valutazione complessiva delle prestazioni si prenderà in considerazione l'indice di efficienza energetica ODEX (Bosseboeuf et al., 2005) che permetterà la quantificazione del miglioramento in termini di efficienza energetica derivante dall'utilizzo di PEF come alternativa alle metodiche tradizionali, al netto di effetti dovuti a cambiamenti strutturali dell'alimento ed altri fattori non legati all'efficienza.

La terza fase (terzo anno) sarà dedicata allo sviluppo di un sistema automatico di progettazione che, facendo uso dei criteri messi a punto nella seconda fase, possa dare indicazioni alle aziende alimentari relativamente alle specifiche tecniche che i macchinari facenti uso della nuova tecnologia dovranno avere. In aggiunta, saranno forniti i criteri progettuali che i costruttori di tali macchine dovranno rispettare al fine di garantire la conservazione del prodotto e massimizzare efficienza energetica e risparmio economico. Tale sistema verrà realizzato attraverso lo sviluppo e la validazione di software e modelli di calcolo che potranno essere resi fruibili alle aziende. In particolare, l'output di sistema consisterà in un set di monitoraggio e controllo dei parametri di funzionamento in funzione dell'applicazione richiesta. Una volta stabiliti i vantaggi del sistema sviluppato, i risultati ottenuti potranno essere oggetto di pubblicazione di articoli scientifici su riviste internazionali e diffusi anche nelle realtà aziendali locali e non.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

e. Tecnologie ICT per l'efficiamento dei processi industriali

Rete di sensorie e attuatori per progetti M2M

Le Reti di sensori, formate da numerosi dispositivi capaci di interagire con l'ambiente circostante e i diversi utenti, capaci, inoltre, di comunicare tra di loro, al fine di monitorare e controllare attraverso opportune funzioni di attuazione uno o più fenomeni fisici, sono oggi impiegati in molteplici ambienti applicativi (settore industriale, militare, ambientale, biomedico, domestico) grazie, anche, al basso costo unitario, alle ridotte dimensioni e alla facile installazione e manutenzione.

L'utilizzo di dispositivi wireless, inoltre, consente l'eliminazione dei cavi, sia per l'alimentazione sia per la comunicazione. Quest'ultimo aspetto consente di ridurre ulteriormente i costi ed introduce caratteristiche tipiche delle Reti di sensori Wireless (Wireless Sensor Network), come ad esempio la facilità di ri/posizionamento, la flessibilità, l'accuratezza, ecc. L'impiego delle WSN, però, presenta delle problematiche che devono essere opportunamente indagate in fase di progettazione, fra cui la sicurezza della trasmissione dei dati (cyber-security) e la non predicibilità di comportamento dovuta all'enorme quantitativo di variabili che entrano in gioco (interferenze, interazione con l'ambiente, ...).

Nel settore industriale assumono un ruolo chiave le reti di sensori e di attuatori in grado di interagire con i diversi utenti e tra di loro attraverso opportuni protocolli M2M. I componenti chiave di un sistema M2M includono sensori (anche RFID), una connessione WiFi o collegamento di comunicazione GPRS/GSM e ovviamente il software programmato per aiutare un dispositivo di rete di interpretare i dati e prendere decisioni. L'utilizzo di appositi algoritmi di cooperazione tra nodi permette, anche, di abbattere il rumore della misura migliorando l'accuratezza.

Il processo di comunicazione tra macchina (centralina) e macchina (server) fino ad arrivare all'utente finale deve avere alcune principali caratteristiche: rapidità, linearità e dimensione dei dati da trasferire. A questi tre fattori se ne aggiungono altri due, forse più tecnici, ma che riguardano l'atomicità e la consistenza del dato stesso. La difficoltà quando si affronta un progetto M2M risiede nella scelta del protocollo corretto di comunicazione tra le macchine e il canale presso il quale devono essere trasferite le informazioni (WIFI, gprs, seriale, ...).

In una prima fase delle attività sarà definito il settore di applicazione (processi industriali) fornendo delle specifiche, sia in termini software che hardware, dei diversi componenti che costituiscono il progetto, in particolare:

- analisi dei diversi nodi sensore presenti sul mercato;
- analisi dei diversi protocolli di comunicazione non proprietari con particolare attenzione sia all'affidabilità che alla sicurezza dei dati;
- studio delle possibili tecniche per minimizzare il consumo di ogni singolo nodo per poterne massimizzare il tempo di vita;
- ricerca di un appropriato modello che fornendo in ingresso le diverse misure acquisite possa restituire un adeguato insieme di configurazione per le funzioni di attuazione finalizzato all'efficiamento del processo monitorato;
- studio di un interfaccia software per i diversi utenti quanto più flessibile, efficiente e robusta.

Visto il crescente interesse nei confronti degli argomenti fin qui trattati, sarà necessario effettuare una analisi di mercato con l'obiettivo di individuare una gamma di funzionalità richieste dai diversi utenti e prevedere eventuali esigenze future. In conclusione di questa fase gli obiettivi raggiunti saranno, quindi:

- la definizione delle specifiche dell'applicazione;
- la scelta del software e dell'hardware;
- la definizione del sistema composto dai diversi nodi sensore in relazione alle scelte hardware fatte in precedenza;
- la scelta dei protocolli di comunicazione;
- la definizione di un modello con le finalità sopra descritte.

Sulla base dei risultati ottenuti in precedenza si procederà alla progettazione della rete di sensori/attuatori e dello sviluppo del software che costituirà parte integrante del progetto.

I risultati ottenuti in questo task verranno integrati e valorizzati dalle altre linee di ricerca del presente progetto, che, dunque, nelle due annualità successive non avrà più la linea "e" come obiettivi principali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Principali collaborazioni: Università di Messina – Dip. Ingegneria

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

f. Comunicazione e diffusione dei risultati

La diffusione dei risultati avverrà come di consueto attraverso il sito ufficiale di ENEA, sul quale saranno resi disponibili tutti i documenti e i prodotti realizzati durante le attività.

Verranno organizzati periodici workshop per informare gli operatori dei settori interessati, nazionali e internazionali, sullo stato di avanzamento delle attività e dei risultati intermedi ottenuti, anche la partecipazione a convegni scientifici e/o la pubblicazione di articoli riviste scientifiche, saranno subordinata alla presentazione delle attività in corso con chiaro riferimento al contesto dell'Accordo di Programma Ricerca di Settore Elettrico.

Un altro canale di disseminazione saranno i comitati/tavoli tecnici dove ENEA è presente come organo tecnico a supporto dell'Istituzione o come referente scientifico nazionale per alcune tematiche di pertinenza del presente progetto.

Risultati/Deliverable:

- Relazione sintetica di presentazione delle principali attività di diffusione e organizzazione di un workshop dedicato alla presentazione dei risultati del progetto

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a	Studio e applicazione di tecnologie per l'efficiamento di macchinari													
	<i>a.1 Potenziamento della facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza</i>													
	<i>a.2 Tecniche di efficientamento per sistemi di microcogenerazione</i>													
	<i>a.3 La progettazione ecocompatibile all'interno dell'economia circolare</i>													
b	Efficientamento di processi industriali													
	<i>b.1 Materiali innovativi per lo sviluppo di sistemi per il recupero energetico da cascami termici in ambito industriale.</i>													
	<i>b.2 Studio di catalizzatori magnetici a elevata attività con finalità di efficientamento energetico dei processi produttivi nell'industria chimica</i>													
	<i>b.3 Sistema di supporto alle decisioni per il risparmio energetico nella produzione e nell'utilizzazione dell'aria compressa</i>													
c	Metodologie per la caratterizzazione di processi industriali energivori: benchmark e valutazione dei potenziali di risparmio energetico													
	<i>Definizione di metodologie per il calcolo dei rendimenti dei processi</i>													
d	Impiego tecnologie elettriche nei processi industriali													
	<i>d.1 Efficientamento dei processi di saldatura industriale</i>													
	<i>d.2 Applicazione di campi elettrici pulsati nei processi industriali</i>													
e	Tecnologie ICT per l'efficiamento dei processi industriali													
	<i>Rete di sensorie e attuatori per progetti M2M</i>													
f	Comunicazione e diffusione dei risultati													

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	TOTALE
a	Studio e applicazione di tecnologie per l'efficiamento di macchinari									
	<i>a.1 Potenziamento della facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza</i>	7550	272,0	163,0	19,0	0,0	0,0	2,0	40,0	496,0
	<i>a.2 Tecniche di efficientamento per sistemi di microgenerazione</i>	300	11,0	6,0	0,5	0,5	0,0	1,0	40,0	59,0
	<i>a.3 La progettazione ecocompatibile all'interno dell'economia circolare</i>	1900	68,0	41,0	0	21,0	0,0	3,0	0,0	133,0
	<i>Subtotale Ob. a</i>	9750	351,0	210,0	19,5	21,5	0,0	6,0	80,0	688,0
b	Efficiamento di processi industriali									
	<i>b.1 Materiali innovativi per lo sviluppo di sistemi per il recupero energetico da cascami termici in ambito industriale.</i>	2000	72,0	43,0	0,5	6,0	0,0	0,5	50,0	172,0
	<i>b.2 Studio di catalizzatori magnetici a elevata attività con finalità di efficientamento energetico dei processi produttivi nell'industria chimica</i>	2000	72,0	43,0	0,5	3,0	0,0	0,5	40,0	159,0
	<i>b.3 Sistema di supporto alle decisioni per il risparmio energetico nella produzione e nell'utilizzazione dell'aria compressa</i>	800	29,0	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	86,0
	<i>Subtotale Ob. b</i>	4800	173,0	103,0	1,0	9,0	0,0	1,0	130,0	417,0
c	Metodologie per la caratterizzazione di processi industriali energivori: benchmark e valutazione dei potenziali di risparmio energetico									
	<i>Definizione di metodologie per il calcolo dei rendimenti dei processi</i>	9000	324,0	194,0	0,5	0,0	0,0	5,0	115,0	638,5
d	Impiego tecnologie elettriche nei processi industriali									
	<i>d.1 Efficientamento dei processi di saldatura industriale</i>	5000	180,0	108,0	7,0	5,0	0,0	8,0	90,0	398,0
	<i>d.2 Applicazione di campi elettrici pulsati nei processi industriali</i>	700	25,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	85,0
	<i>Subtotale Ob. d</i>	5700	205,0	123,0	7,0	5,0	0,0	8,0	135,0	483,0
e	Tecnologie ICT per l'efficiamento dei processi industriali									
	<i>Rete di sensori e attuatori per progetti M2M</i>	3000	108,0	65,0	0,5	27,0	0,0	0,5	40,0	241,0
f	Comunicazione e diffusione dei risultati									
		500	18,0	11,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	32,5
		32750	1179,0	706,0	28,5	62,5	0,0	24,0	500,0	2500,0

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rd5

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento, include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e, consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri, pari a 36 €/h, Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1. Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	ORD.O45/2015/102 - Strumentazione per laboratorio prove motori: strutture banco prova, motore brushless, alimentatore elettronico, gruppo inverter, quadro elettrico di potenza e di consolle, motore asincrono, strumentazione dedicata per i test (quota ammortamento attrezzatura acquistata nel PAR 2014)	98.332	19.600	Esclusivo
a.1	O40/2015/312 armadio blindato per apparecchiature elettroniche (quota ammortamento attrezzatura acquistata nel PAR 2014)	1.220	240	Esclusivo
d.1	Saldatrice TIG/PLASMA NERTAMATIC 450 (quota ammortamento dello strumento acquistata nel PAR2012)	38720	7.700	Esclusivo
a.1	Struttura banco con motore, Wattmetro completo di TA, ohmetri, quadri elettrici, inverter, alimentatore elettronico, giunti, cablaggi, cassette, moduli acquisizione, fusibili, teleruttori, relè, circuiti	170.000	200	Esclusivo
a.2	Kit di monitoraggio per l'impianto di microgenerazione associato alla pompa di calore	35000	100	Esclusivo
b.1	Thermal constants analyzer: strumentazione per la misura delle proprietà termofisiche di trasporto del calore all'interno di materiali allo stato solido con relativo software di analisi avanzata	27.000	100	Esclusivo
b.2	Micro gascromatografo	25.000	50	Esclusivo
b.2	Sistema di riscaldamento a induzione	17.500	50	
c	Kit sensori per monitoraggio processo di impianto	9.000	100	Esclusivo
d.1	Computer Laser Beam Meter & Beam profilometry	45.000	80	Esclusivo
d.1	Sistemi di Master di Corrente/Potenza	10.000	80	Esclusivo
d.1	Allestimento di una stanza di prova controllata e monitorata e con tutti i sistemi ancillari elettrici, refrigerazione, gas tecnici, aria compressa, climatizzazione in locale esistente. Componenti elettrici ed elettronici per lo sviluppo del sistema prototipale di monitoraggio wireless	17.000	80	Esclusivo
d.1	Componenti optoelettronici e relativo intervento di installazione per potenziamento sorgente laser da 2300 a 4000W	80.000	60	Esclusivo
e	Banco di misura per rete di sensori	25.000	100	Esclusivo

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili. In grassetto le attrezzature acquisite nelle annualità precedenti

2. Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.2	Licenza software configurazione GENCHI	300
a.3	Licenza GFK (vendita prodotti)	20.000
b.1	Accessori usurabili (celle per test) misuratore DSC-TG	6.000
b.2	Materiale per presse da laboratorio	3.700
d.1	Lavorazioni per provini in acciaio ed alluminio	5.000
e	Software gestione reti sensori	27.000

3. Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Non sono previsti servizi di consulenza.

4. Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	Università degli Studi dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia - <i>Determinazione dell'incertezza nella misura del rendimento di motori asincroni polifase secondo i metodi prescritti dalla norma IEC 61034-2-1</i> <i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento ha un'esperienza pluriennale nell'attività nello studio delle macchine elettriche e degli azionamenti elettrici.	40
a.2	Politecnico di Torino, Dipartimento Energia - <i>Micro-cogenerazione: scenari di sviluppo alla luce delle attuali normative e sviluppo di un modello di simulazione dinamica per la valutazione delle opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica</i> <i>Motivazioni della scelta:</i> Pluriennale esperienza del Dipartimento DENERG in materia di tecnologie di generazione dell'energia; in particolare, il Dipartimento offre la possibilità di implementare un sistema di misura e di monitorare il funzionamento di una rete di teleriscaldamento reale, aspetto di notevole rilevanza scientifica a causa della difficoltà di reperire dati prestazionali (termici) di reti energetiche sul territorio nazionale.	40
b.1	Università Tor Vergata Roma, Dipartimento Ingegneria Industriale <i>Sviluppo di sistemi per il recupero energetico da cascami termici a bassa temperatura. Analisi delle prestazioni termodinamiche ed energetiche conseguibili con materiali innovativi.</i> <i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Ingegneria Industriale possiede una consolidata esperienza in materia di ingegneria termica, tecnologie e sistemi per il recupero di energia e potrà contribuire efficacemente allo sviluppo di tecnologie avanzate per il recupero di cascami	50
b.2	Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Chimica <i>Design magnetico di catalizzatori</i> <i>Motivazioni della scelta:</i> Il DCUF ha competenze consolidate e riconosciute a livello nazionale e internazionale nel design e nello studio di materiali magnetici nanostrutturati sia sotto forma di nanoparticelle che di film sottili	40
b.3	Università della Tuscia, Centro per l'Innovazione Tecnologica e lo Sviluppo del Territorio - <i>Sistema di supporto alle decisioni per il risparmio energetico nella produzione e nell'utilizzazione dell'aria compressa</i> <i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo di ricerca dell'Università della Tuscia impegnato nel progetto è composto da professori e ricercatori con competenze in molti ambiti dell'ingegneria energetica, con particolare riferimento alla termo-fluidodinamica applicata, ai sistemi innovativi di conversione dell'energia e alla riduzione dei consumi energetici e dell'impatto ambientale dei processi industriali. Nell'ambito di queste tematiche e con riferimento al presente progetto di ricerca, il gruppo ha sviluppato e applicato in diversi contesti una metodologia integrata per l'analisi, la caratterizzazione e il controllo dei consumi energetici al fine di individuare le principali opportunità di efficientamento. L'approccio di simulazione numerica è stato supportato da una continua fase di sperimentazione e di raccolta di dati sul campo al fine di validare le procedure e i benefici delle soluzioni proposte ed implementate. Nella metodologia è compresa la gestione ottimale degli impianti di servizio (condizionamento, acqua, aria compressa) e dei sistemi di autoproduzione di energia elettrica.	40
c	Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale - <i>Sviluppo di un algoritmo per l'identificazione di risparmi conseguibili in un processo industriale attraverso l'analisi di dati provenienti dall'impianto</i> <i>Motivazioni della scelta:</i> L'attività scientifica del gruppo di ricerca dell'Università di Padova è da anni focalizzata sullo sviluppo di algoritmi di ottimizzazioni da applicare a sistemi energetici e processi produttivi, analisi di fattibilità tecno-economica relativamente all'implementazione di tecnologie innovative ad alta efficienza in processi industriali e sviluppo di tecnologie innovative per il recupero di calore di scarto dai processi industriali.	40
c	Università di Udine, Dipartimento di Ingegneria Elettrica Gestionale e Meccanica - <i>Valutazione del potenziale di risparmio nelle PMI predeterminata da un sistema informatico di pre-audit</i> <i>Motivazione della scelta:</i> Nell'ambito del DIEG - Dipartimento di Ingegneria Elettrica Gestionale e Meccanica il gruppo di ricerca a cui verrà affidato il lavoro è quello del prof. Gioacchino Nardin, il cui focus di ricerca sono l'efficienza energetica e le nuove tecnologie. Il gruppo del professor Nardin ha una lunga esperienza nello studio tecnico ed economico, progettazione e realizzazione di impianti.	40
c	Università della Tuscia, Dipartimento di Economia e imprese - <i>Le reti d'impresa nelle PMI come volano per la diffusione di tecnologie efficienti</i> <i>Motivazione della scelta:</i> Pluriennale esperienza del Dipartimento DEIm e, più in particolare, dell'unità di ricerca denominata "Studi sullo sviluppo economico" (SVE), in materia di forme di collaborazione tra PMI, nonché in tema di analisi statistico-economiche, anche con l'ausilio della modellistica econometrica. In particolare, il DEIm dispone di una banca dati sulle reti d'impresa su cui basare sia la modellizzazione teorica sia le valutazioni quantitative dell'impatto della forma contrattuale sotto esame.	35

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
d.1	<p>Università di Genova, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, gestionale e dei Trasporti <i>Saldatura FSW: definizione di condizioni standard di prova su impianti "on site" per il rilievo dell'efficienza di saldatura e dell'efficacia di processo per le leghe di alluminio</i> Motivazioni della scelta: E' uno dei primi gruppi di ricerca Italiani relativamente alla saldatura Friction Stir Welding, ha più di 30 pubblicazioni su riviste nazionali ed Internazionali sulla tematica della Saldatura Friction Stir Welding.</p>	50
d.1	<p>Università Tor Vergata Roma, Dipartimento Ingegneria Industriale - <i>Definizione di un sistema di monitoraggio wireless per il rilievo dell'energia complessiva assorbita dalla rete e delle energie utilizzate per vari processi di saldatura e supporto all'analisi di efficienza dell'accoppiamento energia-materia</i> Motivazioni della scelta: Il gruppo di lavoro presenta, nei rispettivi ambiti di ricerca, pluriennale esperienza nello studio dei processi di saldatura e nella progettazione, realizzazione e test di sistemi elettrici ed elettronici.</p>	40
d.2	<p>Università Tor Vergata, Dipartimento Ingegneria Elettronica - <i>Sviluppo di un sistema semi-automatico di progettazione di apparecchiature per la conservazione di alimenti attraverso campi elettrici pulsati, dotate di opportuni sistemi di monitoraggio e controllo</i> Motivazioni della scelta: Il gruppo di ricerca ha maturato una pluriennale esperienza negli aspetti metodologici e algoritmici della progettazione elettronica, del processamento di segnali e della modellizzazione e propagazione dell'incertezza nelle misure elettriche ed elettroniche.</p>	45
e	<p>Università degli Studi di Messina - Dipartimento di Ingegneria - Rete di sensori e attuatori per progetti M2M Motivazioni della scelta: Il gruppo di ricerca SPACE (Signal Processing and Advanced Communications Engineering) svolge attività di ricerca e sviluppo nell'ambito delle telecomunicazioni presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Messina. L'attività di ricerca, svolta sia in ambito universitario che in collaborazione con aziende ed enti di ricerca, si inquadra principalmente nell'ambito delle reti di telecomunicazioni, dell'elaborazione numerica dei segnali e dell'elettronica digitale applicata alle telecomunicazioni. In particolare le principali linee di ricerca riguardano: 1. analisi, progettazione e simulazione di reti wireless (WSN, WMN, WLAN, ...) 2. tecniche avanzate di trasmissione e codifica (modulazioni, codici di correzione, SDR) 3. definizione di innovativi algoritmi per l'elaborazione numerica dei segnali (compressione, codifica, classificazione, ...) basati su tecniche di intelligenza artificiale, data mining e reconfigurable computing 4. implementazione di algoritmi per l'elaborazione numerica dei segnali mediante sistemi embedded e a logica programmabile (FPGA/VHDL) L'attività di ricerca più recente è focalizzata sulle reti di sensori wireless e sull'elaborazione dei segnali biomedicali. In particolare nell'ambito delle reti di sensori wireless, l'attività di ricerca è mirata principalmente allo sviluppo di algoritmi di forwarding per la minimizzazione dei consumi energetici. Il gruppo di ricerca dispone di due laboratori siti presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Messina, attrezzati con diversi sistemi per la trasmissione e l'elaborazione numerica dei segnali e utilizzati nell'ambito dell'attività di ricerca e per lo sviluppo di Intellectual Property hardware e software. L'unità di ricerca fa parte del GTTI (Gruppo Telecomunicazioni e Tecnologie dell'Informazione, associazione nazionale ricercatori e docenti di telecomunicazioni) e del consorzio MECSA (Microwave Engineering Center for Space Applications).</p>	40
Totale		500

5. Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Non ci sono allo stato attuale progetti internazionali che cofinanziano parzialmente attività affini a quelle programmate nel presente progetto.

AREA	EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI
Tema di Ricerca	IMPIANTI DI CONVERSIONE DI ENERGIA DI PICCOLA TAGLIA
Progetto D.4	UTILIZZO IMPIANTI DI CONVERSIONE DI ENERGIA DI PICCOLA TAGLIA

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

L'obiettivo del progetto è di contribuire allo sviluppo e diffusione di impianti di conversione di energia di piccola taglia che utilizzino fonti di energia rinnovabile o cascami termici anche di diversa fonte primaria. Le sue finalità si collegano in maniera evidente con quanto realizzato nei precedenti PAR sull'utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione, con i quali condivide sia molte delle tecnologie proponibili che la parte più significativa dei possibili settori di applicazione (edifici pubblici e residenziale).

Per evidenziare la centralità del settore residenziale, richiamato espressamente nella declaratoria della presente attività (Del. AEEGSI 371-15), si può ricordare che è il responsabile del 40% del consumo energetico globale EU. L'importanza di interventi in questo settore è sancita da normative che impongono che, nel caso di edifici nuovi o edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, gli impianti di produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati in modo da garantire, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, quote sempre maggiori dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento fino a raggiungere dal 2017 il 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e il 50% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

In questo contesto, un tema cardine indicato nell'attività riguarderà la mini/micro co/tri-generazione poiché anche gli altri due temi presenti sulle pompe di calore e sulla produzione di energia elettrica da cascami termici sono ad essa collegabili. La generazione combinata "in loco" di energia elettrica, riscaldamento, raffreddamento, comportando la riduzione di consumo di energia primaria e di produzione di emissioni dannose, è un settore di tecnologie emergente con un potenziale significativo per miglioramenti nell'efficienza energetica globale e con ricadute positive sulla salvaguardia dell'ambiente. A supporto dell'importanza dell'argomento, nel IEA EBC Final Report of Annex 5, Integration of Microgeneration and Related Technologies in Building – ottobre 2014, si rimarca la potenzialità della micro cogenerazione e micro-trigenerazione (MCHP/MCCHP) per aumentare l'efficienza e ridurre le emissioni in applicazioni sia domestiche e/o di piccole dimensioni e, con maggior enfasi, l'importanza dell'intervento nel settore residenziale. Nel suddetto Report si dimostra inoltre che l'energia primaria, utilizzata in sistemi di tri-cogenerazione con tecnologie già disponibili, porta a rendimenti globali significativamente superiori rispetto alla trasformazione in un'unica forma di energia. Inoltre, nel caso sia prodotta anche energia elettrica, si ha il vantaggio aggiuntivo di diversificarne le fonti e quindi migliorarne la sicurezza della fornitura. L'Unione europea ha riconosciuto le importanti potenzialità degli MCHP/MCCHP già nella direttiva 2004/8/CE, evidenziando la necessità di promuovere tali sistemi per aumentare l'efficienza energetica e ridurre le emissioni inquinanti.

In molti dei sistemi attualmente commercializzati si utilizzano, con tecnologie relativamente già mature, combustibili per produrre energia elettrica e termica (caldo/freddo). In questo progetto si punterà invece solo sulle tecnologie in cui il calore utilizzato come sorgente primaria provenga da fonti rinnovabili e/o da cascami termici di processi "indipendenti", nel rispetto di quanto richiesto nella citata D.E. 2009/28/CE. Lo scopo è dimostrare come un utilizzo appropriato delle fonti di energia rinnovabile disponibili, associato all'adozione di sistemi produttivi integrati che sfruttino in maniera ottimale tutti i flussi termici prodotti, consenta di ottenere i desiderati risultati di risparmio, efficienza energetica e salvaguardia ambientale.

Nel contesto degli MCHP/MCCHP, il peso della componente di climatizzazione estiva è particolarmente rilevante (crescente richiesta di condizionamento, introduzione di tecnologie innovative, impatto ambientale dei fluidi refrigeranti, squilibrio del carico delle reti elettriche per carichi di punta). L'impiego

dell'energia solare e/o da cascami termici associata alle tecnologie AHP per il condizionamento estivo costituisce una soluzione tecnica molto interessante dal punto di vista energetico, data la coincidenza della domanda di climatizzazione con la massima disponibilità di energia solare.

Oltre allo studio dell'utilizzo delle AHP (Absorption Heat Pump) nei MCHP/MCCHP, nell'attività si proseguirà lo studio sperimentale, iniziato nei precedenti PAR, sulle HP a CO₂. A supporto di questa scelta si fa notare che le normative in essere (F-GAS, Regolamento UE N. 517/2014, D.P.R. 27 gennaio 2012, n. 43 per attuazione del regolamento CE n. 842/2006 su taluni gas fluorurati ad effetto serra) prevedendo la dismissione, scaglionata nel tempo e per settore, dei fluidi refrigeranti HFC maggiormente utilizzati (R404A, R410A, R407C) lasciano alle HP a CO₂ un ruolo, al momento e probabilmente per diversi anni, di tecnologia predominante nel settore, non essendo al momento disponibili dei fluidi alternativi (i più interessanti appaiono le idro-olefine, R1234-ze, R1234yf) testati con le relative tecnologie adeguatamente sviluppate. Da considerare che inoltre le HP a CO₂ sono particolarmente adatte alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS).

Per tali ragioni ENEA intende occuparsi dell'approfondimento di diversi aspetti, alcuni evidenziati nel corso dei PAR precedenti, che possano favorire, tramite il raggiungimento della maturità tecnologica necessaria, sia l'inserimento nel mercato delle HP a CO₂ che, al tempo stesso, chiarirne i limiti per il suo utilizzo in ragione dei settori di applicazione. In particolare, si studieranno per via teorico-sperimentale, i possibili vantaggi dei sistemi a multi-eiettore, l'effetto della rimozione dell'olio sullo scambio termico e i miglioramenti apportabili con nuove tecnologie di realizzazione degli scambiatori, in particolare per i gas cooler.

In parallelo, si andranno a definire dei modelli che possano consentire la simulazione del funzionamento del sistema. Tali modelli, sfruttando la possibilità di essere calibrati con i risultati sperimentali, saranno utilizzati per ottimizzare la progettazione dei componenti e soprattutto per definirne il migliore bilanciamento in relazione alle condizioni operative e all'applicazione. Inoltre, potranno essere un valido strumento per definire e ottimizzare una mappa per la regolazione del sistema di controllo in relazione alle condizioni operative.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

La mini/micro co/trigenerazione, allo stato attuale di sviluppo, è un settore tecnologico molto ampio e fortemente "delicato" che risente di alcuni fattori in modo molto più consistente rispetto agli impianti tradizionali. La sua competitività e capacità di penetrazione è legata a diversi parametri (prezzi dell'energia, elevato costo degli impianti con lunghi payback, scarsa informazione e normativa non amichevole). Sulle possibili applicazioni al settore residenziale pesano inoltre fortemente la complessità degli impianti, sia come installazione che manutenzione e regolazione, e delle pratiche autorizzative. In Italia, mentre si è assistita a una discreta diffusione di impianti di co-trigenerazione di potenze superiori, questa tecnologia è al momento poco diffusa e riguarda principalmente le macchine che utilizzano combustibile come fonte primaria (CHP). Tale situazione non è incoraggiante per le industrie potenzialmente in grado di proporsi in questo settore; di contro, le previsioni decisamente ottimistiche (secondo il report del progetto CODE - Cogeneration Observatory and Dissemination Europe- nel 2030 si avrà un market share del 40% sul totale degli impianti per la climatizzazione) spingono a prepararsi alla possibile svolta. Le esperienze degli impianti sperimentali di solar-cooling realizzati, nell'ambito dell'Accordo di Programma precedente, sono un esempio di come queste tecnologie relativamente complesse abbiano bisogno di sperimentazione per crescere, essere conosciute e diventare commerciali.

Sono invece largamente diffusi in Italia impianti di climatizzazione che utilizzano pompe di calore: al momento però la maggior parte delle macchine installate non sono "di ultima generazione" e non utilizzano fluidi refrigeranti a basso impatto ambientale. La recente normativa F-GAS sulla dismissione degli HFC, ha ulteriormente indicato la necessità per le HP di tecnologie che utilizzino fluidi naturali. In questo quadro, considerando che delle sostanze eleggibili molte sono tossiche e/o infiammabili o in corso di studio preliminare, le HP a CO₂ al momento sono e resteranno probabilmente per diversi anni, la più valida tecnologia nel settore della climatizzazione. Comunque, nonostante il notevole sviluppo degli ultimi anni, restano degli aspetti da approfondire per giungere a una sua piena maturità, necessaria sia per sostenerne

l'inserimento nel mercato che, al tempo stesso, chiarirne i limiti per il suo utilizzo in ragione dei settori di applicazione.

IL PROGETTO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Il tema del presente progetto, apparentemente diverso da quello svolto da questa unità negli scorsi anni incentrato sull'UTILIZZO DEL CALORE SOLARE E AMBIENTALE PER LA CLIMATIZZAZIONE, ha nella realtà forti legami di continuità e utilizzerà, infatti, gran parte delle esperienze e impianti sviluppati nei precedenti PAR. In questo paragrafo sono riportati le principali attività e alcuni risultati frutto dei precedenti PAR, ritenuti utili per la attuale proposta.

- Realizzazione dell'impianto solar heating and cooling Edificio F-92 CR Casaccia: dimostrativo della tecnologia del solar-cooling.
- Impianto solar cooling per climatizzazione serra per culture intensive: Dimostrativo.
- Impianto con pompa di calore elioassistita: facility di prova per pompe di calore "assistite" dal solare termico (riscaldamento invernale).
- Pompa di calore acqua-acqua a CO₂: facility di prova di una macchina frigorifera acqua-acqua per produzione di acqua calda sanitaria e per la climatizzazione.
- Macchina frigorifera dedicata al settore alimentare: prototipo di macchina frigorifera caldo/freddo a CO₂ (R744) per la pastorizzazione e conservazione nel settore alimentare
- Laboratorio (C. R. ENEA Trisaia) per la qualificazione di collettori solari a media temperatura, per applicazioni nel solar cooling e per la produzione di calore di processo ad uso industriale;
- Sistemi di regolazione, monitoraggio e controllo degli impianti di climatizzazione in edifici complessi con gestione avanzata della diagnostica e della climatizzazione
- Partecipazione italiana ai gruppi di lavoro IEA - Solar Heating and Cooling e SolarPACES.
- Studio e sviluppo di un accumulo termico a cambiamento di fase (PCM) e sua integrazione nell'impianto di solar heating and cooling dell'edificio F92 del CR Casaccia
- Analisi sperimentale e qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni a media temperatura
- Sperimentazione e qualifica di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni distribuite di piccola taglia a media temperatura
- Valutazione teorica-sperimentale di sistemi co- e tri-generativi di piccola taglia che utilizzano mini e micro CSP abbinati a cicli ORC;
- Verifica teorico-sperimentale e studio di fattibilità per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) in modalità istantanea a mezzo di HP a CO₂ (R744).
- Studio teorico-sperimentale di nuovi materiali e di PCM abbinati a schiume solide in funzione della porosità, composizione della schiuma e del calore specifico e della densità del sistema PCM+Schiuma;
- Sviluppo e ottimizzazione sperimentale di un prototipo di condizionatore d'aria compatto, alimentato ad energia solare, progettato per la ventilazione, la deumidificazione ed il raffreddamento di utenze di tipo residenziale (Solar DEC compatto);
- Modellazione ottica e termofluidodinamica delle prestazioni energetiche di diverse tipologie di concentratori; messa a punto di metodiche e dispositivi per la misura della radiazione solare concentrata;
- Test sperimentali su prototipo di concentratore a media temperatura caratterizzato da un ricevitore innovativo;
- Studio teorico-sperimentale sulla termofluidodinamica, con fluidi sia in fase liquida e in transizione di fase, di concentratori solari modulari compatti con ottiche di piccole dimensioni accoppiati a ricevitori basati sulla tecnologia dei mini e micro-canali;

- Test in camera climatica ENEA di un prototipo di HP (30 kW) ad R744 reversibile (caldo/freddo) dotato di un eiettore per il recupero dell'energia di espansione.
- Studio teorico-sperimentale sull'ottimizzazione del funzionamento di pompe di calore a CO₂ con radiatori ad elevato salto termico.

Obiettivo finale dell'attività

Il progetto ha come principale scopo lo sviluppo e la diffusione dell'utilizzo delle tecnologie impiegate in impianti per la conversione di energia elettrica in altre forme di energia o di conversione di energia termica, anche solare o ambientale, in energia elettrica, termica e frigorifera, ossia nelle varie forme normalmente richieste (climatizzazione, ACS, energia elettrica) in edifici abitativi e/o pubblici. La fonte energetica primaria prescelta è la rinnovabile (ambientale o solare) e/o da recupero di cascami termici di bassa qualità. In questo contesto, le tecnologie di co/trigenerazione per potenze "micro/mini" (MCHP/MCCHP) sono quelle di riferimento. Le MCHP/MCCHP sono a loro volta la combinazione di diverse tecnologie, spesso di avanguardia, il cui grado di sviluppo e di commercializzazione può essere fondamentale per la qualità dell'insieme. In questo contesto, le attività proposte mirano, in primis, a fornire una "matrice" delle tecnologie di "base" utilizzabili in sistemi MCHP/MCCHP, individuandone le caratteristiche utili per una valutazione che vada oltre alle semplici prestazioni singole ma consenta anche di vederle come parti di sistemi più complessi; come corollario a questa visione si proporranno inoltre lo studio per la realizzazione di una facility per prove di qualificazione e un ulteriore sviluppo dei sistemi di accumulo termico.

In tale contesto si può anche collocare l'attività di ulteriore sviluppo teorico-sperimentale delle HP a CO₂, poiché essa appare, sulla base dei risultati ottenuti nei precedenti PAR e delle indicazioni sia di mercato che normative, una tra le tecnologia cardine fra le predette tecnologie di "base".

Descrizione dell'attività a termine

Con riferimento alle tecnologie impiegate e/o utilizzabili in impianti per la conversione di energia elettrica in altre forme di energia o di conversione di energia termica, da cascami o rinnovabile, in energia elettrica, termica e frigorifera, le attività saranno mirate a:

- Individuare e selezionare, con valutazione dei cicli teorici semplificati, le tecnologie attualmente mature e/o in fase di sviluppo per la "trasformazione" tra fonti di energia in range di temperatura da 50- 300 °C e potenza termica disponibile da 0-100 kW ammissibili ai fini del progetto
- Progettare un impianto, tramite parziale riconversione di un esistente, per la prova e la prima qualificazione, in condizioni di reali di esercizio, di componenti e/o sistemi, compresi ibridi poligenerativi, per la mini/micro co/tri-generazione
- Sviluppare e realizzare dei piccoli impianti di cogenerazione da energia solare che producano energia termica ed elettrica, tramite cicli ORC con generazione diretta di vapore o con fluido vettore intermedio
- Sviluppare dei Sistemi di Accumulo per l'ottimizzazione e l'integrazione di tecnologie atte all'utilizzo/conversione di energia di origine solare, ambientale o da cascami termici in energia elettrica, termica e frigorifera.

Le macchine a CO₂ al momento sono, e resteranno probabilmente per diversi anni, la più valida tecnologia nel settore della climatizzazione. Negli ultimi anni questa tecnologia ha avuto un notevole sviluppo ma rimangono degli aspetti da approfondire per giungere a una sua piena maturità, necessaria sia per sostenerne l'inserimento nel mercato che, al tempo stesso, chiarirne i limiti per il suo utilizzo in ragione dei settori di applicazione. Le attività previste sono:

- Sviluppo di sistemi a multieiettori per HP reversibile ad R744. Modellizzazione della HP con multieiettore
- Studio di sistemi di separazione dell'olio di lubrificazione per migliorare le prestazioni di HP a R744
- Progettazione di un impianto per prove sperimentali per lo studio sull'utilizzo di scambiatori di calore a mini-micro canali per CO₂ per gas-cooler ed evaporatori innovativi.

- Ottimizzazione del ciclo a pressioni corrispondenti a Tout gas cooler di HP a CO₂ utili per cicli di recupero energetico

Coordinamento con attività di CNR e RSE

In generale le attività del progetto *Impianti di conversione di energia di piccola taglia* svolte da RSE si completano con quanto svolto in tale ambito da ENEA; si evidenzia, inoltre, come il tema del presente progetto ha forti legami di continuità e utilizzerà gran parte delle esperienze e impianti sviluppati nei precedenti PAR relativi all'UTILIZZO DEL CALORE SOLARE E AMBIENTALE PER LA CLIMATIZZAZIONE. Nel corso degli anni precedenti sono state attivate diverse sinergie, sviluppando piattaforme web integrate, con i risultati di RSE ed ENEA conseguiti in ambito Ricerca di Sistema Elettrico:

- <http://www.climatizzazioneconfontirinnovabili.enea.it/>
- <http://eerisultati.rse-web.it/>

RSE ed ENEA hanno svolto azioni di coordinamento delle attività sia in fase di programmazione che esecuzione, pertanto il presente capitolo è redatto in modo coordinato ed è stato oggetto di contributi congiunti.

In generale, le attività RSE ed ENEA mostrano una prima fondamentale complementarità nei range di temperatura, capacità frigorifere e potenze termiche disponibili presi come riferimento.

L'attività di coordinamento svolta tra RSE ed ENEA ha messo inoltre a fuoco i seguenti ambiti di ricerca, in settori analoghi, ma condotti attraverso metodiche differenti, spesso con finalità complementari.

- Pompe di calore abbinata a fonti rinnovabili. Su questo tema RSE sviluppa da anni un'intensa attività di studio sulle pompe di calore abbinata a fonti rinnovabili, definendo e quantificando le prestazioni di assetti innovativi. In particolare sviluppa attività relativamente all'integrazione con pannelli solari e pompe di calore in assetti innovativi; le recenti attività di ricerca riguardano configurazioni impiantistiche che impiegano pannelli ibridi e pompe di calore *dual source* (aria e acqua). ENEA, oltre a continuare lo sviluppo delle pompe di calore a CO₂, studierà i potenziali inserimenti di questo componente in sistemi complessi per la co-tri generazione, approfondendo in particolare il recupero del calore di scarico di pompe di calore a CO₂ per possibili accoppiamenti con macchine ad assorbimento. Le attività hanno quindi un ambito comune, ma le tecnologie e gli assetti sperimentali sono differenti, e si integrano in un prolifico panorama, apprezzato dall'ambiente industriale.
- L'ENEA sta seguendo lo sviluppo di piccoli impianti di cogenerazione da energia solare che producano energia termica ed elettrica, tramite cicli ORC con generazione diretta di vapore o con fluido vettore intermedio. RSE ha in corso una ricerca in merito ai materiali ceramici innovativi da utilizzare per la realizzazione di microturbine ad alta efficienza, come impianti a combustione interna. E' oggetto di studio la definizione di caratteristiche impiantistiche più opportune per la realizzazione di prototipi –in particolare la definizione di capacità e fluidi . Una prima ipotesi di lavoro è quella di realizzare un prototipo con capacità di generazione di 100 kWel. Le due attività non sono quindi in sovrapposizione e, invece, potrebbero offrire possibilità di sinergie.
- RSE rivolge la propria attenzione a impianti a media temperatura e taglia 100-200 kW di potenza frigorifera. Ha realizzato e sta studiando un impianto dimostrativo di *solar heating and cooling* con collettori a concentrazione e assorbitore a doppio effetto, realizzato nell'Italia settentrionale. Sta inoltre monitorando un sistema integrato di pannelli solari ibridi e pompa di calore per la climatizzazione degli edifici civili e la produzione di acqua calda sanitaria. L'ENEA ha condotto nei precedenti PAR ricerche sul *solar heating and cooling* con macchine ad assorbimento a semplice effetto; queste tecnologie non prevedono un obiettivo dichiarato nell'attuale PAR, ma sono sempre tenute in considerazione per lo sviluppo di sistemi integrati di co-trigenerazione. In merito alle ricerche sul *solar heating and cooling*, si segnala che ENEA si concentra più sugli impianti a bassa temperatura (<120°C) mentre le ricerche RSE studiano i sistemi a media temperatura (circa 200°C). Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, l'ENEA persegue questo obiettivo essenzialmente entro il filone dello sviluppo delle pompe di calore a CO₂. In sostanza, le attività di ENEA e RSE congiuntamente coprono in modo efficace alcune delle più attraenti soluzioni impiantistiche d'interesse in questo ambito.

- Nel corso del precedente triennio di ricerca RdS, RSE ha realizzato, presso l'area BIC di Terni, un impianto che impiega pannelli solari (termici, fotovoltaici e ibridi) e pompe di calore per climatizzare edifici e produrre ACS. Il progetto ha consentito di realizzare, una test facility flessibile e modulabile, in grado di sperimentare contemporaneamente differenti soluzioni impiantistiche di piccola taglia e verificarne le prestazioni. L'ENEA studierà la progettazione di un impianto per la prova e la prima qualificazione, in condizioni di reali di esercizio, di componenti e/o sistemi, compresi ibridi poligenerativi, per la mini/micro co/tri-generazione. La potenza disponibile sarà di 150 kW trasferita tramite acqua in pressione con temperature massime di 200 °C. L'insieme delle due facility amplia la disponibilità di impianti per la prova e qualificazione di componenti e sistemi dedicati alla co-trigenerazione.

In conclusione, il lavoro del coordinamento ha evidenziato l'assenza di sovrapposizioni delle attività di ricerca e una loro buona integrazione nel coprire alcuni dei più interessanti temi di ricerca inerenti il progetto D.4.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Le attività previste mirano allo sviluppo di componenti e di soluzioni tecnologiche innovative nel settore delle mini/micro co/trigenerazione, del recupero energetico da cascami di bassa qualità e, in sostanza, dell'utilizzo ottimizzato delle energie rinnovabili nel settore residenziale. I risultati consentiranno sia di individuare prodotti già maturi e utilizzabili che di proporre/sviluppare strumenti in grado di supportare nelle scelte di soluzioni adatte alle svariate situazioni applicative. Ciò favorirà l'introduzione e la diffusione sia di quelle tecnologie già individuate come mature che di quelle promettenti, pesandone i vantaggi in termini di efficienza energetica e di convenienza economica. L'incremento dell'utilizzo delle energie rinnovabili e dei cascami termici concorre alla diversificazione delle fonti energetiche e quindi alla diminuzione della dipendenza dai combustibili. Questo, insieme al miglioramento dell'efficienze e alla riduzione degli scarti energetici, alla produzione diffusa a basso impatto ambientale, allo stimolo all'industria componentistica e di installazione, sono tutti aspetti virtuosi che comporteranno, in forme anche diverse, benefici per la bolletta elettrica del sistema paese.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Studio con verifica sperimentale di componenti e sistemi per mini/micro co/tri-generazione e sistemi ibridi poligenerativi

Con riferimento alle tecnologie impiegate e/o utilizzabili in impianti per la conversione di energia elettrica in altre forme di energia o di conversione di energia termica, da cascami o rinnovabile, in energia elettrica, termica e frigorifera, le attività saranno mirate a:

- Individuare le tecnologie innovative presenti e/o in fase di adeguato stato di avanzamento e selezionare quelle di possibile interesse per gli ambiti e gli scopi del progetto
- Studiare con verifica sperimentale, anche con eventuale qualificazione di prototipi su impianti di prova appositamente realizzati, componenti di sistema e/o sistemi completi per la conversione di:
 - energia elettrica in altre forme di energia
 - energia termica, anche solare o ambientale o da cascami, in energia elettrica, termica e frigorifera.

Si riportano di seguito le principali azioni sulle quali si esplicherà l'attività.

a.1 Individuazione, selezione e verifica teorico-sperimentale delle tecnologie attualmente mature e/o in fase di sviluppo per la “trasformazione” tra fonti di energia in range di T (50 - 300 °C) e W termica (0-100 kW) ammissibili ai fini del progetto

Scopo finale dell'attività è di arrivare a definire una griglia di tecnologie, di componenti e di sistemi integrati che rispettino i presupposti nella declaratoria del progetto D.4. Parallelamente si collaborerà alla definizione degli input progettuali dell'impianto per prove sperimentali sui componenti e sistemi selezionati. (Attività a.2)

A tal scopo si affronteranno, con il supporto dell'Università di Pisa:

- Studio e valutazione dei cicli teorici/semplificati, ad esempio cicli ORC, Stirling e flash, adatti per la cogenerazione e trigenerazione nel range di potenze e temperature considerato.
- Individuazione e selezione di tecnologie e sistemi, sia in fase di sviluppo sia già diffusi sul mercato, e verifica della loro rispondenza ai requisiti richiesti di innovazione e fattibilità tecnico-economica.
- Definizione input di base per impianto per prove sperimentali.

Con riferimento ai rapporti tecnici di cui sotto, nel Rapporto tecnico ENEA saranno considerati i cicli motori già diffusi e in fase di sviluppo alla base delle applicazioni cogenerative, con analisi riferite agli aspetti termodinamici, mentre nel Rapporto tecnico dell'Università di Pisa saranno curati in dettaglio la descrizione e lo studio dei cicli di generazione di energia frigorifera, nonché l'approfondimento dei componenti innovativi di impianto per la fase di espansione nei cicli a vapore saturo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico Università di Pisa “Individuazione e selezione di tecnologie e sistemi per la mini/micro co/tri-generazione”
- Rapporto tecnico ENEA “Studio e valutazione dei cicli teorici/semplificati per la mini/micro co/tri-generazione”

Principali collaborazioni: Università di Pisa

Durata: ottobre 2015 -settembre 2016

a.2 Progettazione di un impianto per la prova e prima qualificazione in condizioni di reali di esercizio di componenti e/o sistemi, compresi ibridi poligenerativi, per mini/micro co/tri-generazione

L'impianto sarà progettato allo scopo di provare e qualificare sperimentalmente, in condizioni stabili e ripetibili di input/output, componenti e sistemi proposti per la conversione di fonti di energia, anche in situazioni di discontinuità. I test sperimentali, caratterizzati da matrici di prova ampie e ripetibili, possono essere fondamentali per un più rapido sviluppo sperimentale dei componenti, consentendo inoltre un corretto confronto tra componenti diversi. L'impianto dovrà permettere anche una valutazione sperimentale e l'ottimizzazione di sistemi formati da più componenti, simulando le condizioni di funzionamento di interfaccia tra i singoli componenti del sistema.

In tal modo potranno essere testati componenti e sistemi in diverse condizioni di esercizio, anche “limite”, senza dover realizzare dimostratori completi “ad hoc” e/o dovere aspettare il realizzarsi di adatte condizioni esterne (inverno/estate) che spesso condizionano i tempi di sviluppo.

L'impianto sarà progettato utilizzando gran parte di una precedente facility dedicata alle prove su valvole in efflusso bifase. In tal modo si recupererebbero sia il sito con i relativi servizi, sia quei componenti essenziali (alimentatore elettrico 0-150 kW in cc 50 V e relativa caldaia ad effetto Joule, scambiatori, valvole di regolazione, ecc.) fondamentali per contenerne i costi rispetto a una economicamente molto più gravosa realizzazione ex novo.

La fase di progettazione e dimensionamento di massima dell'impianto può essere svolta considerando delle condizioni di riferimento per alcuni parametri (la T_{max} , i fluidi, le potenze in gioco, ecc.) e definendo un'architettura di base per l'adeguamento dell'impianto esistente. Potranno anche essere effettuate verifiche preparatorie sulla predisposizione dell'impianto elettrico e dei servizi, del sistema di acquisizione dati, degli spazi e il relativo layout. Invece, per poter definire completamente e realisticamente gli altri input progettuali occorreranno i range di ulteriori parametri, più legati al tipo di componente da provare (p.e. $W_{elatttrica}$ da smaltire, $W_{termica}$ da dissipare a diverse T, ecc.), informazioni che diverranno disponibili anche attraverso i risultati dello studio preliminare di cui all'attività a.1.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico ENEA "Progettazione di massima di un impianto per prove sperimentali di tecnologie per la mini/micro co/tri-generazione"

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

a.3 Sviluppo dei sistemi di accumulo per la ottimizzazione e l'integrazione di tecnologie atte all'utilizzo/conversione di energia di origine solare, ambientale o da cascami termici in energia elettrica, termica e frigorifera

L'accumulo termico, al pari di quello di energia elettrica, si è dimostrato essere un parametro estremamente importante, talvolta dirimente, per l'affermarsi di tecnologie che prevedano situazioni di utilizzo e/o disponibilità di energia primaria discontinue e quindi anche di fondamentale importanza per possibili architetture di sistemi di mini/micro co/trigenerazione.

Le esperienze svolte nei precedenti PAR, Report RdS/PAR2013/156,/157 e RdS/PAR2014/229, confortate dall'indirizzo attuale della ricerca, portano a pensare l'accumulo come un sistema complesso che deve essere scelto, dimensionato e impiegato in funzione della ottimizzazione dell'utilizzazione e delle condizioni esterne a cui è legato. Questa visione conduce a un approccio del problema molto articolato ma più funzionale, diventando di fatto la ricerca di un'ottimizzazione tra diverse variabili non sempre convergenti.

Si è visto infatti che i possibili miglioramenti del sistema di accumulo termico possono essere ottenuti intervenendo direttamente sul serbatoio di accumulo tradizionale (riempito di liquido) o con l'introduzione di componenti appositamente studiati. L'accumulo a "calore sensibile" è relativamente poco costoso, ma gli inconvenienti sono la bassa densità di energia e la variabilità della temperatura in uscita. Il metodo più promettente, anche dal punto di vista dei costi dell'intervento, è quello dell'utilizzo di PCM (Phase Change Materials) inseriti all'interno del serbatoio, il che consente di stoccare maggiori quantitativi di energia termica e in condizioni decisamente meno variabili.

Nei già citati Report, è stata valutata quantitativamente e per configurazioni semplificate, la dipendenza dei tempi di risposta e di tutte le altre caratteristiche dell'accumulo, dai principali parametri fisici del materiale e dalle sue modalità di cambiamento di fase. E' stata anche valutata l'influenza di specifici sistemi (quali le schiume solide) per incrementare la conducibilità del materiale, come pure l'effetto di interventi sulla geometria dei contenitori. Inoltre si è rivelata necessaria una caratterizzazione termica preliminare del materiale da utilizzare, in quanto le specifiche tecniche del produttore sono spesso insufficienti per prevedere i tempi richiesti dalla fusione e ri-solidificazione del materiale.

Ciascuno di questi interventi porta a un miglioramento della risposta, inteso come velocizzazione del processo di accumulo termico e di cambiamento di fase del materiale, con la risultante fondamentale conseguenza di un decisivo aumento della capacità di assorbire rapidamente l'energia in eccesso, nelle fasi di accumulo, e di rilasciarla nelle fasi di carenza. Nello stesso tempo però ognuno di essi è caratterizzato da controindicazioni quali un aggravio economico (costo del PCM, delle schiume conduttive, dei contenitori), una diminuzione di affidabilità (materiali pericolosi, aumento del numero di componenti), una diminuzione della massa totale di PCM e quindi della maggiore energia accumulabile rispetto all'acqua nel caso di aumento della massa delle pareti dei contenitori.

Partendo da quanto suddetto, nella presente attività saranno studiate e verificate sperimentalmente diverse soluzioni di accumulo per un efficace inserimento in sistemi proposti per la conversione di fonti di energia.

Stabilite per l'applicazione reale le temperature con le sue variazioni, i volumi e le energie in gioco, per le soluzioni considerate fattibili dovrà essere effettuata l'ottimizzazione del sistema valutandone la configurazione che fornisca il massimo accumulo nei tempi caratteristici delle variazioni.

Si procederà con una prima analisi semplificata (dove possibile) per individuare la configurazione geometrica ottimale. Tale analisi verrà validata sia con il confronto con simulazioni numeriche CFD, con la collaborazione dell'Università La Sapienza Roma, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali, Ambiente (DICMA), sia con dati sperimentali ottenuti utilizzando, dopo le opportune modifiche, un impianto in piccola scala già esistente.

In questo contesto generale, in questo PAR si prevede

- il confronto tramite simulazione semiempirica o numerica delle diverse soluzioni adottabili per aumentare le prestazioni dell'accumulo termico nelle situazioni tipiche dei casi studiati. Differenti geometrie dei contenitori, all'interno dei quali sarà disposto il materiale a cambiamento di fase, saranno studiate per ottimizzare lo scambio termico all'interno del serbatoio: di massima, si ricercherà la soluzione più semplice per evitare incrementi nei costi e problematiche nell'assemblaggio del sistema.
- le modifiche all'impianto esistente Hetna per permettere di eseguire verifiche sperimentali delle configurazioni risultanti dal punto precedente, attraverso la misura delle prestazioni di un singolo elemento di PCM e del volume ad esso associato nel serbatoio reale.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico Università Sapienza Roma "Confronto tramite test sperimentali e simulazione numerica di diverse soluzioni per migliorare le prestazioni dell'accumulo termico"
- Rapporto tecnico ENEA "Studio e valutazione teorico-sperimentale di interventi per ottimizzare l'efficienza di sistemi di accumulo"

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.4 Piccoli impianti di cogenerazione da energia solare: produzione di energia termica ed elettrica da radiazione solare, tramite cicli ORC con generazione diretta di vapore o con fluido vettore intermedio

Si propone lo studio teorico-sperimentale per l'impiego di un collettore solare a concentrazione lineare in accoppiamento con un ciclo *ORC* (*Organic Rankine Cycle*) per la cogenerazione di energia termica ed elettrica.

L'innovativa sezione ricevente, utilizzata accoppiata ad un concentratore parabolico lineare asimmetrico, è stata progettata presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova durante il precedente PAR (Report RdS/PAR2013/163). Inoltre, presso lo stesso Dipartimento è stato implementato un nuovo sistema di misura per la caratterizzazione di ricevitori che operano sotto radiazione solare concentrata (Report RdS/PAR2014/233).

In particolare, si vaglieranno le possibilità di collegamento diretto e indiretto dei due impianti:

- La prima soluzione prevede che la vaporizzazione del fluido organico avvenga direttamente all'interno del ricevitore dell'impianto solare. La possibilità di vaporizzare fluidi organici direttamente all'interno del ricevitore dell'impianto solare costituisce una soluzione innovativa con promettenti prospettive di incremento dell'efficienza globale di conversione. Infatti, la tipologia di collettori solari a concentrazione considerata presenta ottime efficienze nel campo delle medie temperature; temperature che ben si prestano alla vaporizzazione diretta di fluidi organici basso bollenti. Nell'ottica di ridurre l'impatto ambientale della soluzione proposta, la scelta del fluido organico sarà indirizzata verso fluidi a basso GWP.
- Nell'accoppiamento indiretto tra l'impianto *ORC*/solare si utilizza un fluido termovettore intermedio che si riscalda nel passaggio all'interno del corpo del ricevitore e, attraverso uno scambiatore, cede il calore acquisito al fluido organico portandolo alla completa evaporazione.

L'attività di ricerca prevede una prima fase di analisi dell'attuale stato della tecnica per lo sfruttamento dell'energia solare in accoppiamento a impianti a cogenerazione con cicli *ORC* a media temperatura. Seguirà uno studio teorico sull'utilizzo di un ricevitore solare piano per la vaporizzazione diretta o indiretta del fluido *R245fa* o di un suo sostituto a basso impatto ambientale. Questo studio mira alla progettazione di una nuova sezione per la ricezione della radiazione solare adatta allo scopo. Un nuovo modello numerico verrà implementato per la simulazione del comportamento del nuovo ricevitore. Si procederà quindi alla verifica sperimentale delle prestazioni dell'impianto solare, nel suo impiego come evaporatore del ciclo *ORC*, nelle reali condizioni di utilizzo e alla validazione del modello.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico Università DI Padova “Studio sperimentale di un ricevitore solare per la vaporizzazione diretta di un fluido alogenato per impianti ORC”
- Rapporto tecnico ENEA “ Modello di un impianto ORC alimentato da energia solare: confronto tra accoppiamento con fluido vettore intermedio e generazione diretta di vapore” di fluido vettore intermedio tra ricevitore solare e impianto ORC”

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Padova

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

b. Sviluppo, ottimizzazione e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione

La recente normativa F-GAS (Regolamento (UE) N. 517/2014, D.P.R. 27 gennaio 2012, n. 43. Regolamento recante attuazione del regolamento (CE) n. 842/2006 su taluni gas fluorurati ad effetto serra) che prevede la dismissione, scaglionata nel tempo e per settore, dei fluidi refrigeranti HFC maggiormente utilizzati (R404A, R410A, R407C) fornisce una prospettiva, per il settore in costante crescita delle pompe di calore per la climatizzazione, di rinnovato interesse verso i fluidi naturali (CO₂, propano, iso-butano, propene, ammoniaca) o le idro-olefine (R1234-ze, R1234yf); quest’ultime, pur essendo una valida prospettiva come fluidi refrigeranti innovativi, hanno i limiti di essere in parte infiammabili e attualmente in una fase di studio e pre-industrializzazione. In sostanza, le macchine a CO₂ al momento sono, e resteranno probabilmente per diversi anni, la più valida tecnologia nel settore. Negli ultimi anni questa tecnologia ha avuto un notevole sviluppo ma rimangono degli aspetti da approfondire per giungere a una sua piena maturità, necessaria sia per sostenerne l’inserimento nel mercato che, al tempo stesso, chiarirne i limiti per il suo utilizzo in ragione dei settori di applicazione.

Le attività previste sono:

b.1. Sviluppo di sistemi a multieiettori per pompe di calore reversibili ad R744 per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria. Caratterizzazione termofluidodinamica sperimentale dei componenti e modellizzazione della HP con sistema di espansione ad eiettori multipli

I coefficienti di prestazione di sistemi a pompa di calore elettrica che utilizzano l'anidride carbonica come refrigerante soffrono in maniera rilevante delle perdite associate alla laminazione. Infatti, a differenza di altri refrigeranti utilizzati per questo tipo di applicazioni, l'anidride carbonica ha una temperatura critica prossima a 30°C: quando la temperatura del fluido termo-vettore al gas-cooler è prossima a tale valore, la performance è fortemente penalizzata da quanto accade nella laminazione.

Un intervento possibile per ovviare a questo inconveniente, è l'uso di sistemi per la laminazione ad eiezione: tali sistemi sono in grado di effettuare l'espansione in modo più efficiente, sono statici e relativamente economici, ma non adattano il loro funzionamento alle differenti condizioni operative. In queste situazioni, peraltro usuali per le HP (aria ambiente come pozzo di calore, quindi T variabili), l'organo di laminazione ad eiettore “trova” un accoppiamento nel funzionamento con il compressore per valori delle pressioni non ottimizzati rispetto alle condizioni operative (con conseguente riduzione del COP). Per ovviare a ciò, molto recentemente sono comparsi sul mercato alcuni sistemi che sono costituiti da più eiettori in parallelo con un dispositivo di controllo che attua l'apertura di una combinazione di essi per modulare la sezione di passaggio in relazione alle differenti condizioni operative, in modo da inseguire i valori di pressione al gas cooler e all'evaporatore ottimi (in termini di COP).

L'attività di ricerca svolta nei PAR precedenti sulla CO₂ ha messo diverse volte in evidenza i limiti nelle performance dei sistemi a CO₂, limiti legati non solo alla maturità tecnologica dei componenti classici (in particolar modo i rendimenti dei compressori) ma soprattutto alle difficoltà degli organi di regolazione e controllo nell'inseguire l'ottimizzazione della pressione al gas-cooler. Questo aspetto è risultato ancora più marcato nell'ultimo PAR svolto in cui, pur avendo introdotto un sistema di espansione a eiettori multipli, il suo funzionamento (apertura e chiusura dei differenti organi di laminazione) non era ottimo rispetto alle condizioni operative testate. Pertanto, allo stato attuale delle cose, l'utilizzo dei sistemi a multi-eiettore, il cui vantaggio termodinamico è indubbio, non è diffuso sul mercato delle pompe di calore in quanto persistono le seguenti barriere tecnologiche:

- mancanza di dati sperimentali sulle reali prestazioni degli eiettori ad anidride carbonica nel range di condizioni operative tipiche delle pompe di calore, con conseguente difficoltà nel dimensionamento del componente da parte dei costruttori;
- mancanza di dati e algoritmi per determinare la combinazione ottimale di sezioni di passaggio in relazione alle condizioni operative attuali;
- scarsa conoscenza tecnica dell'effetto dell'olio lubrificante e della possibile formazione di schiume/gel che ne potrebbero limitare il corretto funzionamento;
- mancanza di dati sul funzionamento in continuo di sistemi di espansione ad eiettori multipli e dei possibili rischi di trafilamento associati alla tenuta dei sistemi che attuano l'apertura dei vari dispositivi operanti in parallelo.

L'attività proposta ha come scopo di intervenire sui primi due ostacoli in modo da favorire l'adozione di tali sistemi dai costruttori, consolidarne la conoscenza tecnica e migliorare di conseguenza le prestazioni dei sistemi a pompa di calore ad anidride carbonica.

Macroscopicamente, l'attività si svolgerà su due livelli: uno sperimentale e uno modellistico.

In sostanza, obiettivo delle attività sarà la caratterizzazione sperimentale del funzionamento del sistema ad eiettori multipli e lo sviluppo di un modello matematico in grado di determinare l'efficienza dell'eietto in funzione delle condizioni di lavoro. Inoltre l'attività consentirà di determinare, tramite il modello e i dati delle prove, la strategia migliore per il controllo automatico del gruppo multi-eietto in relazione alle condizioni operative.

In particolare, la parte sperimentale sarà svolta su un prototipo esistente, introducendo tutte le misure necessarie alla caratterizzazione termofluidodinamica completa del funzionamento del sistema ad eietto.

La pompa di calore sarà testata in camera climatica per la misura delle sue performance in termini di COP, in climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria, per valutare le prestazioni ottenibili con tale tecnologia in un ampio ventaglio di condizioni operative.

A tale scopo, il prototipo esistente di pompa di calore ad anidride carbonica sarà strumentato con misuratori di portata massica, di pressione e di temperatura utili a caratterizzare per via sperimentale il funzionamento termofluidodinamico del sistema ad eiettori multipli in relazione all'area di passaggio disponibile e alle condizioni di esercizio. Le prove saranno condotte in condizioni operative tipiche sia per la climatizzazione invernale (poiché questa modalità di funzionamento presenta un'elevata variabilità delle condizioni al contorno, in particolare per una pompa di calore aria-acqua), e della produzione di acqua calda sanitaria.

Al tempo stesso, con il supporto dell'Università di Napoli, sarà sviluppato un modello di simulazione termofluidodinamica (attualmente in letteratura sono presenti pochissimi modelli descrittivi del funzionamento di tali sistemi) che sarà calibrato sui dati sperimentali. L'approccio che sarà seguito sarà quello della teoria adimensionale per l'individuazione dei principali gruppi adimensionali che possono caratterizzare il funzionamento del sistema. Quindi, a partire dai dati sperimentali, saranno calibrate le correlazioni atte alla predizione dell'efficienza e del rapporto tra la portata massica trascinata e la totale. Tale modello sarà utilizzato per determinare i criteri e le mappe atte al dimensionamento in relazione alle condizioni operative di interesse.

Infine, tramite il modello e i dati delle prove, sarà determinata la strategia migliore per il suo controllo in relazione alle condizioni operative.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico Università di Napoli "Sviluppo teorico-sperimentale di un modello di simulazione termofluidodinamica del funzionamento del sistema ad eiettori multipli"
- Rapporto tecnico ENEA "Caratterizzazione sperimentale del funzionamento di un sistema ad eiettori multipli in una pompa di calore aria-acqua a CO₂"

Principali collaborazioni: Università di Napoli "Federico II"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.2 Applicazione di sistemi di separazione dell'olio di lubrificazione per migliorare le prestazioni di HP a R744 (CO₂)

In un circuito frigorifero non tutto l'olio che assicura la lubrificazione delle parti in movimento del compressore rimane confinato all'interno del carter; in realtà, una parte è trascinata, miscelata, dal fluido refrigerante nel circuito frigorifero, con effetti più o meno importanti di cui si deve tenere conto sia per il buon funzionamento del compressore (efficacia della lubrificazione) sia per la progettazione dell'intero circuito (dimensionamento degli scambiatori). Infatti, l'alterazione delle qualità delle proprietà fisiche e termodinamiche del fluido frigorifero, dovuta alla presenza in esso dell'olio, comporta una riduzione delle prestazioni degli scambiatori (evaporatori, condensatori ed eventuali recuperatori) a causa del decremento dei coefficienti di scambio termico e dell'incremento delle perdite di carico; in alcuni casi (evaporatori ad alette) si è giunti a stimare anche perdite di rendimento fino al 30%.

Da quanto sopra esposto, risulta evidente come l'inserimento di sistemi avanzati di separazione dell'olio lubrificante potrebbe condurre ad incrementi delle prestazioni di un sistema di refrigerazione ovvero alla possibilità di ottenere, a parità di prestazioni, riduzioni di superficie per gli scambiatori e quindi minori costi/ingombri. Altre ricadute positive si potrebbero avere nella riduzione del pericolo di accumulo dell'olio in particolari situazioni e geometrie, e sul funzionamento degli eiettori (attività b.1)

L'attività proposta ha come scopo finale un'analisi teorico sperimentale degli effetti, in termini finali di miglioramento dei rendimenti degli scambiatori nonché, in toto, nei sistemi di refrigerazione a R744, derivanti dall'inserimento di dispositivi avanzati di separazione dell'olio e di regolazione del suo ritorno al carter. In particolare l'attività di ricerca e sperimentazione sarà rivolta a impianti di piccola taglia, operanti con cicli transcritici a pompa di calore (HP).

Sarà svolto in primis uno studio dedicato all'analisi degli effetti derivanti dalla presenza di olio lubrificante negli scambiatori di calore di una pompa di calore a R744, con una stima dell'incidenza attesa sui valori sia dei coefficienti di scambio termico che delle perdite di carico. Saranno inoltre valutati i vantaggi e gli svantaggi derivanti dall'utilizzo delle diverse tipologie di oli lubrificanti attualmente in commercio che possono essere impiegati con l'anidride carbonica. Contestualmente a quanto sopra, si procederà a selezionare il separatore d'olio lubrificante più idoneo, in termini di principio di funzionamento, per il suo utilizzo su un prototipo di HP a R744 (realizzato e sviluppato nell'ambito del PAR2014), tenendo conto sia delle peculiari caratteristiche del tipo di efflusso del refrigerante che si realizza all'interno della macchina (ad esempio, CO₂ in condizioni supercritiche) sia delle proprietà della miscela olio lubrificante/anidride carbonica. Selezionato e installato il separatore di olio sul prototipo di HP a R744, sarà quindi effettuata una breve campagna sperimentale per la messa a punto del sistema di separazione con l'esecuzione di test di riferimento in camera climatica: le singole prove saranno effettuate sia con il separatore inserito che senza il medesimo, tramite un circuito di bypass. Prima dell'inizio della campagna sperimentale di cui sopra, il prototipo di pompa di calore sarà modificato opportunamente per l'inserimento di un sistema di campionamento del fluido di lavoro, al fine di poter in seguito pronti per effettuare specifiche misurazioni per la quantificazione di lubrificante disperso nel refrigerante. Per l'esecuzione di tali misure è infine prevista la progettazione "ad hoc" di detto sistema di campionamento, secondo le più recenti normative internazionali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Studio teorico-sperimentale degli effetti derivanti dalla presenza di olio lubrificante in una pompa di calore a R744 dotata di gruppo multieietttore"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.3 Studio sull'utilizzo di scambiatori di calore a mini-micro canali per CO₂ per gas-cooler ed evaporatori innovativi

Oltre ai noti vantaggi di fluido naturale non tossico né infiammabile, la CO₂ presenta interessanti proprietà termodinamiche; rispetto all'R404A, per esempio, la CO₂ ha un calore specifico ed una conducibilità termica più elevati ed una minor viscosità. La minore viscosità e la maggiore densità di vapore, consentono minori perdite di pressione a parità di portata e area di passaggio. Inoltre, il maggior valore del calore latente di

evaporazione della CO₂, fa sì che, a parità di potenza termica, debba circolare una minor portata con conseguenti vantaggi per il dimensionamento della macchina. Infine, nelle condizioni di supercriticità (punto critico, T_{crit} = 31 °C e P_{crit} = 73,8 bar), la CO₂ consente di ottenere temperature elevate mantenendo la stabilità chimica. In dette condizioni di supercriticità, usualmente raggiunti nelle HP in uscita compressore (indicativamente: p = 100 bar, T = 90°C), si hanno valori di densità superiori a quelli di un gas e la CO₂ ha, in convezione forzata, coefficienti di scambio termico superiori a quelli tipici di un vapore surriscaldato.

Da quanto suddetto e considerando le attuali tecnologie utilizzate, uno dei fattori migliorabili per incrementare i rendimenti delle HP a CO₂, è la scelta della tecnologia da impiegare per la progettazione degli scambiatori di calore (gas cooler ed evaporatori).

Attualmente, in questo settore, le geometrie avanzate di piccole dimensioni, mini e micro tubi e micro superfici alettate, sono le tecnologie di scambiatori di calore più interessanti e teoricamente adatte allo scopo. Con queste tecnologie si ottengono superfici di scambio termico di grande estensione e d'ingombro contenuto associati a spessori ridotti dei tubi e/o involucri. Nel caso di scambiatori convenzionali, i maggiori diametri dei tubi, associati alle elevate pressione di funzionamento del ciclo a CO₂, comportano spessori decisamente superiori che penalizzano fortemente il coefficiente di scambio. L'utilizzo di condotti di piccole dimensioni (mini/micro canali, indicativamente diametri interni da 150 micrometri a 3 mm) garantirebbe quindi spessori degli involucri più contenuti con un evidente vantaggio sulle prestazioni termiche. Questa soluzione è inoltre favorita dalle proprietà termodinamiche della CO₂ in condizioni trans critiche che, come spiegato in precedenza, consentono ampi margini, a parità di potenza asportata, sui dimensionamenti degli scambiatori mantenendo le perdite di carico entro valori accettabili. In sostanza, questa tecnologia, se opportunamente utilizzata, è promettente per ottenere prestazioni in termini di scambio termico superiori rispetto i canali di diametro maggiore; tale vantaggio si potrebbe tradurre anche in HP di minor ingombro e minor massa.

Per ottenere questi risultati occorre approfondire le conoscenze sul trasferimento di calore della CO₂ sia in condizioni trans-critiche e critiche che nella regione di evaporazione per mini e micro canali; le geometrie di maggiore interesse sono di tipo circolare (tubazioni) e di tipo multicanale a sezione quadrata o rettangolare, tipiche degli scambiatori di calore multicanale.

L'attività relativa a questo PAR sarà prevalentemente dedicata alla progettazione, con particolare attenzione alla identificazione dei componenti critici quali pompa per CO₂ e sensori, di un circuito per le prove sperimentali sui mini-micro canali per i test sia in condizioni di evaporazione che di scambio termico con un fluido supercritico. In parallelo alla progettazione sarà effettuata una valutazione sugli effetti della riduzione del diametro sullo scambio termico sia in condizioni di cambiamento di fase (evaporazione) che in condizioni supercritiche.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Progetto di un circuito per prove sperimentali su mini-micro canali con CO₂"

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.4 Ottimizzazione del ciclo a pressioni corrispondenti a Tout gas cooler di HP ad R744 utili per cicli di recupero energetico

Le pompe di calore a CO₂ (R744) sono caratterizzate, rispetto ad HP utilizzando altri fluidi, da elevati valori di temperatura (90-100°C) della CO₂ in uscita del compressore, ove questa grandezza dipende essenzialmente dalla pressione in uscita dal compressore stesso. Nel funzionamento della pompa di calore è usuale operare in condizioni transcritiche, ovvero con una pressione di uscita dal compressore superiore a quella critica, situazione per cui il COP (*Coefficient Of Performance*) è anche esso funzione (a parità di pressione all'evaporatore) della pressione di uscita dal compressore. In determinate condizioni operative (esprimibili in funzione delle pressioni all'evaporatore e al gas cooler), un incremento della pressione in uscita dal compressore, e conseguentemente della temperatura di ingresso al gas cooler, non ha praticamente effetti sul COP, rendendo di contro disponibile calore di scarico di buona qualità, interessante per un eventuale recupero termico. Questa disponibilità era già stata studiata con un'applicazione per un processo di pastorizzazione (Report Ricerca di Sistema, RdS/2012/128). In questa attività si valuterà in maniera più

approfondita tale opportunità, verificando sia teoricamente che sperimentalmente gli eventuali limiti ad un incremento della T; in parallelo, potranno essere individuati i possibili utilizzi del calore così prodotto (punto a.1).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Recupero energetico del calore al gas-cooler di HP ad R744: studio di caratterizzazione del ciclo e valutazione delle potenzialità di aumento del COP"

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

c. Comunicazione e diffusione dei risultati

L'obiettivo prevede sia attività specifiche di comunicazione e diffusione dei risultati ottenuti nel progetto, quali partecipazione a Congressi e Convegni con presentazione di memorie e/o articoli scientifici, che la presenza in gruppi/comitati di lavoro e Associazioni Nazionali e Internazionali rappresentative dei maggiori attori dei settori di interesse.

Si valuterà inoltre, con il procedere delle attività, la possibilità di:

- Organizzare un workshop/seminario specifico per diffondere i risultati ottenuti.
- Partecipare a manifestazioni (es. Installatori qualificati, Progettisti, Università, ecc.)

Si provvederà inoltre ad aggiornare il sito internet ENEA inserendo il materiale prodotto.

La divulgazione dei risultati, come per tutte le precedenti attività, verrà assicurata attraverso rapporti tecnici resi disponibili sul sito ENEA dedicato e con articoli su riviste scientifiche e memorie presentate a convegni nazionali e internazionali

Risultati/Deliverable:

- Relazione sintetica di presentazione delle principali attività di diffusione.

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Studio con verifica sperimentale di componenti e sistemi per mini/micro co/tri-generazione e sistemi ibridi poligenerativi												
	<i>a.1 Individuazione, selezione e verifica teorico-sperimentale delle tecnologie attualmente mature e/o in fase di sviluppo per la "trasformazione" tra fonti di energia in range di T (50 -300 °C) e W termica (0-100 kW) ammissibili ai fini del progetto</i>												
	<i>a.2 Progettazione di un impianto per la prova e prima qualificazione in condizioni di reali di esercizio di componenti e/o sistemi, compresi ibridi poligenerativi, per mini/micro co/tri-generazione</i>												
	<i>a.3 Sviluppo dei Sistemi di Accumulo per la ottimizzazione e l'integrazione di tecnologie atte all'utilizzo/conversione di energia di origine solare, ambientale o da cascami termici in energia elettrica, termica e frigorifera</i>												
	<i>a.4 Piccoli impianti di cogenerazione da energia solare: produzione di energia termica ed elettrica da radiazione solare, tramite cicli ORC con generazione diretta di vapore o con fluido vettore intermedio</i>												
b	Sviluppo, ottimizzazione e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione												
	<i>b.1 Sviluppo di sistemi a multieiettori per pompe di calore reversibili ad R744 per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria. Caratterizzazione termofluidodinamica sperimentale dei componenti e modellizzazione della HP con sistema di espansione ad eiettori multipli</i>												
	<i>b.2 Applicazione di sistemi di separazione dell'olio di lubrificazione per migliorare le prestazioni di HP a R744 (CO₂)</i>												
	<i>b.3 Studio sull'utilizzo di scambiatori di calore a mini-micro canali per CO₂ per gas-cooler ed evaporatori innovativi.</i>												
	<i>b.4 Ottimizzazione del ciclo a pressioni corrispondenti a Tout gas cooler di HP ad R744 utili per cicli di recupero energetico</i>												
c	Comunicazione e diffusione dei risultati												

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Studio con verifica sperimentale di componenti e sistemi per mini/micro co/tri-generazione e sistemi ibridi poligenerativi									
	<i>a.1 Individuazione, selezione e verifica teorico-sperimentale delle tecnologie attualmente mature e/o in fase di sviluppo per la "trasformazione" tra fonti di energia in range di T (50 –300 °C) e W termica (0-100 kW) ammissibili ai fini del progetto</i>	479	18,35	11,00	0,00	0,00	0,00	0,3	15,00	44,65
	<i>a.2 Progettazione di un impianto per la prova e prima qualificazione in condizioni di reali di esercizio di componenti e/o sistemi, compresi ibridi poligenerativi, per mini/micro co/tri-generazione</i>	940	35,96	21,58	0,25	0,00	0,00	0,1	0,00	57,89
	<i>a.3 Sviluppo dei Sistemi di Accumulo per la ottimizzazione e l'integrazione di tecnologie atte all'utilizzo/conversione di energia di origine solare, ambientale o da cascami termici in energia elettrica, termica e frigorifera</i>	1035	39,63	23,78	0,84	3,00	0,00	0,00	35,00	102,25
	<i>a.4 Piccoli impianti di cogenerazione da energia solare: produzione di energia termica ed elettrica da radiazione solare, tramite cicli ORC con generazione diretta di vapore o con fluido vettore intermedio</i>	633	24,22	14,53	0,00	0,00	0,00	0,9	35,00	74,65
	<i>Subtotale Ob. a</i>	3086	118,16	70,89	1,09	3,00	0,00	1,30	85,00	279,44
b	Sviluppo, ottimizzazione e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione									
	<i>b.1 Sviluppo di sistemi a multieiettori per pompe di calore reversibili ad R744 per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria. Caratterizzazione termofluidodinamica sperimentale dei componenti e modellizzazione della HP con sistema di espansione ad eiettori multipli</i>	1016	38,90	23,34	37,45	0,00	0,00	0,70	35,00	135,39
	<i>b.2 Applicazione di sistemi di separazione dell'olio di lubrificazione per migliorare le prestazioni di HP a R744 (CO₂)</i>	728	27,89	16,73	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	48,62
	<i>b.3 Studio sull'utilizzo di scambiatori di calore a mini-micro canali per CO₂ per gas-cooler ed evaporatori innovativi.</i>	1016	38,9	23,34	0,71	8,00	0,00	0,00	0,00	70,95
	<i>b.4 Ottimizzazione del ciclo a pressioni corrispondenti a Tout gas cooler di HP ad R744 utili per cicli di recupero energetico</i>	709	27,15	16,29	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	43,64
	<i>Subtotale Ob. b</i>	3469	132,84	79,70	38,16	12,00	0,00	0,90	35,00	298,60
c	Comunicazione e diffusione dei risultati	326	12,48	7,49	0,00	1,2	0,00	0,80	0,00	21,96
	TOTALE	6881	263,48	158,10	39,25	16,20	0,00	3,00	120,00	600,00

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/Rds

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento; include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato in diversi centri pari a 38,3 €/h, Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature da acquisire nel PAR 2015 e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.2	Sistema acquisizione dati (SA)	9000	250	Adeguamento SA imp. VASIB
a.3	Cappa aspirante	4207	842	Preparazione test su PCM
b.1	Contratto realizzazione Calorimetro per test funzionali di pompe di calore (fase progetto)	21553	4310	Stazione di prova pompe di calore aria/acqua
b.1	Contratto realizzazione Calorimetro per test funzionali di pompe di calore (fase consegna impianto)	79681	15936	Stazione di prova pompe di calore aria/acqua
b.1	Contratto realizzazione Calorimetro per test funzionali di pompe di calore (fase collaudo e termine del training)	43462	8692	Stazione di prova pompe di calore aria/acqua
b.1	Volano Termico per stabilizzazione temperatura ingresso prototipi pompe calore	1573	315	Anello acqua calorimetro test PDC
b.1	Gruppo frigo abbattimento temperatura uscita prototipi pompe calore	4621	924	Anello acqua calorimetro test PDC
b.1	Dry cooler per smaltimento temperatura uscita prototipi pompe calore	8046	1610	Anello acqua calorimetro test PDC
b.1	Misuratori di portata circuito camera climatica	4405	881	Anello acqua calorimetro test PDC
b.1	Sistema di immissione aria di tipo ATEX	23912	4782	Servizio per Calorimetro ENEA
b.3	Pompa a membrana per CO ₂ supercritica + smorzatore + ricambi	13000	216,7	Realizzazione Impianto per prove sperimentali
b.3	Alimentatori stabilizzati AC/DC per Surriscaldatore (SdPsurr)	2500	41,7	Realizzazione Impianto per prove sperimentali
b.3	Chiller per condensazione CO ₂	12000	200	Realizzazione Impianto per prove sperimentali
b.3	Sistema di acquisizione completo	9000	250	Realizzazione Impianto per prove sperimentali

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili; in grassetto attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.3	Termocoppie	3000
b.2	Componentistica per misure presenza olio	4000
b.3	Varie su RS (ordine aperto)	8000
c	Iscrizioni congressi	1200

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Nessuna spesa prevista.

4) Attività previste per le Università cobeneficarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Alcune delle Università cobeneficarie individuate sono le medesime del PAR precedente essendo le attività previste la continuazione delle attività precedenti. Gli importi sono commisurati alle attività in essere e sono in sintesi indicati di seguito.

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	<p>Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'energia, dei sistemi, del territorio e delle costruzioni <i>Individuazione, selezione e verifica teorico-sperimentale delle tecnologie attualmente mature e/o in fase di sviluppo per la "trasformazione" tra fonti di energia in range di T (50 – 300 K) e W termica (0-100 kW) ammissibili ai fini del progetto</i> Motivazioni della scelta: Il Dipartimento di Ingegneria dell'energia, dei sistemi, del territorio e delle costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa svolge attività di ricerca inerente a soluzioni innovative per la mini/micro tri/cogenerazione anche mediante l'impiego di fonti energetiche rinnovabili. Tale attività si svolge sia a livello di ricerca teorica (nell'ambito in particolare dello sfruttamento di sorgenti a bassa entalpia, di biomasse - gassificazione e combustione – e di sistemi innovativi per lo scambio termico – heat pipes) che sperimentale, in un laboratorio attrezzato per il test di sistemi e componenti di diverso tipo, in particolare di pannelli solari termici convenzionali ed innovativi. L'esperienza maturata in questi anni, fa del DESTEC un riferimento tecnico-scientifico non solo a livello nazionale ma anche internazionale testimoniata da numerose pubblicazioni scientifiche di rilievo e da numerosi contratti di ricerca ottenuti da committenti pubblici e privati.</p>	15
a.3	<p>Università La Sapienza Roma, Dipartimento di INGEGNERIA CHIMICA, MATERIALI, AMBIENTE (DICMA) <i>Sviluppo dei Sistemi di Accumulo per la ottimizzazione e l'integrazione di tecnologie atte all'utilizzo/conversione di energia di origine solare, ambientale o da cascami termici in energia elettrica, termica e frigorifera</i> Motivazioni della scelta: All'interno del Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente (DICMA) di "Sapienza" Università di Roma sono disponibili consolidate competenze ed esperienze su diversi aspetti dello scambio termico, anche mediante l'impiego di sistemi avanzati, e del recupero/risparmio energetico. In particolare, alcune analisi sono state sviluppate proprio nell'ambito di precedenti collaborazioni con l'ENEA, e tra i relativi risultati è stato messo a punto un modello di scambio termico con PCM che potrebbe essere applicato direttamente allo studio dei sistemi selezionati nel presente progetto.</p>	35
a.4	<p>Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale <i>Studio teorico-sperimentale su ricevitori piani a mini / micro-canali per sistemi solari a concentrazione in applicazioni di solar-cooling ad alta efficienza</i> Motivazioni della scelta: Presso l'Università degli Studi di Padova sono in corso attività di ricerca nel campo dell'energia solare, ed in particolare per la progettazione di dispositivi per la conversione di energia solare in calore a media temperatura, utile per alimentare un ciclo ORC. Nell'ambito delle tematiche oggetto del presente accordo di collaborazione, il Laboratorio di Conversione di Energia Solare, presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Padova, ha già attivo un programma di ricerca sui sistemi solari termici, che recentemente si è focalizzata su sistemi a concentrazione e dispone di un concentratore parabolico a fuoco lineare con inseguimento a due assi. Inoltre tale Laboratorio lavora in sinergia con il Laboratorio di scambio termico con cambiamento di fase dello stesso Dipartimento che da anni studia i fluidi alogenati utilizzati nelle macchine a ciclo inverso. Poiché tali fluidi possono essere utilizzati anche come fluidi di ciclo nelle macchine ORC, risulta molto utile accoppiare la competenza sui ricevitori solari e la competenza sui fluidi alogenati per progettare e realizzare macchine ORC di piccola taglia alimentate direttamente da energia solare.</p>	35
b.1	<p>Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di ingegneria Industriale – <i>Sviluppo di sistemi a multielettori per pompe di calore reversibili ad R744 per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria. Caratterizzazione termofluidodinamica sperimentale dei componenti e modellizzazione della HP con sistema di espansione ad eiettori multipli</i> Motivazioni della scelta: Presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, laboratorio di Tecnica del Freddo, sono in corso ricerche sulle macchine a compressione di vapore di piccola e media taglia e sullo studio di fluidi refrigeranti di nuova generazione. In particolare, il gruppo di ricerca diretto dalla Prof. Mastrullo si è occupato dello studio sperimentale delle prestazioni di fluidi refrigeranti HFC, puri e miscelati, e fluidi puri quali la CO₂, nonché le più recenti idro-olefine, tra cui l' R1234ze(E). Inoltre, il gruppo di ricerca ha pubblicato diversi articoli riguardanti le prestazioni di macchine a compressione di vapore, analizzando teoricamente e sperimentalmente l'influenza dei parametri di controllo, del fluido refrigerante e della taglia dei singoli componenti. Più di recente ha prodotto anche modelli per la simulazione a regime stazionario e transitorio di tali sistemi.</p>	35
TOTALE		120

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

In relazione all'obiettivo a, "Studio con verifica sperimentale di componenti e sistemi per mini/micro co/tri-generazione e sistemi ibridi poligenerativi" l'ENEA ha partecipato al progetto

- *HEAT4U* “New efficient solutions for energy generation, storage and use related to space heating and domestic hot water in existing buildings” ([http:// www.heat4u.eu/it/](http://www.heat4u.eu/it/)) che ha come scopo principale lo sviluppo di pompe di calore ad assorbimento alimentate a gas (GAHP) con una efficienza del 165% rispetto all’energia primaria (EN12309) per consentire un uso economicamente efficiente dell’energia rinnovabile in edifici residenziali esistenti, per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. L’interesse con il progetto attuale risiede nel fatto che la tecnologia delle AHP, in cui il gas può essere sostituito da una qualsiasi sorgente termica, come ad esempio il solare, è una delle candidate ad essere utilizzate in sistemi MCHP/MCCHP. Per quanto riguarda le attività relative all’obiettivo b, “Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione”, l’ENEA partecipa al progetto europeo:
- *NxtHPG*: Next Generation of Heat Pumps working with Natural fluids (<http://www.nxthpg.eu/>). Benché il tema di ricerca sia molto simile a quello sviluppato in ambito PAR, i risultati attesi sono molto differenti. Il progetto Europeo si pone infatti come obiettivo quello di sviluppare pompe di calore di media potenza termica (superiore ai 50 kW termici), utilizzando soluzioni tecniche mirate all’ottenimento di tali potenze. In ambito PAR il target di riferimento è dell’ordine dei 20-50 kW termici (applicazioni civili): si realizzano quindi prototipi semplici ed a basso costo, in grado di essere competitivi con i sistemi di riscaldamento convenzionali sia in termini di costo che di affidabilità.

6) Risultati quelli attesi nel PAR 2015

Di seguito i risultati attesi per le attività dell’anno:

- Individuazione di tecnologie di interesse per la mini-micro co-trigenerazione
- Progettazione di massima di un impianto per prove sperimentali di tecnologie per la mini/micro co/tri-generazione.
- Messa a punto dell’impianto di prove HETNA per le prove sperimentali sui sistemi di accumulo.
- Test sperimentali sull’impianto HETNA delle configurazioni proposte per l’accumulo, attraverso la misura delle prestazioni di un singolo elemento di PCM.
- Impostazione della simulazione semplificata dei serbatoi di accumulo, per la valutazione del loro contributo sul rendimento dell’intero ciclo.
- Progettazione di una nuova sezione per la ricezione della radiazione solare e verifica sperimentale delle prestazioni dell’impianto solare.
- Campagna di prove in camera climatica sul prototipo di pompa di calore a CO₂, con sistema di espansione ad eiettori, in condizioni di climatizzazione invernale e di produzione di acqua calda sanitaria.
- Studio e implementazione di un sistema di separazione dell’olio di lubrificazione nel prototipo di pompa di calore a CO₂.
- Progettazione di un nuovo impianto per i test sui mini-micro canali sia in condizioni di evaporazione che di scambio termico con CO₂ supercritica.
- Studio sulle potenzialità di recupero energetico del calore al gas-cooler di HP ad R744..

AREA	EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI
Tema di Ricerca	ILLUMINAZIONE
Progetto D.5	INNOVAZIONE TECNOLOGICA, FUNZIONALE E GESTIONALE NELLA ILLUMINAZIONE PUBBLICA ED IN AMBIENTI CONFINATI

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Si vuole rovesciare il paradigma di approccio alle infrastrutture energivore, ossia accanto alla conoscenza dello stato di fatto e delle sue prestazioni teoriche si introduce un sistema di valutazione della gestione stessa attraverso la elaborazione di dati continuamente misurati.

Su questo si fonda la proposta di introduzione di una infrastruttura nazionale, che inizia dalla illuminazione pubblica per poi estendersi ad altri servizi pubblici energivori e quindi avviare un percorso strutturato ed integrato di sviluppo dello smart district. Tale approccio creerà trasparenza tra gestore, pubblica amministrazione e cittadino e permetterà di reimpostare policies locali o nazionali basate sulla validazione dei risultati effettivi.

In parallelo, si potrà iniziare a sfruttare l'infrastruttura della rete di illuminazione come base per un percorso di sviluppo di servizi smart. Nel caso della illuminazione pubblica procedendo verso nuovi servizi urbani ed abbattendo il consumo energetico, nel caso degli ambienti confinati declinando il concetto di comfort nella direzione dell'assisted living (human centric lighting). In entrambi i casi le nuove tecnologie si fondono sulla capacità di rilevare i reali bisogni delle persone e di elaborare delle strategie di controllo ottimali che possano abbattere i consumi pur aumentando il livello di comfort. Questo processo, basato su conoscenza, trasparenza e nuove tecnologie, dovrà avvenire nel rispetto dei requisiti prestazionali e nella valorizzazione dei luoghi, delle persone ("illuminazione al servizio dell'individuo") e dell'ambiente.

In concreto, gli obiettivi finali sono di seguito illustrati.

1. Public Energy Living Lab - PELL. Sviluppo di una rete territoriale e di una infrastruttura di raccordo per la raccolta, organizzazione, valutazione, gestione, validazione e controllo sui dati tecnologici, energetici, prestazionali degli impianti di illuminazione pubblica. L'obiettivo è quello di estendere l'applicazione di questo processo di analisi, monitoraggio e valutazione delle prestazioni energetiche e funzionali ai diversi servizi pubblici energivori del distretto in un'ottica di sviluppo della Smart City. L'attività si articolerà su due azioni fondamentali:
 - sviluppo di una piattaforma ICT basata su criteri di standard open ed interoperabilità ospitata su infrastruttura cloud per la raccolta dei dati, la loro elaborazione e la visualizzazione, tramite tecnologie WebGis, di tutte quelle informazioni utili agli scopi di controllo e supervisione, raccordo ed accesso ai diversi sistemi territoriali locali;
 - sviluppo di una prima infrastruttura (prototipale) operante su diverse aree nazionali proposta ad un lotto sperimentale di circa 500 quadri elettrici afferenti a sistemi di illuminazione pubblica.

Accanto all'infrastruttura tecnologica verranno sviluppati metodi (standard, modelli, tool, disseminazione) ed iniziative per la formazione remota, la valutazione dei benefici degli interventi di efficientamento, la elaborazione di metodi per il calcolo economico-finanziario degli investimenti legati all'efficientamento, la promozione dell'utilizzo dello strumento PELL all'interno di gare nazionali (Consip, MEPA) e locali, l'estensione del network Lumiere al fine di creare una community di stakeholders all'interno della quale sia gli attori coinvolti nei processi di riqualificazione del sistema di pubblica illuminazione sia quelli coinvolti nella gestione energetica degli edifici possano condividere esperienze, contributi e proposte che consentano di raggiungere l'obiettivo di una rete più efficiente, ampliando la valutazione e l'intervento al concetto più ampio di Smart District".

In una visione più ampia di illuminazione “pubblica” che comprende non solo ambienti esterni, ma anche edifici, verrà sviluppato un software per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti d’illuminazione negli ambienti confinati (edifici pubblici, residenziali e non) (LENI), che sarà integrato nella piattaforma PELL.

2. Smart street. Sviluppo di un modello prototipale integrato di Smart Street in cui l’infrastruttura di illuminazione pubblica diventi la base per lo sviluppo di un sistema più ampio di osservazione e controllo della città e permetta la fornitura di un insieme di servizi al cittadino ed al distretto di pertinenza. Tra le varie attività:

- sviluppo di una architettura di pali e sensori intelligenti, sistemi di trasmissione dati, sistemi di telegestione che operando in modalità aperta e conosciuta (Internet of Things) permettano la integrazione con altri servizi urbani e la interazione con utenti; protezione della infrastruttura vitale contro attacchi informatici;
- sviluppo di un modello prototipale integrato di sistemi intelligenti in grado di far evolvere il palo in palo intelligente che oltre alla regolazione e gestione dell’emissione luminosa, sia anche di supporto per il monitoraggio e controllo del traffico veicolare, il monitoraggio di parametri meteorologici ed ambientali, la diagnostica della scena urbana (criticità, danni).

3. Human Centric Lighting - HCL. Sviluppo di modelli e prototipi avanzati di sistemi intelligenti di illuminazione di ambienti confinati al fine di migliorarne sia l’efficienza energetica che le prestazioni in termini di comfort, di qualità e in generale di benessere dell’individuo. Tra le varie attività:

- studio e sviluppo di metodologie basate sulla illuminazione “Human Centric” per valutare come tale approccio può aiutare la popolazione a vivere meglio, sia in ambito residenziale che in ambito dei luoghi di lavoro con sperimentazione in campo di sistemi innovativi e sistemi di controllo;
- contributo allo sviluppo di norme tecniche aggiornate e applicabili per il settore illuminazione e al processo di preparazione di legislazione europea volta a spostare il mercato verso prodotti più efficienti.

Tale attività si sviluppa nell’ottica “smart” di fornire agli utenti di ospedali, scuole, edifici pubblici - compresi in un distretto - un miglioramento della vivibilità degli spazi.

Inoltre verrà dato ampio spazio alle attività di diffusione dei risultati (D5.d), seguendo le indicazioni della Deliberazione 371/2015/RDS: "I risultati delle attività di ricerca svolte devono essere ampiamente diffusi, in modo da supportare gli operatori nazionali in grado di operare su progetti dimostrativi e, in ultima analisi, supportare supply chains nazionali sulle diverse tematiche".

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell’attività

In Italia il settore dell’illuminazione in generale, è caratterizzato da un livello professionale estremamente elevato e capacità applicative che dovrebbero fare del nostro Paese una eccellenza in termini di efficienza energetica, qualità della luce emessa e funzionalità degli impianti. A fronte di ciò in Italia la pubblica illuminazione è invece caratterizzata da impianti non a norma, vetusti, non efficienti dal punto di vista energetico, funzionale e prestazionale, irrazionalmente energivori, inadeguatamente gestiti e, soprattutto, sconosciuti in quelli che sono i loro dati d’identità e prestazioni. Infatti la quantificazione della massa critica del settore passa attraverso la parola “circa” mentre la gestione dell’impianto e del servizio da un insieme di modelli, strumenti, linee guida e norme che differiscono troppo spesso da comune a comune, da regione a regione, da gestore a gestore, da progettista ad architetto e/o dipendono dalle mode del momento. Lo stesso inserimento di logiche contrattuali efficienti da un punto di vista energetico (EPC) mette a rischio la prestazione quando questa non è strettamente controllata (spegnimenti incontrollati, dimmerazioni oltre le misure di sicurezza). In sostanza è caratterizzata da una carenza e asimmetria informativa, da un’inefficienza energetica operativa e funzionale e più in generale dalla mancanza di una sistema di gestione uniforme e di controllo della infrastruttura e del servizio di Pubblica Illuminazione e di quello dell’illuminazione confinata di edifici pubblici. Inoltre ad oggi il Paese non riesce ad utilizzare appieno l’infrastruttura per le sue potenzialità quale dorsale per telecomunicazioni, smart service rinunciando alla

possibilità di abilitare, come sta avvenendo nel resto dell'Europa, lo sviluppo delle smart cities. In conclusione, sebbene il settore rappresenti oggi un'opportunità per il Paese ed un trampolino di lancio verso una gestione integrata ed intelligente del territorio, non si è ancora in grado di poterne efficacemente beneficiare data la mancanza sia di un approccio sistemico e sia di un "cruscotto" di riferimento per la gestione ed il controllo della filiera.

Per l'illuminazione degli ambienti confinati, è importante oggi pensare alla progettazione in termini innovativi, che mettano l'individuo e il suo benessere al centro dell'interesse (Human Centric Lighting, HCL), includendo quindi esplicitamente parametri legati alla qualità, direzionalità, colore, dinamicità della luce, oltre alla efficienza energetica; la tecnologia a stato solido si presta molto bene a questi sviluppi per la sua elevata controllabilità. Uno studio recente dichiara che HCL può diventare un business molto promettente, in quanto il suo campo di applicazione riguarda circa il 7% del mercato dell'illuminazione in Europa.

IL PROGETTO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

La ricerca dell'ultimo triennio ha visto l'ENEA impegnata in collaborazione con Università e, a vario titolo, altri interlocutori esterni tra i quali molti del comparto industriale e di quello delle associazioni di categoria settoriali, sull'argomento "illuminazione", declinata in diversi aspetti:

- **Smart Lighting:** sviluppo e qualificazione prototipale di architettura, componenti (smart eye) ed algoritmi di controllo in cui la potenza di illuminazione è fornita in base al passaggio stimato di veicoli e persone.
- **Componenti di illuminazione:** realizzazione di prototipi di illuminazione a stato solido, e relativi sistemi intelligenti di controllo e gestione (apparecchio per illuminazione stradale PLUS-ME, apparecchio per illuminazione localizzata L@W, apparecchio per luoghi di lavoro COELO e ASTERISM, sistema di illuminazione e controllo per ambienti industriali HumbleBee). I criteri guida sono stati sostenibilità, modularità, riciclabilità, estetica, e versatilità per rispondere alle diverse esigenze e mettere al centro l'essere umano, con una apertura alle funzioni "smart".
- **Metodologie:** interazione della luce con gli esseri umani per investigare come la "luce" viene percepita, valutata e interpretata, inclusi gli aspetti non visivi (resa dei colori, effetti sulle funzioni cognitive, caratterizzazione spettrale della luce naturale incidente agli occhi in ambienti reali di lavoro, effetti circadiani).
- **Regole comuni:** supporto tecnico per la normazione e la legislazione europea. In ambito UNI (incluso sviluppo iniziale di software per calcolo del LENI); CEN, CIE e a livello di delegazione Italia per sviluppo e implementazione della legislazione europea Ecodesign ed Etichettatura Energetica.
- **Strategico funzionale:** metodi ed iniziative per la facilitazione di un processo di ammodernamento e riqualificazione energetica. In particolare il progetto Lumiere (ormai conosciuto dalla maggioranza dei comuni italiani di piccole e medie dimensioni) ha permesso di supportare la reale applicazione e diffusione delle tecnologie innovative quanto delle norme nazionali, europee ed internazionale alla quale redazione ENEA ha contribuito; ha prodotto un modello gestionale per gli impianti e servizio di pubblica illuminazione avente l'obiettivo di riorganizzarne la gestione, riqualificarne l'infrastruttura, ammodernarne le tecnologie e migliorarne le prestazioni energetiche e funzionali.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo è la realizzazione di un sistema di modelli, prodotti e strumenti volti a promuovere, guidare e supportare l'innovazione, la razionalizzazione ed ottimizzazione dei processi energetici, prestazionali e gestionali della pubblica illuminazione e dell'illuminazione confinata di edifici pubblici, residenziali e non.

Questo è affiancato dallo sviluppo di metodologie procedurali e piattaforme tecnologiche di supporto alla loro applicazione volte ad avviare una gestione integrata, controllata e trasparente della rete urbana della illuminazione pubblica e di quella confinata di edifici pubblici.

Descrizione dell'attività a termine

Le attività si svilupperanno in un'ottica di sistema e si baseranno sul coinvolgimento, collaborazione e condivisione di tutti i principali stakeholder direttamente ed indirettamente coinvolti nei processi gestionali dell'illuminazione pubblica e di quella confinata di edifici (pubblici, residenziali e non). Particolare attenzione verrà data al coinvolgimento del settore industriale e delle associazioni di categoria con l'obiettivo di operare in un'ottica distrettuale. Lo sviluppo progettuale sarà affiancato da un'attività costante di monitoraggio diffusione e valutazione dei risultati al fine di creare sia un parallelismo tra la realizzazione e l'applicazione dei modelli e/o prodotti e/o strumenti, sia verificarne e garantirne la contestualizzazione ed una loro congruità con le effettive esigenze e competenze territoriali e sociali.

a. Public Energy Living Lab per la illuminazione pubblica nell'ambito Smart District

- Integrazione della metodologia di valutazione degli impianti illuminotecnici esistenti basata su KPI (key performance indicators), diagnostica e benchmarking; definizione di formati standard per acquisizione dei dati (XML) e valutazione dell'audit. Test degli algoritmi su un campione limitato di impianti;
- progettazione ed implementazione prototipale all'interno della piattaforma ICT prevista in D7.1 dei moduli per il monitoraggio di grandi quantità di dati provenienti da impianti illuminotecnici;
- progettazione e impostazione di un GeoPortale cartografico nazionale dedicato al PELL; ricognizione e raccolta dei dati disponibili per la creazione di un repository di dati georeferenziati e loro omogeneizzazione;
- ricognizione e avvio di un tavolo tecnico con i principali gestori nazionali dei sistemi di illuminazione per sviluppo delle interfacce con PELL ed i sistemi di telegestione;
- attivazione di un tavolo di confronto con i principali stakeholders (ANCI, AIDI, ASSISTAL, Acquirente Unico) per coinvolgerli nell'avvio e nella diffusione del PELL;
- analisi di fattibilità di impiego del PELL all'interno di modelli finanziari per la riqualificazione o gare nazionali (CONSIP, MEPA); valutazione dei modelli di business per la riqualificazione;
- impostazione delle attività propedeutiche allo sviluppo di un Living Lab ai fini del coinvolgimento dei cittadini e della condivisione con tutti gli operatori diretti e indiretti del settore, degli aspetti e problematiche relativi alla gestione degli impianti e del servizio di pubblica illuminazione;
- perfezionamento e trasferimento del modello gestionale "Lumière" mediante il coinvolgimento, collaborazione ed ampliamento del Network; verifica delle modalità di trasferimento del PELL sul territorio mediante il coinvolgimento delle amministrazioni;
- sviluppo della procedura di adesione del comune e del gestore al PELL;
- impostazione di una serie di attività propedeutiche allo sviluppo di una Distance learning room attraverso la quale si forniranno training specialistici e workshop in remoto rivolti alle categorie di soggetti interessati e/o operanti nella settore dell'illuminazione pubblica ;
- implementazione di software (versione 1) per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione di edifici pubblici, residenziali e non (LENI).

b. Smart Street

- Analizzare le problematiche relative alla innovazione tecnologica, funzionale e gestionale di scenari smart street in particolare:
 - o Gestione di Big Data
 - o Piattaforme e protocolli di comunicazione
 - o Cyber Security.
- Sviluppare algoritmi di tipo "model predictive control". Valutarne gli impatti su risparmio energetico dovuto alla loro applicazione su impianti di illuminazione stradale.
- Prosecuzione di attività nell'ambito dello "Smart Village Casaccia". Ampliare le funzioni dello Smart Village aggiungendo alla gestione di reti di smart building anche quello delle strade interne attraverso l'implementazione di una smart street prototipale
- Iniziare attività sperimentale presso i Laboratori ENEA Ispra. Realizzare un prototipo di palo/sensore intelligente. Lo scopo è quello di implementare il sensore/telecamera con altre funzioni e integrarlo

con altri sensori (ambientali, acustici, fotometrici,...)

- Prosecuzione attività normativa nel settore dell'illuminazione, in particolare sul fenomeno della luce dispersa verso l'alto da impianti di IP (inquinamento luminoso) in UNI GL8

c. Human Centric Lighting per la gestione Smart degli edifici di un District

- Mappatura del contesto attuale dell'illuminazione in ambito residenziale e del relativo mercato. Progettazione per un prodotto di illuminazione a LED dedicato alla popolazione che invecchia;
- sperimentazione di dispositivi di illuminazione intelligente e controllo per uffici/ambito industriale;
- studio sperimentale sul ciclo circadiano in ambiente reale;
- partecipazione ai lavori in ambito normativo nazionale e internazionale su prodotti/sistemi di illuminazione; supporto tecnico per legislazione europea Ecodesign ed Etichettatura Energetica.

Principali risultati previsti nell'annualità

a. PELL

- ✓ Sviluppo sperimentale di una Piattaforma nazionale di gestione e monitoraggio dati impianti IP
- ✓ Sviluppo sperimentale di un Portale PELL WebGis, Living lab per i cittadini e attività di formazione
- ✓ Modelli per la gestione e l'efficientamento: modello gestionale supervisionato, modello di business e valutazione degli investimenti, strumenti e prodotti finanziari, quantificazione degli impatti economico-ambientali
- ✓ Tool per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti d'illuminazione in ambienti confinati (edifici pubblici, residenziali e non)
- ✓ Implementazione del Network Lumière per la condivisione dei metodi su un ampio spettro di stakeholder nazionali e ricognizione operatori settore Edifici pubblici per coinvolgimento nel Network nell'ottica di sviluppo di uno Smart District

b. SMART STREET

- ✓ Analizzare le problematiche relative alla innovazione tecnologica, funzionale e gestionale di scenari smart street in particolare:
 - Gestione di Big Data
 - Piattaforme e protocolli di comunicazione
 - Cyber Security.

Per ciascuno di questi aspetti si prevede un inquadramento generale del problema, un'analisi dei principali aspetti metodologici e tecnologici e proposte di soluzioni nello specifico scenario della Smart Street installata nello "Smart Village Casaccia".

- ✓ Analizzare e sviluppare algoritmi di tipo "model predictive control". Valutare impatto su risparmio energetico dovuto all'applicazione di un algoritmo di regolazione dinamica su un impianto di illuminazione stradale.
- ✓ Realizzazione modello prototipale di strada intelligente (Smart Street in "Smart Village Casaccia") Il progetto di smart street prevede l'installazione di: telecontrollo punto punto ad onde convogliate, telecamere Smart-Eye per analisi scena/sicurezza, hot spot wifi.
- ✓ Iniziare attività sperimentale presso i Laboratori ENEA Ispra. Acquisire sensore/telecamera customizzata dal produttore su indicazioni ENEA. Re-ingegnerizzazione kernel Linux per accesso ai moduli aggiuntivi USB, I2C, SPI, GPIO, disponibili come interfacce hw (Obiettivo: sviluppo di un sistema multi-sensore)
- ✓ Redazione norma UNI 11630:2016 "Luce e illuminazione - Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico". Analisi e proposte per la revisione della UNI 10819:1999 "Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso"

c. HUMAN CENTRIC LIGHTING

- ✓ Progetto di sistema di illuminazione “human centric” per ambito residenziale
- ✓ Analisi di monitoraggio di impianti di illuminazione e controllo intelligente per luoghi di lavoro
- ✓ Predisposizione alla metodologia per il controllo circadiano applicabile all’illuminazione di uffici

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Tutte le attività sono svolte dall’ENEA. CNR e RSE non svolgono attività sulla stessa tematica.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall’esecuzione delle attività

Data la specificità e gli obiettivi che il progetto si prefigge, i benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale, avranno una natura sia tecnica sia socio economica. In particolare l’attività concorrerà al conseguimento dei seguenti benefici:

Pubblica Illuminazione

- riduzione del 30% dei consumi degli impianti di pubblica illuminazione su cui il progetto agisce e relativa riduzione delle emissioni di CO₂;
- censimento georeferenziato della qualità delle infrastrutture esistenti e monitoraggio permanente della qualità di gestione; base informativa per policymaker, stakeholders e cittadini;
- razionalizzazione dei costi di gestione e manutenzione degli impianti;
- riduzione del cosiddetto “inquinamento luminoso”;
- miglioramento del servizio di pubblica illuminazione offerto ai cittadini e disponibilità di esperienze pilota di nuovi servizi (smart services) che configurano la rete di pubblica illuminazione come base per lo sviluppo della smart city.

Illuminazione in ambienti confinati

- miglioramento del comfort visivo negli ambienti confinati ed in particolare per fasce mirate di popolazione; orientamento dello sviluppo tecnologico e supporto all’industria verso strategie produttive aderenti al momento storico ed alle esigenze e preparazione degli utenti e della società in generale;
- ottimizzazione dei consumi energetici degli impianti d’illuminazione artificiale;
- supporto ai professionisti del settore nel calcolo delle prestazioni energetiche degli impianti;
- avvio di un processo di preparazione e coinvolgimento del tessuto sociale ai cambiamenti tecnologici.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Public Energy Living Lab - Sviluppo metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale

La piattaforma Public Energy Living Lab (PELL) mira a creare conoscenza del tessuto energetico del territorio; consapevolezza su consumi, sprechi, potenzialità di miglioramento; sviluppo di trasparenza tra comuni e concessionari dei servizi e certezza dei risultati; favorire la bancabilità dei progetti di riqualificazione attraverso la possibilità di monitorare continuamente il rischio di investimento.

La ricerca si svolgerà con le seguenti attività parallele.

a.1. Sviluppo metodologia

- Perfezionamento e sviluppo dei KPI (Key Performance Indicators) riferiti alla valutazione delle prestazioni teoriche dello stato di fatto ed ai miglioramenti potenziali rispetto a tecnologie di riferimento (BAU, BAT); alle prestazioni dinamiche misurate (sia di consumo che di comfort atteso); alle analisi diagnostiche e valutazione della discrepanza tra prestazioni teoriche e prestazioni misurate. Verrà esteso il sistema di visualizzazione comparativa dei KPI per confrontare risultati di comuni/impianti

- diversi (benchmarking).
- Progettazione e sviluppo preliminare di una piattaforma evoluta per il monitoraggio di grandi quantità di dati provenienti da impianti illuminotecnici. Definizione di una architettura di riferimento e funzionalità dei vari componenti, analisi dei flussi di dati giornalieri, degli storage necessari nel corso degli anni di sviluppo della infrastruttura in relazione al numero dei quadri illuminotecnici acquisiti. Definizione del data model per lo storage dei dati. Analisi della tipologia e tecnologia per il database e dell'hardware di calcolo necessario.
- Definizione del processo di trasmissione dei dati e dei relativi standard nella interazione tra i sistemi dei gestori ed il server ENEA. Tale procedura e protocollo tecnico potrà costituire la base per l'integrazione del PELL all'interno di gare nazionali (es: Consip). Creazione di un tavolo di gestori e produttori di sistemi di telegestione per la guida allo sviluppo delle interfacce (M2M, machine to machine) tra i sistemi di telegestione ed il PELL.
- Definizione della architettura GIS, scelta delle metodologie e tecnologie con particolare focalizzazione verso sistemi open. Realizzazione di un prototipo su piattaforma WebGis, con integrazione di una Open Smart Platform (OSP) con un sistema di visualizzazione Web GIS Geo SDI; effettuazione di test in un ambiente controllato (es: CR Casaccia) come Case Study.
- Definizione di un protocollo di adesione dei comuni alla piattaforma PELL tramite portale WEB e delle modalità di download e upload della scheda censimento per l'inserimento dei dati di progetto e di funzionamento dell'impianto. Modalità di consultazione di una prima serie di dati caricati sulla piattaforma, relativi allo stato dell'impianto oggetto di analisi, da parte di amministratori e cittadini.

a.2. Implementazione del PELL sul territorio

- Coinvolgimento dei Comuni Lumière al PELL ai fini dell'individuazione delle modalità e problematiche connesse all'adesione. Perfezionamento e trasferimento del modello gestionale "Lumière" mediante il coinvolgimento, collaborazione ed ampliamento del Network;
- Coinvolgimento dei Comuni e relativi gestori degli impianti di illuminazione pubblica ed invito ad aderire al PELL secondo le modalità previste dal protocollo di adesione predefinito; identificazione dei quadri per il primo set di impianti pilota; assistenza alla compilazione della scheda censimento; allacciamento al sistema PELL.
- Condivisione delle metodologie PELL con i principali stakeholders del settore IP (CONSIP, gestori, produttori e installatori di sistemi intelligenti per l'illuminazione pubblica, Acquirente Unico, ANCI, Associazioni di Categoria, Regioni, Unioni di Comuni), ai fini di uno sviluppo condiviso e concertato del Progetto. Sono previsti incontri con redazione di documenti condivisi ed un incontro plenario per la ratificazione dei risultati.
- Sviluppo di un modello per la valutazione economica dei costi di intervento e del relativo risparmio che, a partire dai dati delle schede censimento, ipotizza degli scenari di intervento e fornisce una valutazione economica dei costi e dei risparmi connessi. Analisi comparata dei principali modelli attualmente disponibili per la gestione e per la riqualificazione e formulazione di ipotesi migliorative basate sull'utilizzo della piattaforma PELL.
- Impostazione delle attività propedeutiche allo sviluppo di un Living Lab (tramite un portale "Social") ai fini del coinvolgimento dei cittadini e della condivisione con tutti gli operatori diretti e indiretti del settore, degli aspetti e delle problematiche relativi alla gestione degli impianti e del servizio di pubblica illuminazione.
- Impostazione di una serie di attività propedeutiche alla realizzazione di una Distance learning room per la somministrazione di training specialistici e workshop in remoto alle categorie di soggetti interessati e/o operanti nella settore dell'illuminazione pubblica.

a.3. Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici

- Si implementerà un software per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione di edifici pubblici, residenziali e non - versione 1- per il calcolo dell'indicatore LENI riferito alla norma EN 15193 (attività che si collega a quanto svolto nella precedente PAR2014 che ha visto lo sviluppo di una versione 0 del software). Tale versione del software sarà completa rispetto alla procedura di valutazione dell'indicatore LENI ma non ancora completamente validata.

- Parallelemente, si effettuerà uno studio preliminare relativo all'identificazione di tipologie di edifici significative in rapporto ai fabbisogni energetici per l'illuminazione (ad esempio uffici, scuole, ospedali, etc.), delle caratteristiche degli stessi in termini di soluzioni di illuminazione naturale, di impianti di illuminazione artificiale e di tipologie di sistemi di controllo. Questa attività è propedeutica per identificare casi studio per una successiva validazione di strumenti di calcolo del fabbisogno per l'illuminazione (LENI) tra cui il software in oggetto.
- Sarà svolta una analisi di fattibilità per l'integrazione futura del software nella piattaforma PELL.

Risultati/Deliverable:

- Report sulla descrizione delle metodologie di raccolta ed analisi dati e relativa sperimentazione, descrizione della realizzazione della piattaforma ICT (architettura, piattaforma WebGis)
- Report sul coinvolgimento ed adesione dei Comuni al PELL ed attività di Distance Learning
- Report inerente i modelli di business analizzati e modello per la valutazione economica degli investimenti (CRIET)
- Report " Diffusione del modello gestionale Lumière&PELL e supporto allo studio della "Human centric Lighting" (AIDI)
- Report Politecnico di Torino relativo allo studio preliminare per l'identificazione di edifici ed installazioni tipo, propedeutico alla validazione del metodo di calcolo standard del LENI
- Report Università Roma Tre sulla progettazione e sullo sviluppo prototipale di strumenti per la gestione del Public Energy Living Lab
- Prototipo della piattaforma PELL di ricezione ed elaborazione dati
- Versione 1 del software per il calcolo delle prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione di edifici pubblici e residenziali e non (indicatore LENI)
- Report sul software per il calcolo dell'indicatore LENI riferito allo standard EN 15193-1 per la valutazione delle prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione artificiale"

Principali collaborazioni: CRIET, ANCI, GESTORI, Associazioni Categoria (ASSIL, AIDI, APIL, ASSISTAL), Politecnico di Torino - Dip. Energia, Università Roma Tre - Dip. Scienze

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Smart Street - definizione architettura funzionale delle tecnologie e metodologie abilitanti (palo intelligente e smart lighting)

La "Smart Street" è un sistema integrato in cui l'infrastruttura di illuminazione pubblica (apparecchio, palo, linea elettrica...) è la tecnologia abilitante per altre funzioni, non solo in supporto alla gestione della stessa illuminazione. Questo permette lo sviluppo di un sistema più ampio di osservazione e controllo del territorio e la fornitura di un insieme di servizi al cittadino.

L'attività si focalizzerà soprattutto sullo sviluppo di un modello di Smart Street partendo dalle esperienze fatte e dalle conoscenze già acquisite e in particolare comprenderà le seguenti attività parallele.

b.1. Sviluppo della architettura e tecnologie di smart lighting e funzionalità del palo intelligente

- Definizione delle funzioni del "palo intelligente" ed interazioni con altre strutture ad esso connesse . Sviluppo degli algoritmi per il controllo adattivo e per l'utilizzo delle funzioni. Progettazione di un sistema prototipale integrato in grado di far evolvere il palo in "palo intelligente" che oltre alla regolazione e gestione del flusso luminoso, sia anche di supporto per la pianificazione del traffico veicolare, il controllo (cioè la attivazione di funzioni in base alle rilevazioni) di parametri meteorologici ed ambientali, la diagnostica della scena urbana (criticità, danni); la progettazione parte da prodotti già esistenti per farli evolvere con nuove capacità sensoristiche integrate e logiche.
- Progettazione di una architettura di pali e sensori intelligenti, sistemi di trasmissione dati, sistemi di telegestione operanti in modalità aperta (Internet of Things); analisi e definizione degli standard; analisi dei servizi integrabili nella illuminazione pubblica. Tale architettura è la base della "Smart Street".
- Sviluppo di algoritmi di tipo 'model predictive control' che, sulla base di un modello predittivo della domanda energetica (flussi di traffico), fornisce, secondo orizzonti temporali che possono variare

dall'ora alla settimana, il grado di dimmerazione del flusso luminoso in funzione del declassamento stradale consentito dalla normativa.

- Sviluppo prototipale di una smart street nel CR ENEA Casaccia. In parallelo alla attività di progettazione del punto precedente si inizierà anche la realizzazione di un sistema prototipale di smart street. Presso il CR ENEA Casaccia è già stata realizzata un'implementazione di questa attraverso un viale pedonale illuminato con tecnologia led e controllato mediante un sistema di telegestione che fornisce un profilo di dimmerazione statico. Lo sviluppo di questo consisterà nella progettazione ed implementazione prototipale di un viale con passaggio di veicoli e persone, sempre interno al CR Casaccia, in cui cominciare ad applicare e validare alcuni dei punti sopra descritti (palo intelligente, smart lighting).
- Si cominceranno ad esaminare possibili applicazioni urbane di smart street con pali intelligenti multifunzionali e sistemi di smart lighting.
- Analisi della vulnerabilità del sistema smart street nella sua interezza (guasti tecnologici, attacchi informatici ed eventi naturali); individuazione dei requisiti per migliorarne la sicurezza agli eventi avversi, inclusi gli attacchi informatici del sistema prototipale integrato.

b.2. Analisi degli standard e modelli di illuminazione

- Collaborazione con i comitati di standardizzazione per definire un framework di standardizzazione e normativa per lo smart lighting e la illuminazione adattiva.
- Sviluppo di un modello per la quantificazione della luce dispersa verso l'alto. Secondo molte leggi regionali, bisogna quantificare la luce emessa verso l'alto dagli apparecchi di illuminazione. Questo è relativamente semplice nel caso in cui l'apparecchio sia orientato per illuminare il piano stradale, ma è di difficile valutazione dove l'apparecchio illumina altre superfici (ad esempio facciate di edifici). Sarà quindi modellato il fenomeno fisico e proposto un metodo di calcolo; questo verrà implementato su alcuni dei software di simulazione disponibili sul mercato.

Risultati/Deliverable:

- Report sulla architettura della smart street, sulla piattaforma aperta, algoritmi di controllo adattivo, smart services, sui metodi di protezione della infrastruttura e sul progetto di installazione urbana dimostrativa, sullo sviluppo del sistema prototipale per l'evoluzione del palo intelligente.

Principali collaborazioni: Università Roma 3- Dipartimento Energia; aziende coinvolte (*fruitori o partner*): Acea IP, produttori sistemi telegestione, aziende di elettronica e sistemi di illuminazione (Smart-I), Acrotec, UVAX, TecnoService Arese (*a costo 0*)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Human centric lighting - definizione contesto e prima progettazione

c.1 HCL sperimentazione nel settore residenziale e terziario

La ricerca per Human Centric Lighting (HCL) per il settore residenziale inizierà con la mappatura del contesto attuale dell'illuminazione in ambito residenziale, con il relativo mercato, inquadrati nella "visione" europea di Ecodesign. Saranno presi in considerazione aspetti di sostenibilità, efficienza energetica e benessere delle persone, ma anche il comportamento delle persone in relazione all'efficienza energetica. Sarà quindi studiata una possibile evoluzione dell'illuminazione nel breve e medio termine, per proporre scenari possibili. La ricerca si concentrerà quindi in modo particolare sulle implicazioni dell'illuminazione artificiale in termini di miglioramento della qualità della vita di una popolazione che sta invecchiando nel contesto applicativo del proprio ambito familiare e domestico ("aging in place" e "active aging"). Questa ricerca sarà utile a definire con maggiore dettaglio il progetto di un prodotto di illuminazione a LED per il benessere di una popolazione che invecchia. Sarà effettuata la progettazione del prodotto, in vista della successiva realizzazione di un prototipo, che permetterà in futuro di svolgere test specifici con installazioni su scala reale e, se necessario, sarà eventualmente realizzata una pre-prototipazione di componenti specifici.

Si svilupperà in parallelo la sperimentazione sul campo, in scala reale, di dispositivi di illuminazione

intelligente e controllo per luoghi di lavoro uffici/ambito industriale, frutto della ricerca passata, e installati presso l'edificio laboratorio ENEA Ispra.

Verranno effettuati monitoraggi di luce naturale in ambienti lavorativi reali su scala temporale estesa, da cui si trarranno indicazioni per razionalizzare il protocollo di misura. Si studierà la fattibilità dell'allestimento di due stanze test per lo sviluppo e messa a punto di una metodologia di controllo smart dell'illuminazione, sia naturale che artificiale, finalizzato al conseguimento di condizioni ottimali non solo per il comfort visivo, ma anche per la corretta regolazione dei ritmi circadiani. Si svolgerà una attività basata su simulazioni illuminotecniche, con approccio sia statico che dinamico, con l'obiettivo di valutare le relazioni che intercorrono tra gli illuminamenti di vari punti localizzati in ambiente, al variare della disponibilità di luce naturale e della posizione del sistema schermante. Obiettivo di tali simulazioni è quello di individuare le posizioni più efficaci per la collocazione dei sensori al fine della valutazione dell'impatto circadiano.

c.2 Supporto tecnico-scientifico in attività normativa ed Ecodesign

Continuerà la partecipazione ENEA ai lavori in ambito normativo nazionale e internazionale (UNI, CEN) su prodotti e sistemi di illuminazione, e sugli argomenti generali legati all'illuminazione, quali la fotometria, la colorimetria e la progettazione. Eventualmente saranno svolte attività sperimentali per approfondire metodi di misura allo studio.

A livello europeo, proseguirà l'attività di supporto tecnico all'Italia per le attività che si svolgono, a livello di Commissione Europea, sullo sviluppo di legislazione di Ecodesign ed Etichettatura Energetica, in particolare su prodotti e sistemi di illuminazione e sugli "smart appliances", in cui sono compresi anche i dispositivi di illuminazione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulle attività svolte da ENEA per ciascun macroargomento
- Rapporto del beneficiario sulle attività svolte - Politecnico di Milano
- Rapporto del beneficiario sulle attività svolte- Università di Napoli

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano Dip .Design, Università Federico II Napoli

Durata: ottobre 2015 – settembre 2016

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

I risultati delle attività di ricerca saranno pubblici e disponibili per tutti. Per questo motivo sarà data grande importanza e attenzione nella predisposizione e attuazione di un Piano di diffusione dei risultati ottenuti.

Le azioni di comunicazione, partendo dai risultati ottenuti dall'ENEA con eventuali partner,, prevedono di realizzare, con un linguaggio efficace dal punto di vista comunicativo, materiali informativi destinati ai vari target di riferimento, beneficiari finali delle attività (Utenti finali, Enti Locali, Sistemi di Imprese, Associazioni di categoria, settore scolastico, ecc.). Con il coinvolgimento e il supporto dei responsabili dei diversi task del Progetto verranno diffusi i risultati raggiunti attraverso:

- Articoli a carattere scientifico su riviste di settore.
- Partecipazione ai principali network internazionali di scambio di informazioni (IEA, EERA, CCR, EIP, ecc.) e partecipazione a gruppi di lavoro sulle diverse tematiche del Progetto..
- Interventi sui media locali e nazionali (riviste, riviste on-line, quotidiani, TV).
- Organizzazione e/o partecipazione ad eventi (conferenze, workshop, seminari, manifestazioni espositive) distribuiti sul territorio nazionale, per illustrare i risultati nella loro totalità e per approfondimenti specifici.

Risultati/Deliverable:

- Report su tutte le iniziative di diffusione realizzate

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Public Energy Living Lab - sviluppo metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale												
	<i>a.1 Sviluppo metodologia</i>												
	<i>a.2 Implementazione del PELL sul territorio</i>												
	<i>a.3 Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici</i>												
b	Smart Street - definizione architettura funzionale delle tecnologie e metodologie abilitanti (palo intelligente e smart lighting)												
	<i>b.1 Sviluppo della architettura e tecnologie di smart lighting e funzionalità del palo intelligente</i>												
	<i>b.2 Analisi degli standard e modelli di illuminazione</i>												
c	Human centric lighting (HCL) – definizione contesto e prima progettazione												
	<i>c.1 HCL sperimentazione nel settore residenziale e terziario</i>												
	<i>c.2 Supporto tecnico-scientifico in attività normativa ed Ecodesign</i>												
d	Comunicazione e diffusione dei risultati												

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficari (U)	
a	Public Energy Living Lab - sviluppo metodologie di valutazione ed avvio penetrazione territoriale									
	<i>a.1 Sviluppo metodologia</i>	2850	104	62	0	25	0	3	30	224
	<i>a.2 Implementazione del PELL sul territorio</i>	2900	106	64	0	0	10	1	50	231
	<i>a.3 Implementazione software per calcolo prestazioni energetiche di sistemi di illuminazione di edifici</i>	580	21	13	9	0	0	1	15	59
	<i>Subtotale Ob.a</i>	6330	231	139	9	25	10	5	95	514
b	Smart Street - definizione architettura funzionale delle tecnologie e metodologie abilitanti (palo intelligente e smart lighting)									
	<i>b.1 Sviluppo della architettura e tecnologie di smart lighting e funzionalità del palo intelligente</i>	1860	68	41	0	0	0	0	0	109
	<i>b.2 Analisi degli standard e modelli di illuminazione</i>	1340	49	29	0	0	0	0	40	118
	<i>Subtotale Ob.b</i>	3200	117	70	0	0	0	0	40	227
c	Human centric lighting (HCL) – definizione contesto e prima progettazione									
	<i>c.1 HCL sperimentazione nel settore residenziale e terziario</i>	1230	45	27	9	8	0	1	65	155
	<i>c.2 Supporto tecnico-scientifico in attività normativa ed Ecodesign</i>	900	33	20	0	0	0	0	0	53
	<i>Subtotale Ob.c</i>	2130	78	47	9	8	0	1	65	208
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	840	31	18	0	1	0	1	0	51
		12500	457	274	18	34	10	7	200	1000

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/RdS

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento, include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e, consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri e pari a 36,6 €/h, Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
a.3	Aggiornamento software LENI	24280	1500	Esclusivo
a.1	Videoluminazometro	16000	37	Esclusivo
a.1	Aggiornamento PELL	23940	260	Esclusivo
c.1	Spettro radiometro UV-VIS	16400	266	Non esclusivo
b.1	Smart I advanced	20500	11	Esclusivo
b.1	Customizzazione Sistema Smart I	8000	4	Esclusivo
c.1	Lampade di riferimento	2800	40	Esclusivo
c.1	Gonio Brdf Oxytech	25361	5070	Esclusivo
c.1	Spettrofotometro Konica Minolta	13253	2700	Esclusivo
c.1	Spettrofotometro Konica Minolta	4532	900	Esclusivo
c.1	Kit stampante laser 3D Futura	688	140	Esclusivo
a.3	Software LENI	24156	7900	Esclusivo

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili; in grassetto le attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
c.1	Licenze software UTESTAR 4D, TRACEPRO, TARATURA LUXMETRO	7820
a.1	Licenze perpetue IBM SPSS for Analytic Professional Academic Concurrent USER Licence	25300
d	Materiale disseminazione (convegni, brochure, video)	1000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

AIDI: è l'Associazione Italia d'Illuminazione che opera con l'obiettivo di diffondere la conoscenza dei problemi legati ai temi dell'illuminazione attraverso un'azione d'informazione scientifica, tecnica e culturale. Essa, nell'ambito dell'obiettivo a.2, collaborerà al perfezionamento e diffusione della metodologia Lumiere per la gestione degli impianti di pubblica illuminazione ed allo studio e valorizzazione della human centric lighting. Importo previsto 10 k€.

4) Attività previste per le Università cobeneficarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a	Università Bicocca di Milano - CRIET Svolgerà attività nell'ambito dell'obiettivo a sviluppando sia un software per calcolare i costi degli interventi di riqualificazione degli impianti di pubblica illuminazione e i conseguenti risparmi energetici conseguibili sia appositi modelli di business e/o strumenti finanziari per facilitarne la realizzazione. L'università ha competenza pluriennale in merito alla valutazione operativo/economica degli ostacoli all'ammodernamento degli impianti di pubblica illuminazione. Ha sviluppato in collaborazione con Progetto Lumiere il Progetto Illumina per l'efficientamento energetico degli impianti illuminotecnici di un aggregazione di Comuni. Opera sulla tematica coinvolgendo una rete di Università su tutto il territorio nazionale. In sostanza fornisce ad ENEA un supporto che spazia da tematiche prettamente economico/gestionali a quelle di ricerca e diffusione territoriale. Importante è anche il supporto ai fini della formazione degli amministratori pubblici..	30

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a	<p>Università UniRoma3 - Dipartimento di Scienze Studio sui Key Performance Indicators. Il dipartimento ha già collaborato con ENEA nella fase iniziale dello sviluppo del Public Energy Living Lab con particolare riferimento ad uno studio preliminare sui KPI congrui all'attuale situazione del mercato del sistema elettrico. Il lavoro svolto è stato propedeutico ed indispensabile allo sviluppo della progettualità prevista nella presente annualità.</p>	50
b	<p>Università Roma3 - Dipartimento di Ingegneria Studio per la progettazione della piattaforma aperta per Internet of Things. Il Dipartimento di Ingegneria contribuirà, allo studio per la progettazione della interazione tra i sistemi di campo della strada e la piattaforma ICT ed analisi dati. Tale dipartimento di questa università ha già collaborato con ENEA nel precedente triennio della RdS nella linea di attività 'smart building network' circa lo sviluppo della piattaforma ICT 'Smart Village'. Le attività svolte sono state sempre portate a termine sviluppando soluzioni innovative, pertanto questo è garanzia di successo nelle attività da svolgere in questo contesto</p>	40
c	<p>Politecnico di Milano, Dip. Design Il politecnico di Milano volgerà lo studio per la mappatura del contesto attuale e sull'evoluzione dell'illuminazione in ambito residenziale (in collaborazione con ENEA) e le analisi specifiche legate alla fascia anziana della popolazione, proponendo possibili scenari. Effettuerà la progettazione del prototipo di prodotto di illuminazione domestica per anziani ed eventualmente ne curerà la realizzazione. Il Politecnico di Milano Dip.Design è stato scelto perché è una delle università leader in Italia per la formazione dei lighting designers, ha una notevole e pluriennale esperienza di illuminotecnica e svolge attività di ricerca sull'illuminazione grazie al ben attrezzato suo "laboratorio LUCE". Inoltre la collaborazione con ENEA negli anni passati è sempre stata molto fruttuosa.</p>	40
a	<p>Politecnico di Torino - Dip. Energia Svolgerà lo studio preliminare per l'identificazione delle tipologie di edifici, di soluzioni di sistemi di illuminazione naturale, impianti di illuminazioni artificiale e sistemi di controllo propedeutici per la successiva validazione del software di calcolo LENI. Il Dip.Energia è esperto a livello internazionale nell'ambito delle simulazioni dinamiche dell'illuminazione naturale e artificiale di edifici per il calcolo delle prestazioni.</p>	15
c	<p>Università Federico II di Napoli - Dipartimento di Ingegneria Industriale Svolgerà lo studio di fattibilità dell'allestimento di due stanze test per lo sviluppo e messa a punto di un sistema di controllo smart dell' illuminazione, sia naturale che artificiale, finalizzato al conseguimento di condizioni ottimali non solo per il comfort visivo, ma anche per la corretta regolazione dei ritmi circadiani, con simulazioni illuminotecniche per valutare le relazioni che intercorrono tra gli illuminamenti di vari punti localizzati in ambiente, al variare della disponibilità di luce naturale e della posizione del sistema schermante. Il Dip.Ingegneria Industriale è esperto a livello internazionale di valutazioni dell'influenza della luce sui ritmi circadiani. Inoltre la collaborazione con ENEA negli anni passati è sempre stata molto fruttuosa.</p>	25
TOTALE		200

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Nessuno

AREA	EFFICIENZA ENERGETICA E RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI USI FINALI ELETTRICI E INTERAZIONE CON ALTRI VETTORI ENERGETICI
Tema di Ricerca	SMART CITIES E SMART COMMUNITIES
Progetto D.7	SVILUPPO DI UN MODELLO INTEGRATO DI SMART DISTRICT URBANO

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Secondo una indagine della Commissione Europea, circa quattro quinti della energia viene consumata nelle città dove si concentra l'attività insediativa, produttiva e di massimo impatto sull'ambiente. Per questo la Commissione Europea identifica nella keyword "Smart Cities" una delle misure prioritarie per affrontare la problematica energetico-ambientale espressa nello Strategic Energy Technology Plan, il piano che definisce le principali direzioni di sviluppo strategico dell'Europa in tema di Energia.

Tale approccio mira a traguardi di abbattimento dei consumi energetici (ed in primo luogo elettrici) molto più importanti di quelli ottenuti finora attraverso strategie basate essenzialmente sulla sostituzione di componenti con altri a maggiore efficienza energetica. L'approccio della "sostituzione del componente" porta inevitabilmente ad una saturazione per la continua riduzione dei margini di efficienza a fronte di sforzi tecnologici sempre più elevati. Operando anche sugli aspetti organizzativi dei servizi energivori potremmo invece cogliere il reale potenziale di risparmio energetico. Nella maggior parte dei casi si tratta di agganciare in modo molto più sincronizzato la risorsa energetica alla effettiva necessità (luogo, tempo, intensità). Il principio organizzativo da utilizzare è quello del "resource on demand" o nel caso direttamente energetico, "energy on demand". Tale approccio richiede però una tecnologia di sistema ben più avanzata che coinvolge tutta la rete. Occorre sensoristica urbana e sistemi di interazione per comprendere esattamente la necessità dell'utente, sistemi di trasmissione dati e sistemi di raccolta integrata dei dati (cloud urbani), sistemi ad elevata intelligenza, diagnostica ed ottimizzazione che fondono i dati provenienti da diversi canali informativi, ed infine servizi urbani capaci di adattare la risposta (ad esempio nei casi citati: sistemi mobility on demand, sistemi di telegestione e dimmering della pubblica illuminazione, sistemi di gestione adattiva di reti di edifici).

Le tematiche energetiche e funzionali sono uno degli aspetti principali e trainanti del problema ma la vera forza della tematica "smart cities" sta nella capacità dell'approccio olistico di mettere insieme gli elementi energetico-ambientali e gli elementi di carattere sociale come la consapevolezza energetica, la partecipazione e coesione sociale e la qualità della vita, quindi una sostenibilità intesa a 360°. Per questo la keyword "smart city" viene riconosciuta come propria in molte discipline diverse costituendo un punto di congiunzione di diversi linguaggi. Probabilmente la parola "smart" sta oggi a significare una equazione "sostenibilità-connettività" che viene poi coniugata trasversalmente nei vari contesti. A causa di questa domanda incrociata, proprio l'equazione "sostenibilità-connettività" rappresenterà il terreno di sfida high-tech per le aziende nei prossimi anni. Si tratta di un cluster di tecnologie e di applicazioni per aumentare la interconnessione tra reti attraverso lo sviluppo di "servizi innovativi multifunzionali" che vanno dalla gestione ottimale dei consumi energetici e della rete locale, al controllo degli impatti ambientali, dagli aspetti legati alla mobilità, dalla crescita educativa alla partecipazione sociale e partecipazione alla governance efficiente.

Il processo di sviluppo della rigenerazione urbana in senso smart, non può procedere simultaneamente su tutta la città e le sue implicazioni poiché il problema è molto complesso sotto molti punti di vista (tecnologico, sociale, economico, politico) e richiede una roadmap per passi che qualifichi dapprima le tecnologie su piccola scala, poi su scale più ampi (distretti smart) ed infine sull'intera città. La scala "atomica" che sembra essere il nodo centrale per arrivare ad un modello replicabile sembra essere proprio lo "smart district". Tale scala è sufficiente complessa da poter implicare tutte le problematiche di integrazione, interoperabilità, accettazione sociale e competitività, ma ancora sufficientemente piccola da essere oggetto di una ricerca applicata ed una qualificazione "dimostrativa". E' questa la strategia scelta

dalla Commissione Europea nel varo del programma Horizon 2020 (vedi call SCC1 “Lighthouse Cities”) ed è questa la strada maestra intrapresa a livello internazionale.

L’obiettivo del progetto D.7 consiste nello sviluppo di un modello di “distretto urbano intelligente” che coniuga aspetti tecnologici e aspetti sociali, finalizzati al miglioramento dei servizi erogabili ai cittadini in quanto più efficienti dal punto di vista energetico e funzionale.

Nel distretto è prevista infatti l’implementazione di tecnologie e metodologie per l’integrazione tra vettori energetici e le loro infrastrutture, la cui gestione combinata renderà il sistema più efficiente, affidabile e meno energivoro. La soluzione proposta prevede una combinazione tra tecnologie, modelli di business e coinvolgimento dei cittadini in un approccio innovativo di rigenerazione urbana.

L’attività si focalizza sullo sviluppo integrato di infrastrutture pubbliche urbane, sistemi per la modellazione e gestione della rete energetica del distretto (smart district), sistemi centralizzati per l’analisi dei dati provenienti dalle abitazioni con interfaccia dialogativa utente (smart homes service) e sistemi di supporto alle decisioni per la valutazione del rischio del patrimonio edilizio e delle infrastrutture.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell’attività

La liberalizzazione del mercato dell’energia ha comportato negli ultimi anni la moltiplicazione dei profili tariffari offerti dai numerosi gestori (Enel, Eni, Acea etc.), che spesso forniscono anche servizi di informazione sui consumi energetici domestici.

Contemporaneamente la diffusione di tecnologie “smart” a prezzi accessibili, nei diversi ambiti applicativi (smart home, lighting, mobility, ecc.), ha creato la necessità di integrare dati provenienti da reti diverse, adottando soluzioni e standard verso cui convergere.

Sul mercato odierno si assiste alla proliferazione di:

- piattaforme ICT proprietarie, che costituiscono sistemi chiusi non integrati e non interoperabili, che comporta per le pubbliche amministrazioni l’obbligo di doversi affidare sempre allo stesso fornitore di servizi (fenomeno del “locked in”);
- sistemi di domotica, ancora chiusi e proprietari, che offrono la possibilità di automatizzare alcune funzioni all’interno della residenza.

Allo stesso tempo, iniziative a livello comunitario hanno definito framework basati su standard che consentono di implementare soluzioni aperte, standardizzabili e migrabili per le Smart City.

Attualmente non esiste un servizio in grado di garantire un sistema di gestione ottimale dell’energia e di supporto alle decisioni a costi contenuti e che sia aperto, in grado di consentire integrazioni in termini di funzionalità e di servizi offerti.

Inoltre, nonostante sia riconosciuto il valore aggiunto apportato da tali sistemi in termini di consapevolezza e riduzione dei costi energetici e, in generale di qualità della vita, non esistono ad oggi leggi o norme tecniche che ne facilitino l’adozione e ne rendano attrattivi gli investimenti.

Attualmente l’Italia è in procinto di avviare importanti programmi di sviluppo delle smart cities ma manca ancora la conoscenza per rendere tali applicazioni inter-operabili, riutilizzabili, standardizzabili.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Il progetto “Smart District” costituisce un’evoluzione degli ambiti di ricerca su cui ci si è focalizzati nei precedenti piani triennali, per i quali si sono condotte attività su ambiti specifici che vengono ripresi con un approccio integrato in ottica Smart City.

Nel precedente triennio 2012-2014 è stata sviluppata una metodologia di Smart Village nell’ambito del progetto C.1 task b “Gestione ottimale di rete di edifici”, la quale prevedeva la realizzazione e gestione di uno Smart Village, all’interno del CR ENEA Casaccia.

I risultati ottenuti nel triennio precedente in tale ambito hanno riguardato lo sviluppo e la qualifica sperimentale di una piattaforma di supervisione dello Smart Village per il monitoraggio, la diagnostica, il controllo e l'ottimizzazione real time dell'intero sistema energetico.

Tali metodologie, sviluppate su contesto caratterizzato da una utenza omogenea e da un unico gestore, costituiscono il punto di partenza per il passaggio in un vero e proprio contesto reale.

Obiettivo finale dell'attività

Obiettivo finale dell'attività è lo sviluppo di un modello di smart district come distretto urbano intelligente in cui tutti i servizi di quartiere siano gestiti in maniera ottimale, sinergica ed interoperabile.

Grazie alla definizione di specifiche standard e tecnologie open, si agevolerà la replicabilità dei modelli sviluppati come primo step di una roadmap per la realizzazione delle smart cities; di fatto si realizzerà uno strumento a servizio delle amministrazioni locali e dei cittadini per evitare il locked-in dei vendors.

Attualmente le PA, una volta adottata una soluzione per la gestione dei servizi, si trovano vincolate nel tempo a rivolgersi allo stesso fornitore; invece il modello sviluppato a fine attività consentirà alle PA di scegliere e cambiare nel tempo il miglior gestore di un particolare servizio.

Inoltre i modelli e le metodologie sviluppati potranno essere qualificati nella sperimentazione in un contesto reale.

Il legante di tutti i servizi del distretto smart consiste in una piattaforma aperta ICT (Smart District Platform) ispirata ai principali standard internazionali ed alle tecnologie IOT che permette l'integrazione, la replicabilità, la trasformazione del distretto in un ecosistema di servizi interoperanti. Il prodotto finale del progetto mira allo sviluppo di un framework di integrazione direttamente operativo ed applicabile in contesti urbani. Il framework prevede tre ambiti applicativi (Servizi Aggregati, Infrastrutture Pubbliche Energivore, Smart Community ed Economia Circolare) ed un livello orizzontale di integrazione (Smart District Platform).

Descrizione dell'attività a termine

Il progetto si focalizza sullo sviluppo e sulla integrazione di nuove tecnologie per la trasformazione di un distretto urbano in uno Smart District. Tutte le tecnologie sviluppate nelle varie linee di attività saranno integrate tra loro, testate in un contesto sperimentale ed infine installate e qualificate su un contesto urbano.

PRIMA ANNUALITÀ

Nel primo anno questi obiettivi saranno conseguiti tramite le seguenti azioni:

- definizione della Smart Platform (task a) in grado di raccogliere e integrare tra loro i dati dai diversi ambiti applicativi: building network, lighting, smart home network, sicurezza delle infrastrutture e coinvolgimento dei cittadini;
- definizione di un modello replicabile di Smart Home Network (task b) in grado di monitorare i consumi energetici, il grado di comfort e sicurezza presso gli edifici residenziali e di trasmetterli ad un livello superiore dove vengono analizzati ed aggregati così da fornire un serie di feedback all'utente e alla comunità;
- definizione di una Piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche del distretto (task c), con lo scopo di monitorarne l'integrità per migliorarne la sicurezza, consentendo una maggiore continuità di servizio ed incrementando la Resilienza dell'intero sistema tecnologico distrettuale. L'obiettivo finale è sviluppare un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) per fornire agli utenti un supporto per la gestione delle infrastrutture, la previsione e la soluzione in situazioni di crisi;
- definizione di una infrastruttura per lo sviluppo di una Smart Community locale in grado di attivarsi per la co-governance del quartiere (task d), ad integrazione delle componenti tecnologiche del distretto che consente di partecipare attivamente alla vita collettiva nonché di abilitare i cittadini a

comportamenti smart. La comunità evolve attraverso un processo che intende favorire l'impegno e il coinvolgimento dei cittadini integrando aspetti sociali, tecnologici e gestionali.

SECONDA ANNUALITÀ

Nel secondo anno il progetto prevede un ulteriore passo di integrazione dei servizi urbani in maniera da soddisfare uno spettro più ampio di contesti applicativi ed una più elevata adesione alle strutture urbane esistenti.

La attività riguarderà la progettazione dettagliata della piattaforma, con specificazione del formato comune per la rappresentazione delle informazioni di distretto e del protocollo di trasporto per lo scambio dati tra Contesti Applicativi verticali, coerentemente con le specifiche che ne definiscono l'Architettura di Riferimento, risultanti dall'analisi dei dati e dallo studio di fattibilità della prima annualità.

Saranno inoltre definite tutte le interfacce tra la piattaforma e i contesti applicativi.

Servizi Aggregati a livello di edificio

Il primo contesto applicativo riguarda lo sviluppo di servizi aggregati verso gli utenti del distretto per la gestione ottimizzata di abitazioni, edifici e complessi edilizi.

In questo contesto rientrano:

- un **sistema prototipale distrettuale di servizi di aggregazione** ed efficienza energetica per i cittadini con l'obiettivo di supportare la gestione energetica nelle abitazioni connesse ad un Aggregatore centrale. Il sistema di aggregazione sarà in grado di fornire indicazioni per un uso più efficiente ed abilitare un processo di scambio tra abitazione ed aggregatore per la flessibilità. E' prevista una fase di sperimentazione delle soluzioni tecnologiche (energy box nelle smart homes e piattaforma di aggregazione sul server centrale) sviluppati nella precedente annualità e la progettazione di un dimostrativo sperimentale in un contesto urbano supportato da una esperienza simulativa.
- definizione di un **sistema di assisted living in Smart Homes** relativo allo sviluppo di un modello di smart home in grado monitorare tutti i flussi energetici, renderne consapevole la persona, trasferire i dati al sistema di aggregazione, provvedere al controllo adattivo delle principali utenze (climatizzazione, appliances, illuminazione) al fine di massimizzare il comfort e di ridurre i consumi. Verranno sviluppati alcuni servizi di assistenza e sicurezza per utenti di categorie deboli integrati con il sistema di controllo della abitazione. In questa annualità verrà implementata una esperienza sperimentale per qualificare il modello progettato nella precedente annualità.
- sviluppo di **prototipo di gestione di un mini-distretto smart**, (accumulo elettrico, fonti rinnovabili, gestione della domanda). L'attività in questa annualità prevede la preparazione delle specifiche tecniche e progettazione preliminare degli impianti fotovoltaici con accumulo elettrico da installare nello Smart Village Casaccia; l'approvvigionamento dei principali componenti degli impianti; l'analisi delle problematiche connesse all'integrazione del simulatore di distretto con il simulatore d'impianto.

Infrastrutture Pubbliche Energivore

Il secondo contesto applicativo riguarda la ottimizzazione e la integrazione in ottica smart di tutte le infrastrutture pubbliche del distretto che hanno un impatto diretto o indiretto sul consumo di energia. In questo contesto rientrano:

- **una piattaforma per il controllo e la valutazione delle prestazioni (consumi e funzionalità) delle infrastrutture pubbliche energivore** (es. edifici pubblici, illuminazione pubblica, reti idriche, trasporti pubblici) nelle condizioni operative nominali. L'approccio si basa sulla analisi dello stato della infrastruttura e sul monitoraggio continuo delle sue prestazioni. L'obiettivo di questa attività è lo sviluppo di strumenti tecnologici e metodologici per la descrizione delle infrastrutture e dei parametri chiave per il monitoraggio prestazionale, i metodi di elaborazione dei dati, la definizione della architettura della piattaforma, l'interoperabilità con i sistemi di gestione, il confronto e

condivisione dei metodi con i principali stakeholders (municipalità, gestori, produttori, agenzie della amministrazione centrale). Nella seconda annualità si definiranno gli indicatori di progetto e di prestazione per una valutazione e validazione delle prestazioni delle infrastrutture pubbliche, partendo dallo sviluppo di un sistema standardizzato per l'acquisizione e valutazione delle caratteristiche principali delle stesse.

- un **sistema per la protezione e sicurezza delle Infrastrutture Critiche – CIPCAST** (Rete elettrica, rete ICT, trasporti, reti idriche, ...) basato su un DSS (Decision Support System) ed una piattaforma GIS. Per quanto riguarda il DSS, nella seconda annualità verranno implementate e testate le funzionalità (di base e specializzate) del sistema, concordemente con quanto definito nel corso della prima annualità. Parallelamente, si provvederà allo sviluppo operativo per supportare adeguatamente le funzionalità del DSS. Verrà infine sviluppata l'Integrazione nel DSS dei sistemi di analisi per la modellazione e/o simulazione (risk forecast/assessment mediante modellistica meteorologica ed idrologica, scenari di danno, etc.).
- un sistema di **Smart Services** integrato nell'ambiente urbano (Smart Street) con l'obiettivo principale di creare una soluzione avanzata che possa integrare in un unico framework una serie di servizi urbani tra cui illuminazione, monitoraggio del traffico, identificazione di situazioni critiche (alluvioni, congestioni, incendi, affollamento) gestione di parcheggi. Nella seconda annualità verrà allestita una situazione sperimentale in contesto urbano per qualificare il sistema e verificare alcune funzionalità quali la interoperabilità con la piattaforma ICT del distretto, gli standard aperti e le funzionalità smart. Infine, si condurrà l'analisi delle potenziali vulnerabilità dell'architettura proposta.
- **Sicurezza e monitoraggio aereo della città** tramite un sistema aereo mobile (drone) in grado di monitorare l'ambiente (strade, edifici) caratterizzandolo da vari punti di vista (analisi termografica, qualità dell'aria, inquinamento, sicurezza, rischi ambientali) tipici di un distretto urbano. In questa annualità verrà definita l'architettura del sistema dal punto di vista tecnologica (definizione delle specifiche del kit strumentale, del software necessario e dei casi d'uso) e anche in riferimento alla normativa vigente; saranno effettuati primi test su un campo controllato (Smart Village Casaccia).

Smart community ed economia circolare

Il terzo ambito di intervento riguarda la definizione di un modello innovativo nella economia del distretto ispirato ai principi della economia circolare. Tali concetti sono declinati su due aspetti, quella della organizzazione socio-economica e comportamento sostenibile e quello legato all'impatto della vita urbana sull'ambiente (in particolare acqua e rifiuti). Entrambi gli aspetti si ispirano ad un coinvolgimento proattivo della comunità. In questo contesto rientrano:

- una infrastruttura per lo sviluppo **Smart Community del distretto**, tramite la implementazione di strumenti tecnologici e iniziative sulla comunità basato su un Social Urban Network; qualificazione della metodologia per la co-governance nel distretto, tramite la avvio di azioni per la costruzione dell'ecosistema sociale finalizzato al co-design e al supporto di processi partecipativi; definizione di un modello di economia circolare applicabile alla comunità basato sulla condivisione di beni e servizi e su iniziative di green job.
- un **sistema di gestione sostenibile dell'ambiente urbano** basato su un modello smart per la gestione dei rifiuti e delle acque. Il modello si fonda su un sistema di compostaggio automatizzato del distretto, su una serie di sensori per la rilevazione di parametri della rete idrica, su sistemi più efficienti e produttivi di trattamento dei reflui civili ed infine su un programma di partecipazione e coinvolgimento del cittadino sensibilizzato sull'impatto energetico ed ambientale di aspetti della vita quotidiana (monitoraggio della impronta ecologica).

Creazione di un percorso nazionale per la smart city

Oltre alla attività previste nei diversi ambiti applicativi urbani, delle specifiche attività sono rivolte al rafforzamento della tematica di ricerca tramite azioni a livello nazionale ed internazionale.

In particolare, è prevista una attività volta allo sviluppo di un **percorso nazionale per il coordinamento dei progetti smart cities** al fine di rendere disponibili a municipalità, decision maker della PA, enti di ricerca ed aziende, principi, metodologie, standard internazionali cui riferirsi per realizzare progetti smart cities, facilitare la replicabilità, l'apertura, il riuso ed evitare i fenomeni di lock-in delle città su soluzioni proprietarie.

Nella seconda annualità verrà sviluppata la partecipazione ai network europei ed internazionali su tali tematiche, creati eventi di coordinamento nazionale, diffusi i risultati del programma di ricerca e messi a disposizione degli stakeholders strumenti metodologici e tecnici (linee guida, architetture di riferimento, standards, formazione e-learning).

TERZA ANNUALITÀ

La terza annualità prevede la dimostrazione delle attività sviluppate nei tre contesti applicativi.

Smart District Platform

In questa annualità l'attività riguarderà la prima implementazione e test della **Smart District Platform**, allo scopo di pubblicare e recuperare i dati relativi ai diversi Contesti Applicativi verticali (analizzati nella prima annualità), utilizzando il formato e il protocollo di trasporto (definiti nella seconda annualità) secondo l'Architettura di Riferimento, in collaborazione con i gruppi di lavoro degli altri task.

Servizi Aggregati

Nel primo ambito applicativo verranno svolte le seguenti attività:

- sviluppo di un **modello distrettuale di servizi di aggregazione** ed efficienza energetica per i cittadini attraverso l'ingegnerizzazione dei moduli software sviluppati precedentemente e la realizzazione di un dimostrativo sperimentale in un contesto reale. Le attività saranno finalizzate all'analisi dei risultati conseguiti. Infine è prevista una fase di analisi dei modelli economici e della replicabilità del modello di Aggregatore implementato nel progetto.
- implementazione di un sistema **di assisted living in Smart Homes** relativo al monitoraggio di tutti i flussi energetici in grado trasferire i dati al sistema di aggregazione e ottimizzare l'uso delle principali utenze energetiche (climatizzazione, appliances, illuminazione) al fine di massimizzare il comfort e di ridurre i consumi rendendo l'utente più consapevole. In questa annualità verranno testati alcuni componenti tecnologicamente integrati per fornire servizi di assistenza e sicurezza per utenti di categorie deboli e verranno raccolti ed analizzati i dati utili al risparmio energetico e prodotti indicatori di carattere energetico per valutare la soddisfazione degli utenti.
- sviluppo di prototipo di **gestione di un mini-distretto smart**, (accumulo elettrico, fonti rinnovabili, gestione della domanda) tramite la realizzazione degli impianti fotovoltaici con accumulo elettrico, l'integrazione del simulatore d'impianto con il simulatore di distretto e l'avvio della campagna sperimentale.

Infrastrutture Pubbliche Energivore

Nel secondo ambito applicativo verranno svolte le seguenti attività:

- Il **controllo e valutazione delle infrastrutture pubbliche energivore** quali ad es. edifici pubblici, illuminazione pubblica, reti idriche, trasporti. L'obiettivo principale dell'annualità consiste nel dimostrare la fattibilità in termini sia tecnologici che economici del sistema proposto. In particolare, saranno ingegnerizzati tutti i moduli software sviluppati precedentemente e saranno consolidate tutte le attività comunicazione, diffusione, networking e coinvolgimento degli attori principali che avranno come obiettivo finale l'adesione del maggior numero possibile di stakeholder al sistema. Infine, saranno proposti studi sugli impatti economico-finanziari ed analisi di replicabilità e rollout.
- il Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) specificatamente concepito come **piattaforma per la sicurezza delle Infrastrutture Critiche (CI) del Distretto (CIPCAST)**, prevede la realizzazione del

Dimostratore del DSS la implementazione di un'apposita interfaccia (basata su applicativi e funzionalità di tipo WebGIS), strutturata per offrire la fruizione e la condivisione dei dati geospaziali e delle informazioni disponibili, l'elaborazione degli scenari, etc.; l'obiettivo è di fornire supporto sia alle attività di monitoraggio (ordinario) delle CI del Distretto, sia ai processi decisionali ivi previsti (ordinari o straordinari, come nel caso delle emergenze).

- il Sistema di **Smart Services** integrato nell'ambiente urbano (Smart street) con l'obiettivo principale di dimostrare la fattibilità in termini sia tecnologici che economici del sistema proposto. In particolare, si completerà l'ingegnerizzazione dei prototipi hardware e dei moduli software per la gestione della strada e per la comunicazione con la piattaforma di distretto; si finalizzerà la realizzazione di una smart street prototipale all'interno di contesti controllati (Smart Village Casaccia/Ispra) e si analizzeranno i risultati sperimentali. Infine, sarà effettuata una analisi economica costi-benefici e di replicabilità/rollout a livello urbano della smart street.
- La **sicurezza e monitoraggio aereo della città** tramite lo sviluppo del sistema progettato secondo le specifiche della precedente annualità. Sarà completata l'integrazione sensoristica sul mezzo aereo, implementato il software di analisi e di comunicazione; infine il sistema sarà qualificato con test di campo.

Smart community ed economia circolare

Nel terzo ambito applicativo verranno svolte le seguenti attività:

- sperimentazione di una infrastruttura tecnologica basata su Social Urban Network e l'avvio di iniziative sulla comunità (percorsi esperenziali scolastici, empowerment di gruppi di cittadini, etc) per la **Smart Community locale**, tramite la implementazione di strumenti tecnologici e iniziative sulla comunità tramite il Social Urban Network; sperimentazione della metodologia per la co-governance nel distretto, tramite la applicazione di modelli tecnico-economici per il co-design e la progettazione partecipata; promozione del modello di economia circolare definito nel secondo anno basato sulla condivisione di beni e servizi e su iniziative di green job.
- un **sistema di gestione sostenibile dell'ambiente urbano** basato su un modello smart per la gestione dei rifiuti e delle acque. In questa annualità verrà implementato il modello definito nella precedente annualità relativo a un sistema di compostaggio automatizzato del distretto, ad un sistema sensoristico per la rilevazione di parametri della rete idrica, a sistemi più efficienti per il trattamento dei reflui civili ed infine la applicazione di un programma di partecipazione e coinvolgimento del cittadino sensibilizzato sull'impatto energetico ed ambientale di aspetti della vita quotidiana (monitoraggio della impronta ecologica).

Oltre alla attività previste nei diversi ambiti applicativi urbani, delle specifiche attività sono rivolte al rafforzamento della tematica di ricerca tramite azioni a livello nazionale ed internazionale.

In particolare, viene rafforzata la attività volta allo sviluppo di un **percorso nazionale per il coordinamento dei progetti smart cities** al fine di rendere disponibili a municipalità, decision maker della PA, enti di ricerca ed aziende, principi, metodologie, standard internazionali cui riferirsi per realizzare progetti smart cities, facilitare la replicabilità, l'apertura, il riuso ed evitare i fenomeni di lock-in delle città su soluzioni proprietarie.

Nella terza annualità prosegue la partecipazione ai network europei ed internazionali su tali tematiche, l'organizzazione di eventi di coordinamento nazionale e la **diffusione dei risultati del programma** di ricerca verso gli stakeholder. Verrà potenziata l'attività di formazione e informazione tanto verso gli operatori quanto verso i cittadini attraverso l'attività del living lab, distance learning e giornate formative da realizzarsi non solo presso le amministrazioni ma anche presso le scuole.

Prodotti significativi previsti alla fine del triennio

Al termine del triennio di attività saranno stati sviluppati e resi disponibili principalmente i seguenti prodotti.

- a. Un insieme di specifiche tecniche (qualificate su esperienze urbane) relative alle architetture e standard di riferimento per l'integrazione di specifici contesti applicativi (edifici, abitazioni, trasporti, illuminazione, acqua, rifiuti, reti energetiche, sicurezza, community). Tali specifiche potranno essere utilizzate da municipalità per i loro progetti e gare di appalto e dalle aziende per lo sviluppo di componenti integrabili nell'ecosistema smart.
- b. Due piattaforme software verticali (in particolare il Public Energy Living Lab e la piattaforma CIPCAST) direttamente utilizzabili come piattaforme nazionali per supportare servizi erogati da organismi governativi.
- c. Un insieme di componenti tecnologici smart direttamente commercializzabili da imprese italiane (energy box, smart eye, componenti smart homes, droni, sensori intelligenti) e metodologie procedurali per il coinvolgimento del cittadino ed integrabili in progetti smart cities.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

La tematica su cui verte il presente progetto "Smart Cities & Communities" sarà affrontata anche dal CNR e dal RSE; al momento non è possibile indicare alcuna attività in coordinamento con il CNR, dato che non ha ancora definito quali attività intenderà svolgere nel presente piano annuale. Il coordinamento con RSE sarà attuato tenendo conto delle diverse strategie di approccio alla tematica di ricerca e degli argomenti specifici differenti; in particolare RSE si orienta su tre aspetti: indicatori di smartness di una città, analisi di settore per le best practice per le reti urbane di tipo smart, nuovi materiali per le smart cities.

Nel caso di ENEA la ricerca è orientata allo sviluppo di soluzioni tecnologiche e la loro implementazione su applicazioni pilota, pertanto ha natura completamente diversa da quella sviluppata da RSE. Ciononostante i due programmi possono essere coordinati nella direzione in cui gli indicatori smart (KPI) e le soluzioni di riferimento identificate da RSE possano essere direttamente implementati (eventualmente in confronto con soluzioni alternative), nei prototipi dimostrativi sviluppati da ENEA al fine di una qualifica sperimentale in situazione urbana.

Sarà valutata la possibilità di implementare negli anni successivi meccanismi di dynamic pricing sviluppato i da RSE nel caso risultassero compatibili con le soluzioni tecniche sviluppate all'interno del progetto.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

I benefici per gli utenti del sistema elettrico in termini di sicurezza e stabilità della infrastruttura energetica e dei servizi urbani del distretto saranno molteplici e andranno dal minor consumo di energia alla miglior qualità e affidabilità del servizio fornito.

In particolare attraverso la definizione delle specifiche della piattaforma ICT per il governo del distretto si arriverà alla possibilità di gestire i servizi urbani in maniera integrata e sinergica, attraverso la gestione di più applicazioni che si basano su una base di dati integrata e condivisa, con un notevole vantaggio economico per le Amministrazioni comunali e, di conseguenza, per i cittadini.

Inoltre la possibilità per le Amministrazioni Pubbliche di adottare piattaforme aperte e interoperabili consentirà di emettere bandi che garantiscono il miglior servizio a livello prestazionale ed economico il tutto a beneficio dell'utente finale.

Nell'ambito domestico gli utenti avranno benefici in termini di uso più efficiente e consapevole dell'energia all'interno delle abitazioni private, in quanto consumeranno meglio e meno, assicurando nello stesso tempo confort, sicurezza e accesso a nuovi servizi (assisted living, partecipazione sociale, etc.). In generale si intende trasformare ciascun edificio in un nodo attivo di una rete intelligente, in grado di condividere dati e informazioni con l'esterno, così che gli abitanti dell'edificio possano aumentare il senso di partecipazione alla comunità fornendo gli strumenti utili a nuove forme di interazione. In prospettiva l'architettura del sistema implementato nel progetto potrà essere in grado anche di trasformare ciascun utente da semplice consumatore a partecipante attivo del mercato energetico abilitando le singole residenze al controllo della domanda (demand side management).

Inoltre il monitoraggio dei consumi nel tempo sarà in grado di fornire una certificazione del risparmio conseguito, così da agevolare, per il modello "smart home", il riconoscimento legislativo e la proposta di forme di incentivazione che ne facilitino l'adozione da parte del singolo utente e di conseguenza la penetrazione nel mercato.

Infine la comunità tutta avrà benefici dallo sviluppo di queste attività in quanto i cittadini saranno più informati e consapevoli e saranno coinvolti nelle decisioni per migliorare la qualità di vita nelle città risparmiando risorse energetiche e ambientali.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Piattaforma ICT per la gestione dello Smart District

La Piattaforma ICT servirà ad integrare orizzontalmente una serie di Soluzioni verticali in specifici ambiti applicativi. A tale scopo, nel primo anno del triennio si svolgeranno le seguenti sotto-attività:

- Ciclo di gestione ed elaborazione dei dati provenienti dai diversi ambiti applicativi (ciclo di vita dei dati nelle Soluzioni verticali);
- Studio di fattibilità di Framework Standard-based e definizione Specifiche Standard;
- Progettazione Piattaforma Integrata ICT (Smart District Platform).

a.1 Ciclo di gestione ed elaborazione dei dati

La Piattaforma ICT è trasversale ai differenti ambiti applicativi, per questo motivo ogni singola Soluzione prevista nel progetto dovrà essere analizzata al fine di individuare il flusso dei dati che dovranno essere immagazzinati. In questa direzione i dati che confluiranno nella piattaforma provengono dalle applicazioni verticali sviluppate in questa linea di attività quali smart home network (task b), district safety & security (task c), smart community (task d) e nelle altre linee progettuali della area D (D1- smart buildings, D5 - smart lighting, D8 - smart mobility). In sinergia con i responsabili di questi task saranno individuati i dati che potranno essere recuperati e immagazzinati nella piattaforma ICT allo scopo di essere aggregati, rielaborati e resi disponibili agli attori in gioco mediante appositi servizi.

a.2 Individuazione e definizione di Framework Standard-based

Contemporaneamente all'analisi dei flussi dati delle soluzioni, verrà effettuato uno studio sul possibile utilizzo di framework standard-based (p.es. Fi-Ware, OSGi, FIPA, WebGIS, ...) da utilizzare per la progettazione e lo sviluppo della piattaforma ICT per le Smart City.

Tale studio dovrà dare come risultato l'insieme delle specifiche standard composte da:

- specifiche del middleware della piattaforma ICT;
- specifiche per le diverse tipologie di Soluzioni supportate che devono connettersi alla piattaforma ICT;
- specifiche per l'implementazione dell'interfaccia utente.

E' prevista la partecipazione ad network europei ed internazionali per le logiche di standardizzazione. In particolare una collaborazione formalizzata con il National Institute of Standard and Technologies (NIST) attraverso un tavolo di lavoro per la definizione di standard condivisi riguardanti i protocolli di comunicazione della piattaforma ICT dove ENEA coordinerà il lato italiano del network cui parteciperanno diverse città italiane.

a.3 Progettazione

Sulla base dello studio di fattibilità conseguito e sull'analisi effettuata sui flussi dati, potrà essere definita la progettazione della piattaforma che, si suppone, sarà principalmente divisa su tre livelli logici:

1. Data Retrieving and Storage: il livello più basso si occuperà di descrivere come la piattaforma recupererà i dati dalle diverse soluzioni;

2. Data Elaboration and Integration: il livello intermedio descriverà quali elaborazioni verranno eseguite sui dati allo scopo di effettuare azioni di monitoraggio e creare nuovi dati aggregati, utilizzati come indicatori (KPI) per i servizi utente;
3. User Interface: il livello più alto fornirà le politiche di accesso multiutente e le interfacce a cui potranno accedere i diversi attori in modo sicuro.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle specifiche smart platform del distretto

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria (DISI), NIST

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Smart Homes Network

L'attività di "Smart Home Network" si propone di misurare a bassi costi strumentali e di installazione, una serie di variabili che permettono di monitorare i consumi energetici, il grado di comfort e sicurezza presso gli edifici residenziali e di trasmetterli ad un livello superiore dove vengono analizzati ed aggregati così da fornire un serie di feedback all'utente e alla comunità.

L'obiettivo di questa attività è la riduzione dei consumi finali di energia (elettrica e termica) dei consumatori domestici attraverso un percorso di crescita di consapevolezza energetica e al tempo stesso la fornitura di servizi aggiuntivi di ausilio alla persona (assisted living). I dati disponibili provenienti dai sensori installati presso la singola unità abitativa e dagli smart meters multiservizio (acqua, luce, gas) vengono collezionati da un dispositivo hardware, l'Energy box, che ha il compito di integrarli e inviarli alla Smart Platform del distretto dove sono elaborati per effettuare la diagnostica ed l'individuazione delle proposte di ottimizzazione del sistema. L'output del sistema saranno una serie di feedback sia verso l'utente finale che verso i principali stakeholders coinvolti.

I task previsti nella prima annualità sono:

- Analisi degli use case e sviluppo delle metodologie;
- Progettazione dell'architettura della smart home network;
- Individuazione del campione di residenze su cui effettuare la sperimentazione.

b.1 Analisi degli use case e sviluppo delle metodologie

Nella prima annualità è prevista l'analisi e definizione delle funzionalità da implementare in relazione ai diversi target proposti: feedback sui consumi energetici e integrazione con servizi aggiuntivi di assisted living. In particolare verranno analizzati i differenti use case e per ciascuno di questi verranno:

- definite le variabili da monitorare;
- definite le metodologie di analisi e aggregazione dei dati;
- individuate le differenti tipologia di feedback (tecnico, economico, informativo), in relazione al differente tipologia di utente (utente dell'abitazione, utente con necessità di supporto, utility e/o ESCO);
- identificate le metodologie di coinvolgimento e interazione con le diverse tipologie di utenza con l'obiettivo di individuare degli "stimoli" per indurre gli utenti ad un comportamento energeticamente più consapevoli;
- sviluppato un simulatore di rete di edifici residenziali per la modellazione dei differenti use case e dei differenti scenari di monitoraggio;
- definito il data model di uno smart district.

b.2 Progettazione dell'architettura della smart home network

Nella prima annualità è prevista la progettazione dell'architettura del sistema della smart home network in termini di hardware da installare, protocolli e interfacce di comunicazione.

Verranno definite le soluzioni tecnologiche da adottare per ciascuna componente del sistema:

- kit di sensori da installare presso l'abitazione in grado di garantire economicità, robustezza e bassa intrusività, distinti per tipologia di utenza;
- robot umanoide per servizi innovativi di ausilio alla persona, come interfaccia intelligente verso le tecnologie della Smart Home;
- dispositivo hardware (gateway) da installare presso l'abitazione per la comunicazione da/verso la piattaforma verticale;
- interfacce di comunicazione verso la Smart Platform e verso gli utenti finali ed eventuali altri stakeholders (gestori di servizi).

b.3 Analisi dei modelli di Aggregatore e proposta progettuale

Il concept sviluppato verrà testato e implementato nelle prossime annualità in un distretto urbano dove si prevede l'installazione dell'energy box su un campione significativo di residenze, mentre la sperimentazione della soluzione di supporto alla persona (assisted living) è prevista su un numero più ristretto di unità abitative. Nella prima annualità è previsto lo studio di diversi modelli di Aggregatore in funzione dei servizi che questo è in grado di offrire (energy efficiency, demand response, assisted living) al fine di individuare una proposta progettuale da implementare in un quartiere residenziale.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla rete di abitazioni smart del distretto

Principali collaborazioni: Politecnico Marche, Politecnico di Torino, CITERA

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche del distretto

L'obiettivo del presente task è la realizzazione di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) con finalità operative, basato su una Infrastruttura di Dati Territoriali (SDI, *Spatial Data Infrastructure*), specificatamente concepito per:

- archiviare e gestire dati geografici e territoriali relativi alle attività di interesse;
- ricevere e gestire dati previsionali e dati provenienti da sensori;
- effettuare analisi spaziali, *risk assessment*, elaborare scenari, etc.;
- fornire supporto decisionale (attraverso quadri sintetici, chiari e affidabili, rivolti agli utenti finali);
- offrire una interfaccia geografica interattiva agli utenti finali.

Nello sviluppo del DSS oltre che all'implementazione dell'architettura tecnologica (hardware e software), occorrerà fare riferimento anche ad un insieme di standard, regole e procedure miranti a facilitare la disponibilità, l'omogeneità e l'accesso a dati ed informazioni.

I task previsti nella prima annualità sono:

- analisi della disponibilità dei dati territoriali e definizione dei casi d'uso;
- progettazione di una Banca Dati Geospaziale (GeoDatabase);
- studio di fattibilità e progettazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) spaziale.

c.1 Analisi della disponibilità dei dati territoriali e definizione dei casi d'uso

L'attività si baserà sull'analisi dei dati necessari e sulla verifica della loro disponibilità e modalità d'utilizzo (acquisizione, realizzazione ad hoc, integrazione, ecc.)

A tal fine saranno analizzati una serie di aspetti:

- a) dati (dati da sensori specifici, dati geografici ed informazioni territoriali, Open Data, dati acquisiti da soggetti terzi e di diversa natura, dati sulla dislocazione delle principali Infrastrutture Critiche, etc.);
- b) strumenti ed architetture per l'analisi di tali dati (sia in real-time che in modalità asincrona) e per lo *storage* (archiviazione, database etc.);
- c) sistemi di analisi per la modellazione e/o simulazione (*risk forecast/assessment*, scenari di danno, etc.).

c.2 Progettazione di una Banca Dati Geospaziale (GeoDatabase)

Una volta individuati i dati necessari per la messa a punto delle specifiche applicazioni, si passerà alla progettazione di una Banca Dati Geospaziale (GeoDatabase), da strutturare mediante una serie di strati informativi di base e di informazioni derivate, con particolare attenzione agli aspetti riferibili all'area di studio e all'integrazione con la Piattaforma ICT.

c.3 Studio di fattibilità e progettazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) spaziale

Il presente task, basato sui task c.1 e c.2, sarà dedicato allo studio di fattibilità per la progettazione di un DSS, di tipo spaziale e multiplatforma per la condivisione delle informazioni territoriali ed ambientali, il monitoraggio e la sicurezza delle infrastrutture critiche (IC), nonché per la valutazione di scenari di rischio. Infine, parte del task c.3 sarà dedicata alla progettazione dell'interfaccia applicativa quale strumento interattivo di supporto alle decisioni per gestire i flussi dati individuati in c.1.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche

Principali collaborazioni: Università degli Studi dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

d. Smart community per la co-governance del distretto

Questa linea di attività consiste nello sviluppo di una metodologia per lo sviluppo di una smart community di quartiere in grado di partecipare attivamente alle decisioni, di attivare comportamenti consapevoli nei cittadini attraverso azioni di best practice inerenti le tematiche energetiche e della sostenibilità con l'avvio di iniziative sperimentali partecipate in luoghi importanti e di appartenenza collettiva-come per esempio le scuole- nella formazione di una comunità consapevole e smart.

d.1 Smart district community

La prima sottoattività prevede la definizione di una infrastruttura tecnologica a servizio della *smart community* di quartiere dedicata all'interattività sociale degli utenti e basata su un Social Urban Network (SUN) che consiste in un insieme coordinato di componenti sia sulla rete web (social network, portale, app) che sul quartiere (installazioni interattive, eventi partecipati) allo scopo di favorire l'interazione tra gli utenti e di aumentare la consapevolezza energetica ed il senso di appartenenza alla comunità.

La realizzazione del SUN parte da una analisi sociale del quartiere in modo da identificarne la composizione della rete sociale, le sue caratteristiche, le problematiche, le tematiche più sentite e sensibilizzare gli utenti verso la tematica della sostenibilità e del risparmio energetico. In questa prima annualità verrà definito il modello di indagine sociale da applicare nell'area urbana oggetto della sperimentazione.

Il Social Urban Network sarà connesso con il sistema di supporto alla gestione energetica delle abitazioni (task b) e alla piattaforma di gestione del distretto sviluppata nel task a.

d.2 Smart School Community

La sotto-attività "Smart School Community" ha l'obiettivo di sviluppare un protocollo di azioni per il Comfort microclimatico (termo-igrometrico e qualità dell'aria) ed illuminotecnico nelle scuole, per l'educazione alla sostenibilità energetico-ambientale ed al risparmio energetico. Gli strumenti utilizzati saranno la diagnosi energetica co-partecipata, il rilevamento delle condizioni di discomfort (oggettivo e soggettivo) e la progettazione partecipata di alcuni interventi di retrofitting

Le attività individuate consistono in analisi e monitoraggi di ambienti rappresentativi dell'edificio scolastico (aula campione) durante le ore di attività didattica in collaborazione con gli studenti e i docenti. Le attività di analisi saranno di tipo diagnostico-strumentale in situ integrate da indagini tecno-digitali (fogli di calcolo dedicati al rilevamento dell'ambiente microclimatico e alla progettazione illuminotecnica) e in condivisione dei dati di output derivanti dalla diagnosi.

In questo protocollo vengono contemplate azioni di co-governance e responsabilità diretta attraverso questionari quali-quantitativi, di mapping e metodologie di gaming per la diagnosi e la progettazione energetica partecipata.

I task previsti nella prima annualità riguardano lo studio e lo sviluppo delle metodologie, la definizione delle specifiche tecniche e l'utilizzo di piattaforme informatiche open source a supporto dell'attività diagnostica e del lavoro collaborativo, con la predisposizione di schede diagnostiche di calcolo e/o strumentali per il monitoraggio indoor (microclimatico ed illuminotecnico) e di questionari relativi alle percezioni soggettive del comfort.

d.3 Co-governance del distretto

In questa sottoattività è previsto lo sviluppo di una metodologia per la co-governance del distretto con l'obiettivo di rafforzare la capacità dei cittadini e degli stakeholders per la partecipazione alle decisioni e al governo locale, nonché nel design e nella realizzazione di servizi di comunità anche al fine di abbattere l'impatto energetico ambientale.

Saranno ideate una serie di iniziative per l'applicazione di modelli tecnico-economici e di co-governance, da realizzarsi tramite workshop e tavoli cittadini-utilities-PA per il co-design, la progettazione partecipata, per supportare processi partecipativi.

L'attività del primo anno si focalizza su:

- definizione di una metodologia per la co-governance del distretto in grado di promuovere una collaborazione pubblico-privata per avviare iniziative proattive nella comunità nella gestione di spazi e servizi pubblici e negli edifici;
- una mappatura della collaborazione civica e delle esperienze riconducibili alla governance collaborativa, con il coinvolgimento di un significativa rappresentanza di realtà attive (cittadini, istituzioni pubbliche, associazionismo locale, imprese) per verificare l'applicabilità e l'impatto di tali strategie di co-governance e co-design nel contesto urbano oggetto della sperimentazione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla metodologia sviluppata per la smart community e la co-governance del distretto

Principali collaborazioni: LUISS di Roma

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

e. Comunicazione e diffusione dei risultati e partecipazione ai network europei

La valenza del progetto è fortemente influenzata dalla sua penetrazione sul territorio e dalla diffusione dei risultati che verranno forniti agli stakeholder del settore. A tal fine le azioni di comunicazione e divulgazione si rendono necessarie per rendere consapevoli sia i fruitori che gli attori del modello di "distretto urbano intelligente" sviluppato.

e.1 Comunicazione e diffusione dei risultati

Le principali azioni di diffusione dei risultati saranno conseguite attraverso molteplici strumenti, quali:

- pubblicazioni ed articoli su stampa, generica e specializzata sia per pubblico non specialistico che per addetti ai lavori;
- rapporti tecnici destinati a un pubblico specialistico del settore;
- partecipazione/organizzazione di eventi quali workshop, seminari, manifestazioni espositive a livello nazionale ed internazionale;
- incontri con gestori ed operatori del settore per renderli consapevoli del modello innovativo.

I risultati saranno disponibili sul sito ENEA a cui si farà rimando anche attraverso gli altri strumenti di comunicazione sopramenzionati.

e.2 Partecipazione ai network internazionali di ricerca sulle smart cities

In questa sotto-attività è prevista la partecipazione alla European Energy Research Alliance (EERA), Joint Programme “Smart Cities” (di cui ENEA ha il coordinamento), alla European Innovation Partnership sulla Smart City, al JPI Urban Europe ed al Covenant of Mayors (di cui ENEA ha il coordinamento nazionale).

Risultati/Deliverable:

- Relazione sintetica di presentazione delle principali attività di diffusione dei risultati e partecipazione ai network internazionali.

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016													
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S					
a	Piattaforma ICT per la gestione di smart districts																	
	<i>a.1 Ciclo di gestione ed elaborazione dei dati</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
	<i>a.2 Individuazione e definizione di Framework Standard-based</i>				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	<i>a.3 Progettazione</i>											■	■	■	■	■	■	■
b	Smart homes network ed assisted living																	
	<i>b.1 Analisi degli use case e sviluppo delle metodologie</i>	■	■	■	■	■	■	■	■									
	<i>b.2 Progettazione dell'architettura della smart home network</i>								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	<i>b.3 Analisi dei modelli di Aggregatore e proposta progettuale</i>																	
c	Piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche del distretto																	
	<i>c.1 Analisi della disponibilità dei dati territoriali e definizione dei casi d'uso</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	<i>c.2 Progettazione di una Banca Dati Geospaziale (GeoDatabase)</i>																	
	<i>c.3 Studio di fattibilità e progettazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) spaziale</i>																	
d	Smart community per la co-governance del distretto																	
	<i>d.1 Smart district community</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	<i>d.2 Smart School Community</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	<i>d.3 Co-governance del distretto</i>																	
e	Comunicazione e diffusione dei risultati e partecipazione ai networks europei																	
	<i>e.1 Comunicazione e diffusione dei risultati</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	<i>e.2 Partecipazione ai network internazionali di ricerca sulle smart cities</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Piattaforma ICT per la gestione di smart districts									
	<i>a.1 Ciclo di gestione ed elaborazione dei dati</i>	629	22,0	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	70,2
	<i>a.2 Individuazione e definizione di Framework Standard-based</i>	657	23,0	13,8	0,0	0,0	9,0	1,0	0,0	46,8
	<i>a.3 Progettazione</i>	600	21,0	12,6	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	45,6
	<i>Subtotale Ob. a</i>	1886	66,0	39,6	0,0	12,0	9,0	1,0	35,0	162,6
b	Smart homes network ed assisted living									
	<i>b.1 Analisi degli use case e sviluppo delle metodologie</i>	1086	38,0	22,8	0,0	0,0	25,0	0,0	85,0	170,8
	<i>b.2 Progettazione dell'architettura della smart home network</i>	1571	55,0	33,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	88,4
	<i>b.3 Analisi dei modelli di Aggregatore e proposta progettuale</i>	1171	41,0	24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,6
	<i>Subtotale Ob. b</i>	3828	134,0	80,4	0,4	0,0	25,0	0,0	85,0	324,8
c	Piattaforma per la sicurezza delle infrastrutture critiche del distretto									
	<i>c.1 Analisi della disponibilità dei dati territoriali e definizione dei casi d'uso</i>	714	25,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0
	<i>c.2 Progettazione di una Banca Dati Geospaziale (GeoDatabase)</i>	857	30,0	1,0	0,3	10,0	0,0	0,0	0,0	58,3
	<i>c.3 Studio di fattibilità e progettazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) spaziale</i>	800	28,0	16,8	0,2	0,0	0,0	0,0	20,0	65,0
	<i>Subtotale Ob. c</i>	2371	83,0	49,8	0,4	10,0	0,0	0,0	20,0	163,3
d	Smart community per la co-governance del distretto									
	<i>d.1 Smart district community</i>	771	27,0	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,2
	<i>d.2 Smart School Community</i>	886	31,0	18,6	0,0	3,0	3,0	3,0	0,0	58,6
	<i>d.3 Co-governance del distretto</i>	51	1,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	22,9
	<i>Subtotale Ob. d</i>	1708	59,8	35,9	0,0	3,0	3,0	3,0	20,0	124,7
e	Comunicazione e diffusione dei risultati e partecipazione ai networks europei									
	<i>e.1 Comunicazione e diffusione dei risultati</i>	71	2,5	1,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	5,0
	<i>e.2 Partecipazione ai network internazionali di ricerca sulle smart cities</i>	171	6,0	3,6	0,0	4,0	0,0	6,0	0,0	19,6
	<i>Subtotale Ob. e</i>	242	8,5	5,1	0,0	4,0	0,0	7,0	0,0	24,6
	TOTALE	10035	351,3	210,8	0,9	29,0	37,0	11,0	160,0	800,0

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/RdS

- (A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente
- (B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento, include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità
- (C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione
- (D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e. consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti
- (E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione
- (U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto del personale impiegato nei diversi centri pari a 35 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2015 (€)*	Uso attrezzatura
b	Sistema sw per smart home	40.000	500	Esclusivo
c	Server, storage e UPS	3.200	200	Non Esclusivo
c	1 Workstation	3.400	200	Non Esclusivo

(*) i costi tengono conto delle quote di ammortamento, ove applicabili

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a	Sistema di monitoraggio consumi per test ICT	8.900
a	Licenze software e specifiche di Standard	3.000
c	Licenze software GIS e dati geospaziali	10.000
d	Licenza software diagnosi energetica	3.000
e	Format editoriale diffusione risultati partecipazione network europei	4.000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a	Contratto di servizio (Engineering)	9.000
b	Contratto di servizio (CITERA)	25.000
d	Contratto di servizio (DES srl)	3.000

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	Università di Bologna, Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria (DISI) - Analisi dei dati ed elaborazione delle informazioni al fine di definire e implementare algoritmi intelligenti per la selezione e aggregazione dei dati provenienti dai diversi ambiti applicativi. <i>Motivazioni della scelta:</i> Pluriennale esperienza nell'ambito dei sistemi di supporto decisionale dei sistemi di memorizzazione e analisi dei dati e loro applicazione, in ambito Smart City e Smart Energy.	35
b.1	Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche - Sviluppo di un simulatore rete di edifici residenziali per feedback sul comportamento degli utenti, implementazione preliminare di smart district. <i>Motivazioni della scelta:</i> Pluriennale esperienza in materia di simulazione di sistemi energetici ed in quanto Istituto Universitario nazionale competente nel settore delle tecnologie di generazione dell'energia, e nello specifico, nell'ambito dell'analisi delle performance energetiche di reti di edifici.	30
b.1	Politecnico di Torino, Dipartimento Energia - Sviluppo di metodologie di aggregazione e benchmarking dei dati energetici di rete di edifici e modelli di feedback per il coinvolgimento degli utenti residenziali. <i>Motivazioni della scelta:</i> Pluriennale esperienza in materia di sistemi energetici ed in quanto Istituto Universitario nazionale competente nel settore delle metodologie di gestione dell'energia, e nello specifico, nell'ambito dell'analisi delle performance energetiche di reti energetiche, anche a mezzo di dati sperimentali ricavati dal monitoraggio di tali reti	55
c.3	Università degli Studi dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche (DSFC) - Analisi di risk forecast/assessment mediante modellistica meteorologica ed idrologica <i>Motivazioni della scelta:</i> Nel DSFC esistono consolidate conoscenze nel campo della modellistica numerica di fenomeni complessi ed in particolare nel campo della modellistica meteorologica ed idrologica. In particolare, presso i laboratori del gruppo di Fisica dell'Atmosfera è già operativo un modello idrologico, totalmente sviluppato presso l'Università dell'Aquila, che fornisce già in modalità operativa degli indici di allarme idrologico che consentono l'allerta con 24-48 ore di anticipo. Le simulazioni si basano sull'acquisizione di dati osservati di precipitazione e di previsioni di precipitazioni dai modelli meteo. La collaborazione col DSFC, in questa prima fase, si concentrerà sull'analisi e la verifica degli indici di allarme idrologico forniti dai modelli suddetti, in modo da renderli integrabili ed utilizzabili nel sistema complessivo del DSS che sarà implementato nel Task c del progetto.	20

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
d.3	Università LUISS di Roma - Studio di modelli di co-governance e di coinvolgimento dei cittadini in un distretto urbano <i>Motivazioni della scelta:</i> Notevole esperienza nel campo della governance dei beni comuni per innovatori sociali, imprenditori di futuro, agenti di cambiamento e giuristi creativi che mira all'implementazione di forme di innovazione sociale, economia collaborativa, urbanistica collaborata per favorire processi di sviluppo economico locale e pianificazione strategica basati sull'innovazione civica e la collaborazione fra il pubblico, il privato e la collettività.	20
TOTALE		160

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Attualmente è in corso di realizzazione il progetto CIPRNet - Critical Infrastructure Preparedness and Resilience Research Network (<https://www.ciprnet.eu/>) per la realizzazione di un Centro Virtuale per la condivisione della conoscenza e delle varie esperienze nel campo della Protezione delle Infrastrutture Critiche. Nell'ambito di CIPRNet l'ENEA si occupa della progettazione e sviluppo di un Decision Support System (DSS) in grado di valutare costantemente e predire lo stato di rischio ai cui sono soggetti gli elementi delle Infrastrutture Critiche monitorate, valutandone, in anticipo, impatti e conseguenze della loro perdita, allo scopo di consentire all'autorità pubblica e agli operatori medesimi di predisporre, per tempo, piani di mitigazione o emergenza per ridurre o eliminare le conseguenze di pericolosi blackout dei servizi. Inoltre, ENEA collabora all'implementazione di specifici strumenti di tipo "what-if" per analizzare differenti scenari di crisi e sperimentare differenti strategie di mitigazione. Infine, ENEA contribuisce alla realizzazione di un servizio "Ask the expert": gli utenti finali, grazie a questo servizio, saranno in grado di acquisire nel più breve tempo possibile informazioni, studi, metodologie, strumenti nel campo della Protezione delle Infrastrutture Critiche.

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Ob.	PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
a	<i>Linea non presente nel PAR 2014.</i>	a.1 Attività di analisi sul ciclo di gestione ed elaborazione dei dati provenienti dai diversi ambiti applicativi (ciclo di vita dei dati nelle Soluzioni verticali); a.2 Studio di fattibilità di Framework Standard-based e definizione Specifiche Standard; a.3 Architettura generale della Piattaforma Integrata ICT (Smart District Platform).
b	<i>Linea non presente nel PAR 2014</i>	b.1 Attività di analisi degli use case e sviluppo delle metodologie; b.2 Progettazione dell'architettura della smart home network; b.3 Individuazione del campione
c	<i>Linea non presente nel PAR 2014</i>	c.1 Attività di analisi della disponibilità dei dati territoriali e definizione dei casi d'uso; c.2 Progettazione di una Banca Dati Geospaziale (GeoDatabase); c.3 Studio di fattibilità e progettazione del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) spaziale.
d	<i>Linea non presente nel PAR 2014</i>	d.1 Definizione di una infrastruttura tecnologica a servizio della smart community di quartiere; d.2 Definizione di un protocollo di azioni per il Comfort microclimatico ed illuminotecnico nelle scuole; d.3 Definizione di una metodologia per la co-governance del distretto per avviare iniziative proattive nella comunità.

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

“Nutrire il Pianeta-Energia per la vita” è la parafrasi esplicitata dall’EXPO 2015 che, in modo diretto e sintetico, evidenzia il complesso di attività che l’uomo pianifica e svolge per sostenere il meraviglioso processo biologico della vita. In esso si trovano coniugati due importanti elementi per le necessità future del nostro pianeta : quantità e qualità dell’energia necessaria e utile per la vita. Parallelamente è possibile utilizzare il medesimo motto per indicare l’insieme delle attività fondamentali per sostenere ed alimentare il complesso dei processi socio-economici caratterizzanti i tratti attuali delle organizzazioni sociali delle popolazioni mondiali. L’energia è la fonte di sostentamento delle dinamiche di sviluppo tipiche della nostra era in cui convivono aspetti fortemente energivori, in aree in forte crescita economica, con esigenze di sostenibilità ambientale per non precludere il futuro prossimo alle successive generazioni.

Il ricorso ai combustibili fossili, che per quasi due secoli hanno sostenuto il progresso mondiale, non sembra intravedere una fine immediata a dispetto dei segnali poco incoraggianti che giungono dal fronte dei cambiamenti climatici. L’evidenza dei rischi che il riscaldamento globale palesa non appaiono coagularsi in uno sforzo unanime per limitare le criticità ma si frammentano di fronte ai singoli interessi nazionali. L’Europa attraverso le politiche 20-20-20 ha fatto grandi passi verso una sostenibilità energetica (riduzione gas serra, aumento fonti rinnovabili e miglioramento efficienza energetica). I trasporti all’interno della UE hanno un peso notevole sia nel consumo energetico che nella produzione di gas climalteranti e per questo sono elementi centrali delle politiche di sviluppo possibile.

La “Strategia Europa 2020” individua nei trasporti uno dei punti cardine su cui incernierare le azioni per una sostenibilità energetica. Infatti la crescente richiesta di mobilità, manifestata anche attraverso la crescita del numero di veicoli, spinge ad una riduzione dei rischi ambientali tramite la ricerca per veicoli a basso impatto e maggiormente efficienti. Ad ulteriore motivazione del processo di efficientamento energetico la “Strategia Trasporti 2050” ha prodotto una roadmap verso la sostenibilità dei trasporti ricercando una riduzione del 60% delle emissioni di CO₂ per il tramite di una forte presenza di veicoli elettrici ed ibridi e l’utilizzo di combustibili a basso contenuto di carbonio.

La mobilità elettrica diviene quindi soggetto importante delle politiche europee e nazionali e l’interesse verso il valore commerciale è ormai tangibile. Infatti il trasporto privato ha già l’opportunità di scegliere nei differenti segmenti di mercato i veicoli elettrici che meglio si adattano alle richieste di mobilità personale. Lo sviluppo dei sistemi di accumulo basati sulle tecnologie al Li-ione offre capacità di accumulo che sposate all’elevata efficienza dei powertrain elettrici sono in grado di garantire autonomie reali di 120-200 km, in relazione ai profili stradali ed allo stile di guida. In questo contesto le previsioni di sviluppo del mercato elettrico veicolare a livello europeo indicano una crescente conquista di porzioni del venduto con prospettive sino al 8% annuo al 2025.

Per rispondere efficacemente alle previsioni di diffusione del veicolo elettrico si pone l’esigenza di adeguare l’infrastruttura per il supporto alla ricarica. In questa visione il PNIRE (Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli Elettrici) definisce quali sono le linee guida che debbono condurre alla realizzazione di una rete di punti di ricarica accessibile, pubblica e diffusa sul territorio nazionale. Il PNIRE abbraccia i principali temi che ruotano intorno alla mobilità elettrica in grado di offrire disponibilità di risorsa e flessibilità di impiego senza tralasciare le diverse tecnologie possibili allo stato dell’arte.

Una crescita non coordinata della rete di ricarica potrebbe risultare dispendiosa, inefficace ed impattare sulla rete di distribuzione in modo anomalo. Per questo il PNIRE deve avvalersi di opportune strategie di intervento per guidare in modo armonioso la creazione di una rete infrastrutturale consistente e la mobilità elettrica deve svilupparsi sotto i riflettori della sostenibilità per evitare ripercussioni future e inefficienza

strutturali. La “mobilità elettrica sostenibile” è pertanto il motto che nella visione del Piano triennale 2015-2017 della Ricerca di Sistema Elettrico caratterizza la realizzazione del piano di lavoro. Sostenibile perché la mobilità elettrica utilizza risorse energetiche prelevate dalla rete, e quindi soggette alla composizione delle sorgenti di produzione e perché il prelievo deve essere eseguito con una gestione mirata dell’intensità di carico nella sua distribuzione spazio-temporale. Ed ancora perché l’affiancamento di tecnologie di supporto può aumentare l’economicità dell’elettromobilità individuale e l’utilizzo di tecnologie di carica flessibili può conseguire risparmi di gestione nel trasporto pubblico. Infine perché la sostenibilità si attua attraverso lo sviluppo di una “catena del valore” della mobilità elettrica, dalla produzione al consumo su strada, senza tralasciare lo smaltimento.

Nell’ambito del Piano di attuazione triennale 2015-2017 le linee di intervento su cui sviluppare il piano di lavoro saranno:

- Scenari di mobilità elettrica (costi, interazioni con il sistema energetico nazionale, la rete elettrica, la regolazione, l’ambienta);
- Scenari di elettrificazione della mobilità pubblica;
- Valutazione e valorizzazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica;
- Tecnologie e infrastrutture di ricarica (in particolare veloce) di veicoli elettrici, dimensionamento in funzione della diffusione della mobilità elettrica.

Queste si collocano pienamente all’interno del quadro operativo offerto dal PNIRE per provvedere allo sviluppo di una rete infrastrutturale per una mobilità elettrica che proceda verso l’impatto “zero” attraverso l’incremento del ricorso alle fonti rinnovabili, una maggiore efficienza energetica in aree urbane ed una gestione integrata con un approccio di tipo smart.

Descrizione del prodotto dell’attività

Sostenibilità e mobilità elettrica devono incontrarsi nel punto di ottimo per una “low carbon mobility”, caratterizzata quindi da un contenuto emissivo specifico di CO₂ molto basso. Questo aspetto risulta positivamente influenzato dall’attuale modalità di produzione di energia elettrica ossia dal mix italiano di sorgenti utili alla produzione energetica nazionale. Al 2013 il fattore emissivo di CO₂ della componente nazionale è infatti valutato 343 gCO₂/kWh grazie alla forte componente rinnovabile che riduce di oltre 100 gCO₂/kWh il fattore emissivo di sola fonte termoelettrica.

Poiché quasi 1/4 (23%) delle emissioni totali di CO₂ in Italia sono addebitate al settore dei trasporti e la quasi totalità deriva dal trasporto su strada, appare evidente che ogni azione per la riduzione delle emissioni dei gas serra debba passare attraverso una forte azione di decarbonizzazione del trasporto stradale congiuntamente ad una revisione modale del sistema dei trasporti. Ridurre i combustibili fossili ricorrendo ad una mobilità elettrica è quindi uno degli obiettivi che la politica energetico-ambientale nazionale si propone di perseguire. E questa strategia può essere vantaggiosamente unita ad un uso maggiore del trasporto pubblico locale che è in grado di muovere più persone con un livello di efficienza superiore rispetto al trasporto privato.

Una ristrutturazione del sistema dei trasporti nella direzione della mobilità elettrica prospetta diversi aspetti che devono essere presi in esame al fine di produrre un risultato che sia ammissibile non solo energeticamente ma anche ambientalmente e impone una attenta riflessione sulle azioni relative alla “gestione” della transizione. Guidare la crescita significa proporre soluzioni credibili energeticamente, socialmente accettabili e ambientalmente sostenibili e comporta l’esigenza di sviluppare metodologie e strumenti di ausilio ex-ante.

In questo quadro la proposta è indirizzata a produrre iniziative di ricerca per la realizzazione di strumenti di supporto alla transizione elettrica della mobilità, sia pubblica che privata, nonché alla valutazione delle interazioni della ricarica rapida nel TPL con la gestione del servizio e con la rete. Queste iniziative saranno operate non tralasciando di indagare lo sviluppo di soluzioni tecnologiche nuove per il contesto nazionale che potrebbero essere sfruttate dall’industria nazionale.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

La situazione nel settore della ricarica, sia per il trasporto individuale che per quello collettivo, è in rapida evoluzione verso sistemi sempre più potenti per la ricarica on-the-road, accompagnando così lo sviluppo di autovetture con autonomie sempre maggiori, sempre più versatili, intelligenti e disponibili per la ricarica domestica e nei parcheggi, mirando ad una praticità d'uso dell'elettrico che si avvia a superare quella delle auto con motore a combustione.

Infatti gli ultimi modelli di auto elettriche, dalla nuova versione della Nissan Leaf con pacco batteria da 30 kWh a macchine come le Tesla e le Audi con batterie prossime ai 100 kWh ed autonomie dell'ordine dei 3-400 km, rendono chiaramente insufficienti i 50 kW delle colonnine attualmente disponibili, che dovrebbero evolvere verso sistemi da 100-150 kW, per una ricarica completa in 30' circa. Ad esempio la Tesla, con il suo Supercharger da 125 kW, offre la possibilità concreta di caricare l'80% di un pacco batterie da 85 kWh in 30 minuti.

La risposta dei concorrenti europei a Tesla ed allo standard giapponese ChadeMo, diffuso anche in Europa dove è adottato dalla Nissan Leaf, è il CCS, anche conosciuto come "SAE Combo", che usa una spina che unisce una "J-1772" per la ricarica di Level 2 con due pin per la c.c., oggetto della CharIN CCS Fast Charge Initiative. Questa riunisce i marchi del Gruppo Volkswagen, Audi e Porsche in testa, ad altri nomi di spicco dell'automobilismo tedesco quali BMW, Daimler ed Opel, con l'intento di sviluppare l'odierno sistema di ricarica rapida in corrente continua scelto dall'Europa CCS (BMW i3, Chevrolet Spark EV, and Volkswagen e-Golf), per modelli di auto in grado di supportare una tecnologia di ricarica a 150 kW.

Soluzioni standardizzate con potenze di questo tipo rendono evidentemente sempre più attuale lo sviluppo di "stazioni di servizio" multi-service, che, grazie alla disponibilità di sistemi d'accumulo stazionari, siano una risorsa piuttosto che un onere aggiuntivo per la rete elettrica. Il crescente interesse per la "seconda vita" delle batterie automobilistiche nelle infrastrutture di ricarica va in questa direzione, consentendo al contempo il riutilizzo di componenti automotive. E, in un circolo virtuoso, si riduce così il costo "di prima installazione" perché garantisce alla batteria di un autoveicolo un elevato valore residuo al momento della sua sostituzione con una batteria "fresca".

Un esempio di utilizzo di batterie "second life" è, ad esempio, Mobi Charger™, un sistema mobile, l'associazione di una batteria Li-Ione da 40 kWh e di una colonnina, recentemente proposto da Siemens e FreeWire Technologies, Inc., che consente di ricaricare veicoli elettrici, fino a cinque vetture al giorno, senza la realizzazione di infrastrutture stabili. Il sistema si può acquistare o noleggiare, erogando energia accumulata a costi ridotti nelle ore in cui la richiesta è bassa. E, naturalmente, il sistema è connesso anche in rete, consentendo la gestione commerciale della ricarica.

Sempre in tema di ricarica "lenta", sono poi proposti da vari costruttori, tra cui ABB e Tesla (Powerwall Home Battery), sistemi di accumulo "domestici", basati su celle Li-Ione, che consentono l'integrazione al livello più basso dell'auto elettrica con le fonti rinnovabili, ad esempio il fotovoltaico. I sistemi sono in configurazione modulare, e quindi con capacità crescente da 7-10 kWh fino ad un centinaio di kWh, e comprensivi di inverter, con potenze crescenti da 2-3 kW a molte decine.

La ricarica "lenta" potrà poi superare le attuali limitazioni d'uso (parcheggi custoditi, praticità d'uso basso, sensibilità agli agenti atmosferici) con lo sviluppo della ricarica contactless. Bosch adesso commercializza il sistema PlugLess Power, di Evatran, ad un costo intorno ai 3000 \$, sistema adottato anche da Hertz e da Google negli Stati Uniti. La tendenza è anche qui verso un aumento della potenza, passando da 3 a 7 kW, consentendo la ricarica notturna di un pacco fino a 60 kWh, con autonomia del veicolo superiore a 300 km. Ma si va verso sistemi ancora più potenti, ad esempio la Volvo per la sua E 30, con batteria da 24 kWh, ha allo studio un sistema che ne consente la ricarica completa in poco più di un ora, il tempo di una sosta-pranzo o di fare la spesa al supermercato. L'efficienza di questi sistemi è oggi intorno all'85%, contro un 95% della ricarica induttiva classica, con traferro minimo, mentre la distanza tra il trasmettitore ed il ricevitore si sta gradualmente aumentando, per consentire l'installazione "a filo pavimento" dell'apparato di terra.

La frontiera della tecnologia è in questo caso la ricarica "dinamica", studiata nel Regno Unito ed in Corea per applicazioni stradali e testata in Corea su di una tratta della lunghezza di una decina di chilometri.

Infine, passando al trasporto pubblico locale, recentemente anche la ABB si è aggiunta alla lista dei costruttori che propongono sistema di ricarica veloce automatici grazie al quale gli autobus elettrici possono restare in servizio 24 ore su 24, 7 giorni su 7, realizzando un sistema di trasporto urbano a zero

emissioni. Grazie al sistema di collegamento automatico posto sul tetto e a tempi di ricarica di 4-6 minuti, la soluzione può essere facilmente integrata nelle linee urbane esistenti installando unità di ricarica rapida presso stazioni di capolinea, depositi e/o fermate intermedie. La concezione modulare con potenze di ricarica da 150, 300 o 450 kW fornisce in pochi minuti a ciascun autobus l'energia necessaria per percorrere il proprio tragitto urbano per tutta la giornata. Nel luglio 2014, ABB ha annunciato di aver sottoscritto un accordo di collaborazione su scala mondiale con Volvo per la commercializzazione congiunta di stazioni di ricarica veloce e autobus.

IL PROGETTO NEL TRIENNIO

Risultati ottenuti nei precedenti piani triennali

Nel corso del triennio le attività sull'elettromobilità si sono andate progressivamente focalizzando sugli aspetti relativi alla ricarica, potendo avvalersi sia di competenze di carattere trasportistico per l'analisi di una ricca statistica relativa agli spostamenti veicolari, che di facility sperimentali di rilievo.

Da questa base si sono ricavate inizialmente interessanti valutazioni sulla possibile diffusione dell'elettromobilità. La metodologia applicata è il frutto dell'elaborazione di un set di dati sperimentali acquisiti attraverso un sistema di bordo veicolare che in modalità remota trasmette periodicamente informazioni circa posizione, velocità media, sosta.

Queste analisi hanno concretamente indicato il livello di possibile penetrazione del veicolo elettrico in base alle percorrenze massime giornaliere/mensili e si è ottenuta anche un'importante indicazione in merito alla determinazione delle soste e delle loro durate. Infatti le ricariche possibili ed il livello di potenza impegnato risultano strettamente dipendente dal tipo di soste che si fanno oltre che dal percorso eseguito. Dopo aver inizialmente verificato la possibilità di sostituzione del convenzionale in elettrico, una configurazione di scenario ha mostrato come migliora l'indice di sostituzione termico-con-elettrico al crescere dell'uso di modi di trasporto differenti in occasione di alcune giornate nell'arco del periodo di osservazione (ad esempio in occasione di lunghi trasferimenti).

Con lo stesso data base si è studiata anche l'incidenza dell'uso di veicoli ibridi "plug-in" per indagare sui benefici introdotti dalla modalità di gestione V2G. Utilizzando ipotesi di scenario (diffusione del veicolo plug-in) e di modalità di ricarica (vincolata oraria, libera, vincolata SOC massimo) si sono valutati i diversi carichi cui la rete è soggetta con e senza immissione verso la rete nelle ore di punta diurne.

La ricchezza delle fonti informative ci ha infine spinto ad approfondire gli aspetti di interazione tra veicoli elettrici e ricarica attraverso la realizzazione di uno strumento di supporto alla realizzazione di una rete di infrastrutture di ricarica, attraverso un algoritmo di ottimo che valutando le condizioni baricentriche delle distribuzioni delle soste ne determinasse la posizione.

Passando alla sperimentazione diretta di sistemi e componenti, si è lavorato sulla ricarica veloce per le implicazioni che essa ha sia per gli effetti sulla vita delle batterie, sia di efficienza di ricarica che in termini di effetti sulla rete, utilizzando la ricarica rapida con modulazione di potenza.

Un primo risultato è stato raggiunto tramite la realizzazione di un sistema di misura veloce e preciso in grado di qualificare i sistemi di ricarica (ma più in generale i sistemi di conversione della potenza). Un secondo risultato è stato raggiunto attraverso l'utilizzo di una colonnina Fast-charge ChadeMo 50 kW) unitamente ad un sistema di compensazione di tipo attivo con accumulo stazionario. La stazione "ibrida" risultante ha mostrato di poter lavorare in condizioni di rete limitanti e di sfruttare al meglio le sinergie offerte dalla presenza di una fonte rinnovabile. In particolare è stato verificato il benefico apporto in fase di ricarica della potenza attiva e reattiva trasferite dall'accumulo in base alle richieste di carica del veicolo e della variazione di fattore di potenza eventuale.

Con il medesimo spirito si è proceduto all'integrazione di fonti rinnovabili non programmabili con sistemi di accumulo stazionario e la rete, per l'alimentazione di stazioni di ricarica per veicolo elettrici. Questo ha portato a realizzare una piattaforma di progetto per stazioni multi sorgente avendo come obiettivo l'ottimo economico attraverso l'uso di funzioni di costo. Successivamente si è migliorata la piattaforma integrando

funzionalità aggiuntive (V2G) ed attivando un controllo real-time che potesse variare in tempo reale gli output di ricarica al variare delle condizioni delle sorgenti energetiche.

Rimanendo nel settore della ricarica non si è tralasciata l'opportunità di esaminare il tema della ricarica senza contatto, nella prospettiva di una sua introduzione sul mercato dell'auto. In particolare è stato realizzato un piccolo sistema di ricarica da 600 W (idoneo per la ricarica di una piccola city car) con tecnologia SiC di tipo risonante ad 85 kHz. Il sistema è stato anche fornito di un controllo di risonanza, di una rete di comunicazione a due livelli (verso utente e tra stadio Rx ed Tx) oltre che un protocollo di comunicazione e gestione della ricarica. Congiuntamente si è iniziata una sperimentazione tesa a verificare sia il rispetto dei limiti di campo E/B dispersi ma anche a valutare i livelli di esposizione della popolazione. Questa azione diviene maggiormente pressante alla luce di una maggiore diffusione di stazioni di tipo contactless. Per offrire un quadro più ampio analogo sperimentazione è stata svolta anche su un sistema di ricarica contactless commerciale (statunitense, non omologabile in Europa) da 3,7 kW installato a bordo di un veicolo elettrico ENEA.

Per gli aspetti della ricarica strettamente inerenti l'accumulo del veicolo (rendimenti, life-cycle-cost) sono due le linee che si sono perseguite: la prima ha cercato di valutare gli effetti delle applicazioni V2G sia sul sistema di accumulo che a livello di efficienza di sistema, la seconda gli effetti sulla vita della batteria dell'utilizzo di cicli di ricarica a correnti elevate (3C) in applicazioni idonee per il TPL, come la ricarica intermedia alle fermate di capolinea.

La prima linea ha sviluppato un modello con cui poter valutare l'efficienza di sistema al variare delle condizioni di ricarica e di erogazione della batteria veicolare tenendo presente le mappe di efficienze del convertitore bidirezionale. La validazione del modello è stata espletata sperimentalmente attraverso un prototipo di convertitore bidirezionale.

Per gli effetti delle alte correnti sulle batterie si è provveduto ad eseguire cicli di carica-scarica su moduli al Li-Fe-PO con cicli d'uso riscontrati o proponibili per applicazioni TPL. La sperimentazione ha indicato come celle commerciali mostrino buone caratteristiche di lavoro ad alte correnti in ricarica senza mostrare apparenti cali delle prestazioni.

Infine per il trasporto pubblico locale si è valutata la possibilità di sostituzione di veicoli convenzionali con quelli elettrici attraverso la modellizzazione dei veicoli elettrici (modelli parametrici) per la stima dei consumi lungo le linee di servizio. In base a questi modelli si sono ipotizzate modalità di gestione della carica della batteria in funzione delle richieste energetiche su strada e della possibilità di ricaricare in modo ripetuto ad alte corrente lungo il tragitto. Inoltre si è provveduto ad una valutazione del tipo costi-benefici supportando queste valutazioni con casi-studio per l'individuazione pratica di soluzioni sia in ambito di grande centro urbano che di piccola città.

Obiettivo finale dell'attività

Le linee operative scelte convergono all'individuazione di funzioni e strumenti utili a supportare la pianificazione infrastrutturale della rete di ricarica. In questo senso l'obiettivo finale del progetto nel triennio si concretizza attraverso ricerche e studi volti alla realizzazione di strumenti di supporto per la pianificazione e/o per la valutazione della mobilità elettrica operando sul fronte delle infrastrutture di ricarica. Tra queste, in particolare, quelle volte ad indagare gli impatti della mobilità elettrica sul sistema dei trasporti in ambito urbano ed a sviluppare strumenti utili per le aziende di TPL o le amministrazioni locali.

Nel triennio, quindi, le attività a termine considereranno gli aspetti di scenario per qualificare la portata degli interventi possibili attraverso:

- lo sviluppo di tecnologie innovative e sistemi di ausilio per la ricarica elettrica per indagare sui limiti di fruibilità e di efficienza delle medesime nei contesti del TPL;
- la realizzazione di strumenti sw per la valutazione costi-benefici dell'elettrificazione del TPL;
- la valutazione dei benefici ambientali in funzione del livello di orizzonte prescelto;
- la pianificazione infrastrutturale ottima della rete di ricarica e gli effetti sulla rete di distribuzione;
- gli effetti della ricarica rapida a livello di infrastruttura di ricarica e le azioni per la loro mitigazione a livello di infrastruttura e di rete locale;
- la realizzazione di un simulatore del fabbisogno energetico della mobilità urbana;

- Valutazione della sostenibilità delle tecnologie per la mobilità elettrica;
- Impatti sulla salute della mobilità elettrica;
- Sicurezza : valutazione rischi e procedure di intervento in caso di incidente.

I risultati saranno prodotti attraverso le attività annuali che si proporranno nel corso dei tre anni di vigenza della proposta e che sono descritti di seguito.

Descrizione dell'attività a termine

Nel corso del triennio saranno svolte attività secondo le linee individuate e descritte nel documento 371/2015/RDS dell'AEEGSI :

- scenari di mobilità elettrica (costi, interazioni con il sistema energetico nazionale, la rete elettrica, la regolazione, l'ambienta);
- scenari di elettrificazione della mobilità pubblica;
- valutazione e valorizzazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica;
- tecnologie e infrastrutture di ricarica (in particolare veloce) di veicoli elettrici, dimensionamento in funzione della diffusione della mobilità elettrica.

In maggior dettaglio si intende condurre attività nei vari ambiti individuati affinché si producano i risultati evidenziati precedentemente e più specificatamente come riportato di seguito:

a) Scenari di mobilità elettrica

Nel quadro delineato le attività saranno incentrate sulla realizzazione di strumenti di supporto per l'approfondimento di scenari operativi elettrificati sia per il trasporto pubblico che per quello privato, adottando metodi di analisi flessibili e configurabili. In particolare si prospetta la realizzazione di un software che valuti realizzabilità e convenienza del trasporto elettrico con tecnologie disponibili sul mercato ma anche con soluzioni più evolute ancora in fase sperimentale. Questo ausilio sarà contestualizzato altresì attraverso analisi di scenario sia in termini di diffusione del veicolo elettrico che di trasformazione del trasporto pubblico.

Appare inoltre utile dotare le utilities elettriche di uno strumento in grado di prevedere a breve termine (qualche ora o meno) il fabbisogno di energia elettrica per il soddisfacimento delle esigenze della mobilità elettrica pubblica e privata in un'area urbana. I destinatari di questa applicazione saranno gli attori della distribuzione di energia elettrica (distributori e società di intermediazione) che avranno a disposizione le indicazioni di consumo di energia elettrica attesi per la ricarica dei veicoli nelle differenti zone della città. L'input del sistema previsionale sarà basato sulle informazioni provenienti da sensori mobili (veicoli sonda, telefonia mobile, off.data, a pagamento) e fissi (spire magnetiche e telecamere) e da "Open data" disponibili gratuitamente on-line. Il beneficio è quello di anticipare le richieste di Energia Elettrica sul modello di quanto già realizzato in ambito civile, industriale e nel terziario consentendo così di ottimizzare l'offerta in base alle reali esigenze dell'utenza, anche con integrazione nella rete di sistemi di accumulo adeguatamente dimensionati capaci di gestire con il minimo impatto per gli utenti dei mobilità la mancanza di rete (sia accidentale programmata per le manutenzioni).

b) Tecnologie e infrastrutture di ricarica (in particolare veloce) di veicoli elettrici, dimensionamento in funzione della diffusione della mobilità elettrica.

Una crescita della rete infrastrutturale, secondo le linee guida espresse nel PNIRE, in grado di provvedere alle crescenti richieste dell'utenza è prioritaria per la diffusione della mobilità elettrica. Le difficoltà di reperimento delle risorse finanziarie necessarie alla implementazione di una vasta rete infrastrutturale richiedono però una precisa verifica dei fabbisogni di energia (domanda) per verificarne l'idonea collocazione spaziale (offerta). Questo si tramuta nella necessità di uno strumento operativo in grado di aggregare le richieste dell'utenza in base ai loro spostamenti reali e di produrre una distribuzione spaziale dei punti di ricarica. La georeferenziazione sulla rete stradale è il primo passo da cui partire per ricavare il dimensionamento dell'infrastruttura conoscendo il pattern delle fermate ed i consumi veicolari. Conoscere l'impegno di potenza ed il suo profilo temporale è quindi uno degli obiettivi finali da conseguire attraverso una localizzazione ottima delle infrastrutture ed una tipizzazione dei punti di ricarica disponibili. Necessita

quindi determinare la corrispondente analisi “lato offerta”, quella effettuata dal punto di vista dell’investitore privato o pubblico che decida di offrire in maniera remunerativa i servizi di ricarica elettrica.

Le due analisi devono obbligatoriamente incontrarsi (definizione dei dati di partenza, di reciproca conoscenza di vincoli specifici, etc..) in maniera da permettere una soluzione integrata e soddisfacente per tutti gli attori presenti sulla scena; questo incontro rappresenta un ulteriore punto di sviluppo sul tema della ricarica elettrica sul territorio. L’analisi lato offerta necessariamente entra anche nell’ambito dell’analisi economica, per cercare di identificare i “break-even point” oltre i quali l’investimento può avere rientri economici di interesse, tenuto conto degli elementi di costo e di ricavo ed impostando l’analisi tramite strumenti di ottimizzazione matematica su modelli di costo lineari e/o non lineari.

Come visto la struttura di ricarica non può prescindere dalla definizione della tecnologia di ricarica che ne caratterizzerà dimensione e numero di punti di allaccio. Pertanto inquadrando le esigenze tecniche di potenza di ricarica e tempi di ricarica sarà utile eseguire un dimensionamento dell’infrastruttura utilizzando tecniche di ricariche di tipo veloce attraverso collegamenti sia cablati che contactless. Per quest’ultimo processo si valuterà l’aspetto di utilizzo di sistemi contactless in contesti dinamici, soprattutto per quelle applicazioni su circuiti ricorrenti tipici del trasporto pubblico. Procedendo nello sviluppo di sistemi integrati di sorgenti elettriche verrà studiata anche la capacità di integrazione di sistemi a supercondensatori in applicazioni di ricarica veloce per il TPL, per limitare le potenze di picco di allaccio alla rete nelle stazioni di servizio ed offrire supporto alla ricarica wireless dinamica, stante l’elevata variabilità e la breve durata dei carichi generati dal passaggio dei veicoli in moto su gli elementi di trasmissione annegati nella sede stradale. L’integrazione a livello locale di sistemi di accumulo stazionari con fonti rinnovabili sarà ulteriormente avanzata attraverso la proposizione di ottimizzazione della rete di ricarica a livello di microrete per l’ottimizzazione dei flussi energetici.

Le limitazioni psicologiche sull’autonomia, rimangono comunque un ostacolo ad un uso fiducioso del veicolo elettrico. L’istituzione di un servizio di soccorso alla ricarica costituisce un passo ulteriore verso la normalizzazione dell’uso del veicolo elettrico anche nelle lunghe distanze rimuovendo quelle incertezze sull’autonomia residua. Si prevede pertanto di progettare la trasformazione di un veicolo come stazione di ricarica rapida mobile di soccorso ai veicoli elettrici al limite della loro autonomia. Il veicolo costituirà l’elemento chiave per l’istituzionalizzazione di un servizio di soccorso stradale in grado di offrire nuove opportunità lavorative anche attraverso la costituzione di società di servizio operanti lungo gli assi viari di interesse o di servizi a chiamata.

c) Valutazione e valorizzazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica

Come già espresso la mobilità elettrica è considerata “green” grazie alle emissioni nulle su strada ma è importante valutare correttamente le implicazioni della mobilità in termini di emissioni su una scala maggiore. Pertanto si intende produrre una valutazione dei benefici reali che l’elettrificazione della mobilità può indurre sia a livello nazionale ma, più importanti, a livello regionale (o distrettuale). Infatti l’aggregazione territoriale potrà esprimere sinergie, attuabili in loco, in grado di aumentare la rilevanza della produzione energetica basata su fonti rinnovabili. Infine sarà approfondito ed evidenziato come la realizzazione di una rete di infrastrutture di ricarica basata sulle risorse elettriche locali influisca sulla sostenibilità della mobilità sul territorio. Le risorse elettriche necessarie per far fronte alle richieste di sviluppo della mobilità elettrica saranno quindi analizzate e valutate in base alla loro connotazione territoriale. Insieme alla analisi dei bilanci energetici si verificherà la consistenza dei minori impatti derivanti dalla elettrificazione considerando gli aspetti di efficienza dei sistemi di generazione centralizzati e distribuiti asserviti al soddisfacimento della domanda.

Si intende valutare la sostenibilità delle tecnologie per la mobilità elettrica per l’attuazione dell’economia circolare nel processo produttivo dei dispositivi con valutazione degli impatti positivi sul consumo di materia e di energia derivanti dall’implementazione dei principi dell’economia circolare nell’ambito della mobilità sostenibile (flussi di risorse (materiali ed energia), risparmi dal punto di vista economico e anche sui costi connessi all’implementazione di criteri di economia circolare a livello nazionale, identificazione di fattori che possano favorire la transizione verso l’economia circolare, nonché fattori ostativi).

Il litio è il materiale di vertice su cui l’industria automotive ha puntato per lo sviluppo della mobilità elettrica. Tuttavia la tecnologia del litio possiede un limite che riguarda i livelli di sicurezza del sistema di

accumulo. L'eccesso di riscaldamento degli accumulatori al litio può condurre al runaway termico ovvero di reazioni chimiche non desiderate caratterizzate da una elevata velocità di reazione e di produzione di calore, cui consegue il rischio di esplosione ed incendio. I sistemi di bordo (BMS, Battery Management System) costituiscono uno dei sistemi di protezione attivo, operando con azioni di controllo e di intervento in caso di innalzamento della temperatura oltre un certo limite ovvero sia avvertendo dell'anomalia che intervenendo direttamente sull'erogazione-accettazione della corrente. Queste batterie, insieme ai BMS, sono normalmente sottoposte a test di sicurezza stringenti definiti a livello internazionale da norme tecniche specifiche, ma l'analisi di rischio insegna che esiste ugualmente una probabilità di accadimento degli eventi di cui trattasi. Rimane perciò la necessità di quantificare il rischio e di gestire il rischio residuo. L'attività prevede, sulla base di studi in corso presso il nostro laboratorio, l'indagine di alcuni importanti aspetti legati alla sicurezza quali: il comportamento a seguito di guasto dei sistemi ridondanti di sicurezza sia durante l'uso dei veicoli che nel corso della ricarica; il comportamento a crash (scenario tipico di un urto accidentale) e ad abuso meccanico (penetrazione da parte di oggetti appuntiti o taglienti); il comportamento ad incendio esterno; la velocità di propagazione di incendio; l'analisi di rischio; le modalità di intervento in caso di emergenza (estinzione del fuoco e interventi di evacuazione). A tal fine si prevede di effettuare, nel 2016 l'analisi delle norme tecniche applicabili alla sicurezza delle batterie automotive e l'individuazione di cause esterne di overheating unita all'analisi di rischio. Parallelamente verranno eseguite prove di "abuso" in campo aperto e la sperimentazione di tecniche di estinzione del fuoco

La diffusione della mobilità è legata alla crescita delle infrastrutture di ricarica sia cablate che wireless. I piani nazionali di diffusione sono orientati ad avere almeno 130.000 punti di ricarica aperti al pubblico in breve tempo. Per i sistemi di ricarica di potenza significativa (> 22 kW) si propone il tema della sicurezza e della protezione dell'utilizzatore dai campi E/M residui. La mappatura delle emissioni residue attraverso una campagna di misure dedicata è in grado di fornire il quadro delle emissioni E/M cui gli utilizzatori sono soggetti durante le ricariche. Conseguentemente attraverso la definizione di livelli di dose assorbita si potranno definire quei livelli massimi di emissione che gli apparati dovrebbero provvedere. Inoltre si propone di individuare quei livelli massimi di campo emettibili e le eventuali protezioni da approntare nel caso di utilizzatori utilizzando dispositivi sanitari impiantabili.

Principali risultati previsti alla fine del triennio

I prodotti a maggiore impatto alla fine del triennio saranno individuati in:

- ✓ Sistema di supporto alle decisioni per l'elettrificazione del TPL
- ✓ Sperimentazione su sistema di ricarica wireless dinamico su veicolo prototipo ENEA (microcar)
- ✓ Sistema per la pianificazione ottima della rete di ricarica in ambito urbano
- ✓ Valutazione ambientale dell'elettrificazione della mobilità elettrica
- ✓ Valutazione sulla sostenibilità delle tecnologie elettriche per la mobilità;
- ✓ Simulatore per il fabbisogno energetico della mobilità urbana;
- ✓ Procedure per l'intervento in caso di incidente e valutazione del rischio;
- ✓ Veicolo per la ricarica di Soccorso.

Il triennio vedrà comunque la produzione di studi e ricerche che risulteranno funzionali al conseguimento degli obiettivi finali secondo la descrizione a termine delle attività e le indicazioni contenute in dettaglio nei piani annuali .

Coordinamento con attività di CNR e RSE

RSE ed ENEA hanno da tempo stabilito un contatto sui temi dell'analisi del profilo di missione dei veicoli elettrici e dell'impatto sulla rete di distribuzione. La specificità delle competenze di ENEA consente una delimitazione delle sue azioni nel settore dell'elettromobilità tale che non si sovrappongano a quelle RSE ma ne costituiscano un complemento. Infatti ENEA, coerentemente con le competenze/risorse acquisite nel corso degli anni si atterrà nel suo programma alle valutazioni/verifiche teorico-sperimentali dell'elettromobilità in termini trasportistici e veicolari (domanda/offerta di mobilità elettrica/elettrificabile ed interfacciamento con la rete a bassa tensione). Nel triennio le attività per l'elettromobilità vedranno una

partecipazione coordinata tra ENEA e RSE in particolare nelle attività di dimensionamento ottimo della rete di ricarica. In questo ambito si porteranno a frutto le attività di ENEA per il dimensionamento della rete di ricarica in base alla possibile domanda di mobilità e le competenze RSE in merito alla valutazione degli impatti nel quadro delle applicazioni di ricarica rapida a livello di stazione di ricarica.

Benefici previsti per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività

Il conseguimento degli obiettivi troverà utilità diretta per gli utenti del sistema elettrico nazionale attraverso la:

- la verifica delle possibilità di trasformazione del TPL in elettrico con la selezione di tecnologie e modalità di gestione ottime e la loro verifica/validazione teorico-sperimentale,
- il superamento di barriere culturali alla diffusione della mobilità elettrica tramite una conoscenza delle possibilità operative reali in termini di autonomia e di utilizzo del veicolo elettrico, anche grazie all'uso di metodiche di ricarica veloci e "amichevoli",
- l'acquisizione della consapevolezza dei reali benefici conseguibili grazie una conoscenza delle migliori ambientali e sociali conseguibili tramite la conversione elettrica della mobilità,

e mediante la creazione di strumenti di supporto alle decisioni (DSS) per:

- la realizzazione di una rete di stazioni di ricarica equilibrata e capillare che consenta la fruizione aperta del servizio in modo uniforme sul territorio;
- la transizione verso la mobilità elettrica in modo controllato grazie alla presenza di una omogenea distribuzione delle risorse di ricarica;
- la minimizzazione dei sovraccarichi che possono influire sulla continuità del servizio di distribuzione dell'energia.
- un supporto specifico per le aziende (pubbliche e private) del trasporto collettivo per indirizzare la trasformazione elettrica delle flotte secondo le migliori opportunità tecnologiche disponibili e le priorità di servizio;
- una conoscenza della mobilità privata finalizzata alla crescita delle reti infrastrutturali di ricarica in grado di fornire il supporto per la transizione elettrica ed alla crescita di imprese di settore con margine positivo di profitto;
- lo sviluppo di modelli di impresa che favoriscano l'imprenditorialità (giovanile) coniugando nuove tecnologie-mobilità elettrica-energie rinnovabili;
- l'approfondimento di tecnologie per la ricarica rapida ad elevata potenza con criteri di modularità, integrazione ed efficienza idonei alle esigenze del trasporto elettrico collettivo in condizioni di ricarica rapida e frequente;
- la valutazione di metodi di ricarica senza contatto in modalità dinamica per contesti di trasporto dedicati (extraurbano) atti a supportare gli spostamenti su tragitti di lunga e lunghissima percorrenza;
- la stima dei costi imputabili alla durata del sistema di accumulo operante in condizioni di ricarica veloce;
- il supporto alle PA nelle azioni di diffusione delle tecnologie elettriche per la mobilità, pubblica e privata, attraverso strumenti sw e le competenze maturate;
- il sostegno alla impostazione di politiche nazionali di incentivazione e diffusione della mobilità elettrica che siano aderenti alle esigenze reali di mobilità attraverso la creazione di una rete di infrastrutture non ridondante, capillare e coerente con gli obiettivi di crescita proposti e compatibile con le risorse economiche;
- una riduzione dell'ansia da autonomia ridotta attraverso la presenza di un Servizio per ricarica di soccorso.

I benefici attesi sono di tipo diretto all'utenza ma anche indiretto attraverso la riduzione delle emissioni su strada e alla minimizzazione dei tempi di ricarica in grado di proiettare la mobilità elettrica su un piano di equivalenza con i veicoli alimentati a combustibili fossili.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Elenco degli obiettivi relativi al PAR 2015

a. Scenari di elettrificazione della mobilità pubblica

La transizione verso la mobilità elettrica nel settore del trasporto pubblico locale (TPL) necessita di una verifica puntuale attraverso l'analisi sistemica di processo ossia mediante una indagine completa dei costi-benefici che ne derivano. Le diverse opzioni tecnologiche che l'elettrificazione del TPL pone a disposizione provvedono a rispondere alle esigenze della mobilità pubblica con proposte differenziate nei vari livelli di attuazione. Le aziende pubbliche a volte si trovano nelle condizioni di dover stimare le possibili soluzioni applicative veicolari nei loro contesti di servizio e si trovano in difficoltà nella comparazione/valutazione delle diverse soluzioni tecniche che l'elettrificazione offre. Una valutazione di scenario può essere eseguita attraverso strumenti di supporto alle decisioni che tramite una verifica dello stato della rete possono esprimere valutazioni di merito sulla introduzione di veicoli elettrici dotati di sistemi di ricarica idonei alla garanzia di servizio. In questa visione si intende operare per affrontare il tema del supporto decisionale verso la transizione elettrica del trasporto pubblico.

a.1 Strumento di supporto alle aziende di Trasporto Pubblico Locale (TPL) ed alla Amministrazione Territoriale per l'elettrificazione delle linee di trasporto

Il processo di elettrificazione delle reti di trasporto pubblico locale richiede di essere supportato da procedure, il più possibile standardizzate, di analisi di fattibilità tecnica ed economica degli interventi. Molto spesso, per le aziende di trasporto pubblico, ciò rappresenta un ostacolo operativo non disponendo di strumenti adeguati. Per tale motivo, e cogliendo l'occasione della normativa sugli "Open Data" ¹⁵, si propone di mettere a punto un sistema di supporto alle decisioni destinato alle Aziende di Trasporto Pubblico Locale che tenga conto della configurazione della rete di distribuzione di energia elettrica nel contesto territoriale di riferimento. Le attività di ricerca saranno articolate su due anni procedendo per approcci successivi. Nel primo anno di ricerca (PAR 2015) si definiranno le funzionalità del sistema e si svilupperanno i seguenti modelli informatizzati finalizzati al:

- calcolo dei consumi energetici al motore dei bus urbani impiegabili nel servizio di linea (convenzionali ed elettrici), note le caratteristiche del veicolo e quelle del percorso effettuato;
- confronto economico ed energetico-ambientale dell'opzione convenzionale e di quella a trazione elettrica operabile a livello di singola linea; il confronto sarà parametrizzato per tenere conto delle diverse opzioni tecnologiche dei veicoli (convenzionali ed elettrici) e delle diverse modalità di ricarica possibili per i veicoli elettrici;
- interrogazione e visualizzazione su GIS dei dati di input e di output delle procedure di calcolo e, più in generale, di quelli relativi al servizio di Trasporto Pubblico erogato dall'Azienda ed alle caratteristiche della rete di distribuzione dell'energia elettrica nel territorio di competenza dell'Azienda di Trasporto

A tal fine si prevede di dare corso alle seguenti attività nel PAR2015:

1. User Needs Analysis delle Aziende di Trasporto Pubblico Locale e del Gestore della Rete elettrica in relazione alla fattibilità tecnico-economica dell'elettrificazione del servizio;
2. Indagine desk nazionale sulla disponibilità di dati (Open e non) relativi all'offerta ed alla domanda di TPL (linee, fermate, orari, veicoli), alla rete di distribuzione dell'energia elettrica ed alle caratteristiche di tali dati;
3. Sviluppo di procedure automatizzate per l'acquisizione e l'archiviazione strutturata dei dati disponibili;
4. Sviluppo di una procedura informatizzata per il calcolo dei consumi energetici sulle linee di trasporto pubblico, in base alle caratteristiche di massima del veicolo, alla distanza ed alla velocità media fra fermate (livello 2 di approssimazione della stima);

¹⁵ Il Codice dell'Amministrazione Digitale, dal 2006, promuove la disponibilità dei dati delle pubbliche amministrazioni e indica le modalità da seguire per renderli fruibili a tutte le amministrazioni interessate.

5. Sviluppo di un sistema di simulazione per la stima dei consumi energetici e la verifica della fattibilità tecnica dell'elettrificazione dei veicoli, in base alle specifiche di dettaglio sul veicolo e del profilo cinematico della missione assegnata (livello 3 di approssimazione della stima)
6. Sviluppo di una procedura informatizzata per il confronto economico dell'esercizio di una linea di trasporto pubblico per diverse ipotesi di alimentazione dei veicoli e di procedure di ricarica
7. Sviluppo di procedure automatizzate per la visualizzazione su GIS dei dati aziendali e di input/output delle procedure di analisi realizzate.

L'Università degli Studi dell'Aquila parteciperà alle attività in oggetto per tramite del proprio Gruppo di ricerca di Macchine e sistemi energetici, parte del Dipartimento di Ingegneria Industriale, Informatica e di Economia (DIIIE). Il gruppo svilupperà un software di simulazione energetica delle principali tipologie di veicoli convenzionali ed innovativi destinati al trasporto pubblico locale (TPL), su cicli reali di utilizzo.

Tale attività terrà conto, per il confronto delle diverse opzioni tecnologiche, anche delle emissioni e dei consumi da attribuire alla produzione dei differenti vettori energetici in uso (analisi completa Well-To-Wheels). Lo sviluppo del software sarà coordinato dall'ENEA, in modo che esso possa costituire l'ossatura di uno strumento di supporto alle decisioni (DSS) e che possa in futuro anche essere utilizzato da parte delle amministrazioni locali per il collocamento ottimo del proprio parco veicoli o per la ridefinizione del parco stesso. Il SW dovrà inoltre essere progettato, in accordo con le specifiche ENEA, perché esso possa prestarsi all'acquisizione e gestione degli Open Data relativi al servizio ed alle linee di TPL.

Risultati/Deliverable:

- Report: Procedure di supporto alle decisioni nei processi di elettrificazione del servizio di Trasporto Pubblico Locale su gomma
- Report: Sviluppo software simulazione veicoli TPL su cicli reali di utilizzo
- Software : moduli del DSS

Principali collaborazioni: Università dell'Aquila

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.2 Trasporto pubblico elettrico con ricarica rapida intermedia: effetti della ricarica rapida sul sistema di accumulo

La riduzione del sistema di accumulo a bordo alleggerisce il mezzo riducendo i consumi che tuttavia non compensano la minor carica a bordo e pertanto si ha una contestuale riduzione dell'autonomia del veicolo. La possibilità di ricaricare rapidamente il sistema di accumulo veicolare contribuisce a risolvere il problema attraverso una molteplicità di ricariche lungo il tragitto di servizio eseguite in tempi ridotti. Se è vero che la ricarica rapida e quella ultrarapida rispondono all'esigenza pratica e psicologica di avvicinare il più possibile le modalità d'uso del veicolo elettrico a quello convenzionale, è altrettanto vero che ben poco ancora si conosce sull'influenza delle correnti elevate in fase di ricarica sulla durata della batteria. Di conseguenza, i limiti di corrente "in ricarica" posti dai costruttori di batterie commerciali sono, cautelativamente, piuttosto bassi. In effetti, esperienze di laboratorio stanno dimostrando come le correnti massime effettivamente accettabili da batterie Litio-polimeri, anche economiche come le Li-FePO₄ commerciali, durante una "fast charge" possano essere doppie e triple di quelle dichiarate dai costruttori: 3-4C rispetto a valori massimi di 1-2 C, senza apparente nocumento alla vita delle stesse anche dopo l'esecuzione di migliaia di cicli di cariche e scariche parziali (20-30% dello Stato di Carica). La prova avviata nel corso del PAR 2014 non ha ancora portato ad un apprezzabile degrado del modulo, e quindi se ne propone la continuazione, per poterne trarre le informazioni indispensabili alla definizione del costo a fine vita delle batterie in un autobus soggetto a questo tipo di servizio.

Risultati/Deliverable:

- Report (ENEA)

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

a.3 Trasporto pubblico con ricarica wireless dinamica

Nello scenario del trasporto pubblico si propone di aprire uno spazio alla ricarica wireless dinamica. La presenza di corsie preferenziali favorisce la realizzazione di tracciati attrezzati con bobine per la ricarica dinamica e ridurre l'ingombro delle batterie a bordo dei mezzi. I costi di sistema sono superiori alla wireless statica ma la riduzione dell'accumulo e la maggiore flessibilità di impiego possono favorire l'impiego di questa tecnologia in ricarica. E' quindi utile approfondire gli aspetti relativi a questa tecnologia per valutare le efficienze ed i vantaggi/svantaggi ad essa correlati.

Il progetto si estende su tre anni e prevede di eseguire lo studio (nel primo anno), lo sviluppo, ossia la progettazione e la realizzazione, (nel secondo anno) e la sperimentazione (nel terzo anno) di un prototipo di sistema per la carica contactless dinamica degli accumulatori di una city-car elettrica.

Nel corso del primo anno l'attività di ricerca sarà volta ad analizzare le caratteristiche operative, funzionali e progettuali dei sistemi contactless dinamici, con particolare attenzione agli aspetti che li distinguono dai sistemi contactless statici. Infatti, mentre i principi alla base del trasferimento contactless di energia elettrica sono analoghi per le due tipologie di carica, i sistemi dinamici presentano sia novità sia differenze sostanziali nell'affrontare il loro studio, progetto e sviluppo: le novità sono di tipo sistemico in quanto i sistemi dinamici sono formati da più sottosistemi interagenti dislocati su un tratto di strada (tratto elettrificato); le differenze sono legate al fatto che la componentistica deve essere ripensata alla luce delle esigenze poste dalla modalità dinamica di trasferimento dell'energia.

Per quanto riguarda l'aspetto sistemico, si tratta di metter a punto una procedura atta a fornire l'energia assorbita dal veicolo in rapporto alle dimensioni e alla distanza delle bobine a terra, alla variazione dell'accoppiamento tra le bobine a terra e la bobina posta sul veicolo lungo la direzione di marcia e alla lunghezza del percorso al fine di valutare la minore energia richiesta agli accumulatori di bordo per muovere il veicolo.

Per quanto riguarda la componentistica, si tratta di studiare :

- una topologia delle bobine adatta ad ottimizzare l'accoppiamento con il veicolo in moto;
- un sistema di alimentazione con il relativo controllo delle bobine a terra che fornisca energia solo alla bobina accoppiata con il veicolo e non alle altre al fine di ridurre/eliminare le emissioni elettromagnetiche;
- un sistema di condizionamento con il relativo controllo dell'energia trasferita a bordo durante il moto in modo da alimentare gli accumulatori con una corrente non pulsata;
- una unità di acquisizione ed elaborazione dati che, posta a terra, scambi informazioni sia con le apparecchiature a terra che con quella a bordo del veicolo per gestire il sistema contactless dinamico lungo il tratto elettrificato.

Al termine del primo anno sarà disponibile un progetto di massima dell'intero prototipo.

Risultati/Deliverable:

- Report: Studio e progetto per un sistema di ricarica wireless dinamica
- Report: Studio della topologia delle bobine di accoppiamento per sistema wireless dinamico

Principali collaborazioni: Università di Padova

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b. Tecnologie e infrastrutture di ricarica (in particolare veloce) di veicoli elettrici, dimensionamento in funzione della diffusione della mobilità elettrica

La criticità della infrastruttura di ricarica per lo espansione della mobilità elettrica è stata esplicitata dal PNIRE. I punti fondamentali da indagare e sviluppare non sono legati solo alla tecnologia ma anche alla gestione ed all'utilizzo dell'infrastruttura. Per questo è importante ottenere un ottimo dimensionamento della struttura di ricarica sia in termini di potenza impegnabile per l'erogazione del servizio nell'arco della giornata che nella distribuzione territoriale.

b.1 Dimensionamento ottimo territoriale delle infrastrutture di ricarica

Facendo seguito al lavoro intrapreso per il collocamento razionale delle stazioni di ricarica sul territorio in

funzione delle soste si ritiene di procedere nel dimensionamento della rete infrastrutturale attraverso la valutazione delle potenze installabili ed alla tipologia dei punti di ricarica. La conoscenza del consumo veicolare nel tragitto che porta alla sosta è in grado di determinare il consumo energetico e quindi di indicare quanta energia è necessaria al suo ripristino. La tipizzazione delle soste e dei livelli di carica è passibile di individuare quale tipologia di ricarica (lenta o veloce) sarà necessaria per soddisfare le esigenze di ricarica. In questa prospettiva sarà determinabile la potenza oraria impegnata per ricaricare i veicoli e suddividerla in potenza "veloce" e potenza "lenta". Pertanto nella presente annualità si intende eseguire :

- Dimensionamento in potenza delle stazioni attraverso l'utilizzo della metodologia di ottimizzazione del loro numero ;
- Ripartizione dei punti di ricarica delle stazioni per tipologia (lenta e veloce);
- Inclusione nelle aree urbane dei punti di interesse cittadini (POI, points of interest), al fine di cercare un posizionamento delle stazioni di ricarica elettrica più mirato ai bisogni dell'utenza
- Analisi della sosta dell'utenza urbana privata al fine di mettere in evidenza i possibili profili di ricarica (lenta per chi pratica normalmente soste lunghe, veloce per le soste più corte)
- Dimensionamento in potenza delle stazioni attraverso l'utilizzo della metodologia di ottimizzazione del loro numero e contemporaneo rispetto delle esigenze di ricarica elettrica dell'utenza
- Creazione per ogni stazione del profilo di load giornaliero/settimanale
- Determinazione per le stazioni di ricarica del numero di punti di ricarica nelle stazioni per tipologia (lenta e veloce) e del loro utilizzo, in base all'utenza che insiste su di essa
- Comparazione in base ai modelli di auto elettriche sviluppati della congruenza tra l'utilizzo di valori istantanei di consumo e valori medi di consumo
- Valutazione dell'influenza della diffusione dei veicoli elettrici sull'analisi eseguita (parametrizzazione dell'analisi in base agli scenari di diffusione).

Risultati/Deliverable:

- Report: Dimensionamento ottimo territoriale delle infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.2 Diffusione della ricarica rapida in ambito urbano

E' certamente corretto agevolare la diffusione dei punti di ricarica per ovviare al problema della ridotta autonomia dei VE. Un contesto in continua evoluzione richiede di attuare le scelte giuste e saper distribuire le risorse nel modo corretto. Poiché la ricarica dei VE richiede tempi non trascurabili ne segue che questa avviene prevalentemente tra le mura domestiche utilizzando ricariche lente. La necessità di ricaricare fuori casa nasce quando la ridotta autonomia non consente di concludere la giornata di viaggio con la carica iniziale. In questo caso occorre una ulteriore ricarica che può essere fatta durante la sosta o durante il viaggio. La prima è preferibile se c'è una colonnina nella vicinanza delle abituali soste. In questo caso, almeno durante i giorni lavorativi, le soste abituali più significative sono senz'altro quelle sul posto di lavoro. Diversamente, quando il veicolo non effettua soste intermedie abbastanza lunghe o, pur effettuandole, non trova una colonnina di ricarica nelle vicinanze, occorre ricaricare durante il viaggio. In questo secondo caso si accetta di allungare il tempo di percorrenza sia per consentire la ricarica, sia per raggiungere la stazione di ricarica.

In questo contesto è utile conoscere quale è il peso delle ricariche fatte nella propria abitazione rispetto a quelle fatte fuori fornendo una stima della domanda di ricarica privata e pubblica, sia lenta (casa, lavoro) che veloce (strada, centri commerciali, parcheggi di scambio), dei veicoli elettrici privati a supporto della fase di transizione verso la mobilità elettrica.

La ricarica rapida ed ultra-rapida sono la proposta per il contenimento dei tempi di ricarica e, quindi, per ridurre il divario tra veicolo convenzionale ed elettrico. L'utilizzo di impianti di ricarica rapida, specialmente in strutture a postazioni multiple, potrebbe richiedere potenze di allaccio sensibili in grado di costituire un carico elevato per la rete di distribuzione. Ad esempio potenze di 150 kW per punto potrebbero richiedere per quattro postazioni sino a 600 kW. In queste condizioni si dovrà tener presente la necessità di allaccio sulla rete di media tensione. Qualificare la mobilità elettrica in base alle esigenze di

ricarica ci consente di ripartire le esigenze di ricarica e dimensionare al meglio la taglia delle stazioni. Pertanto basandosi sui dati di rilevamento automatico dei veicoli dotati di apparati GPS si provvederà a:

- Individuare quei profili di viaggio caratterizzanti la lunga percorrenza;
- Individuare i veicoli a basso livello di Stato di carica che possono richiedere la ricarica rapida (tempi di sosta <1h);
- Valutare le esigenze territoriali per la ricarica rapida in base alle traiettorie ed ai punti di sosta;
- Determinare i profili di potenza in ricarica in alcune delle stazioni individuate.

La risoluzione dei profili di potenze nelle stazioni di ricarica rapida sarà utilizzata come dato di input nella determinazione degli impatti sulla rete che RSE svolgerà nel prossimo PAR.

Risultati/Deliverable:

- Report: Diffusione territoriale delle infrastrutture di ricarica rapida per veicoli elettrici

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

b.3 Infrastrutture di ricarica high power/fast charging per veicoli elettrici

Attualmente, rispetto alla capacità tipica di un veicolo elettrico pari a 25 kWh, la ricarica rapida è caratterizzata da una potenza di 43-50 kW con tempi di ricarica minori dei 30 minuti. Negli ultimi anni sono state proposte nuove tecnologie di batterie che possono essere ricaricate a *C-rate* sempre maggiori riducendo i tempi di ricarica ai minuti e richiedendo, ovviamente, alte potenze di ricarica. Per l'implementazione di ricariche *ultra-fast* è necessario adottare opportuni sistemi di conversione statica dell'energia e controlli che consentano di ottenere allo stesso tempo alti valori di efficienza e di densità di potenza, nonché una elevata sicurezza ed affidabilità di esercizio.

Nel presente progetto di ricerca si propone di sviluppare opportuni sistemi di conversione e sistemi di controllo dedicati a ricariche *ultra-fast* con potenze superiori ai 50 kW, fondamentali anche per lo sviluppo della mobilità elettrica nel settore del TPL. Considerando le attuali limitazioni in potenza delle rete BT, saranno analizzate soluzioni che prevedono l'allaccio in media tensione del sistema di conversione statica dell'energia elettrica. Saranno, quindi, prese in considerazione soprattutto strutture di conversione multilivello *fault-tolerant*, che consentono di rispondere ai bisogni di un allaccio in media tensione della stazione e di un'elevata sicurezza e continuità del servizio. In particolare, la struttura multi-stadio che sarà analizzata è costituita da tre stadi di conversione:

- un AFE (Active Front End) basato su un convertitore multilivello con cascaded H-bridges (CHB);
- le unità di conversione dc/dc per i sistemi di accumulo ibridi;
- le unità di conversione dc/dc di uscita isolate con trasformatore in media frequenza

Questa soluzione presenta diversi vantaggi, che saranno analizzati e validati nel corso delle attività di ricerca. In particolare, fissati gli standard qualitativi nel punto di allaccio, la struttura multi-livello consente di incrementare l'efficienza di conversione rispetto ad uno stadio di conversione a due livelli. Inoltre, la struttura CHB consente di integrare i sistemi di accumulo per ogni sotto-modulo del sistema di conversione, conseguendo un alto grado di modularità. Le unità di *storage*, impiegate come buffer di energia/potenza durante l'alimentazione dei processi di ricarica, disaccoppiano la stazione di ricarica dalla rete di alimentazione. Sarà analizzata anche la possibilità di utilizzare sistemi di accumulo dell'energia a supercondensatori. Tali dispositivi, possono essere impiegati per ridurre gli eventuali "*voltage SAG*" dovuti ai picchi di potenza che si verificano all'avvio di processi di ricarica rapidi. Inoltre, sarà valutata la possibilità di utilizzarli per alimentare direttamente le ricariche in caso di biberonaggio energetico, tipico del trasporto pubblico.

Nella prima fase saranno analizzate le tecnologie e i profili di carica dei pacchi batteria impiegati nelle ricariche *ultra-fast*. Sulla base di tali profili e della potenza del punto di allaccio della stazione sarà effettuata un'analisi in potenza ed energia necessaria per definire le specifiche tecniche del sistema di accumulo ibrido da integrare all'interno dei sotto-moduli del gruppo di conversione. In merito al gruppo di conversione statica sarà scelta la topologia del sistema di conversione e le grandezze elettriche caratteristiche tali da soddisfare i requisiti tecnici in applicazioni di ricarica *ultra-fast*.

Successivamente sarà progettato il gruppo di conversione. In funzione della potenza nominale e dalla tensione massima al punto di allaccio e sarà determinato il numero di H-bridge da collegare in cascata, tenendo in conto anche un opportuno fattore di ridondanza per l'incremento dell'affidabilità dell'intero

sistema. A valle del dimensionamento di tutti i componenti del sistema di conversione, sarà sviluppato in Matlab/Simulink® un modello numerico del convertitore che sarà utilizzato per lo sviluppo ed il test di tecniche di controllo e modulazioni orientate a migliorare le prestazioni del sistema di conversione in termini di efficienza, affidabilità e di *power quality*. Oltre a tecniche di controllo multi-livello per L'AFE, saranno sviluppate tecniche di controllo *interleaving* per la unità di dc/dc di uscita che consentiranno di ridurre le frequenze di lavoro dei convertitori con conseguente incremento dell'efficienza di conversione. Saranno sviluppati degli accurati modelli per i dispositivi di potenza che saranno utilizzati per quantificare le perdite dei diversi stadi di conversione e ricavare la curva di efficienza della soluzione proposta. In questa terza fase si procederà alla realizzazione di un prototipo in scala del convertitore progettato. Infine si svilupperà un opportuno sistema di controllo basato su dispositivi DSP e FPGA, che consentirà di implementare tutte le funzioni di controllo individuate nella fase precedente. Saranno svolti diversi test al fine di validare sperimentalmente la soluzione proposta.

Risultati/Deliverable:

- Report: Infrastrutture di ricarica ultra-rapida per veicoli elettrici
- Prototipo in scala

Principali collaborazioni: Università Cassino

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

c. Valutazione e valorizzazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica

La diffusione della mobilità elettrica è importante per gli aspetti ambientali che la caratterizzano. Molto si è speso per indicare la transizione verso l'elettromobilità come un valido aiuto alla riduzione delle emissioni di CO₂.

Stima dei benefici ambientali della mobilità elettrica nell'area metropolitana di Roma

Si propone di realizzare uno studio per la valutazione dei benefici ambientali ottenibili dalla diffusione della mobilità elettrica. Specificità dello studio è l'utilizzo di dati reali di viaggio, georeferenziati, relativi ad un campione significativo di veicoli e di modelli matematici per la stima dei consumi ed emissioni su base puntuale. L'analisi contemplerà, inoltre, un confronto tra benefici e costi del processo di elettrificazione.

In particolare si propone di eseguire in una area ristretta ma significativa del territorio nazionale :

- una stima degli attuali consumi, emissioni di CO₂ e di inquinanti atmosferici del traffico veicolare nella area metropolitana di Roma
- la definizione di uno scenario di penetrazione della mobilità elettrica a Roma
- la valutazione della riduzione degli impatti energetici ed ambientali
- una analisi dei costi- benefici dell'ipotesi di elettrificazione

Risultati/Deliverable:

- Report: Valutazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica nell'area di Roma

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

Le attività di comunicazione prevedono le azioni convenzionali di diffusione attraverso la pubblicazione di articoli su riviste o la presentazione di memorie in congressi nazionali e internazionali. Sono anche contemplate le attività di comunicazione relative ad azioni di carattere istituzionale presso comitati internazionali o nazionali relativamente all'elettromobilità. In questo quadro troveranno spazio sia la partecipazione ad organismi internazionali (IEA) che nazionali (CEI). Il primo prevede la collaborazione in task di riferimento per la mobilità elettrica mentre il secondo attiene alle azioni di regolamentazione e normazione per la mobilità elettrica infrastrutturale. Per la diffusione di maggior respiro si potranno mettere in campo attività specifiche di diffusione dei risultati attraverso workshop informativi rivolti agli addetti di settore ed alle amministrazioni interessate.

In termini istituzionali, inoltre, l'ENEA partecipa alle attività del CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano che è responsabile in ambito nazionale della normazione tecnica in campo elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni, con la partecipazione diretta - su mandato dello Stato Italiano - nelle corrispondenti organizzazioni di normazione europea (CENELEC – Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) e internazionale (IEC – International Electrotechnical Commission). Gli organi tecnici in cui vengono discussi, elaborati e approvate le norme tecniche sono i Comitati Tecnici. Il CT 69 - Macchine elettriche dei veicoli stradali elettrici è il comitato che si occupa di preparare norme riguardanti i veicoli elettrici stradali a trazione totalmente o in parte elettrica e con accumulo dell'energia elettrica a bordo. Tra i vari argomenti il CT69 affronta le tematiche della ricarica conduttiva, normalizzazione prese-spine, ricarica induttiva, comunicazione veicolo-stazione di ricarica, accumulo e supercapacitori, sicurezza e protezione ambientale. ENEA partecipa al comitato CEI CT69 in veste qualificata ricoprendo l'incarico di segretario del comitato.

Risultati/Deliverable:

- Report: Attività di comunicazione e diffusione

Durata: ottobre 2015 - settembre 2016

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2015			2016								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Scenari di elettrificazione della mobilità pubblica												
	<i>a.1 Strumento di supporto alle aziende di Trasporto Pubblico Locale ed alla Amministrazione Territoriale per l' elettrificazione delle linee di trasporto</i>												
	<i>a.2 Trasporto pubblico elettrico con ricarica rapida intermedia: effetti della ricarica rapida sul sistema di accumulo</i>												
	<i>a.3 Trasporto pubblico con ricarica wireless dinamica</i>												
b	Tecnologie e infrastrutture di ricarica (in particolare veloce) di veicoli elettrici, dimensionamento in funzione della diffusione della mobilità elettrica												
	<i>b.1 Dimensionamento ottimo territoriale delle infrastrutture di ricarica</i>												
	<i>b.2. Diffusione della ricarica rapida in ambito urbano</i>												
	<i>b3. Infrastrutture di ricarica high power/fast charging per veicoli elettrici</i>												
c	Valutazione e valorizzazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica												
	<i>Stima dei benefici ambientali della mobilità elettrica nell'area metropolitana di Roma.</i>												
d	Comunicazione e diffusione dei risultati												

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
a	Scenari di elettrificazione della mobilità pubblica									
	<i>a.1 Strumento di supporto alle aziende di Trasporto Pubblico Locale ed alla Amministrazione Territoriale per l' elettrificazione delle linee di trasporto</i>	2250	88	53	0	0	0	0	50	191
	<i>a.2 Trasporto pubblico elettrico con ricarica rapida intermedia: effetti della ricarica rapida sul sistema di accumulo</i>	1300	51	31	0	0	0	0	0	82
	<i>a.3 Trasporto pubblico con ricarica wireless dinamica</i>	480	19	11	0	11	0	0	45	86
	<i>Subtotale Ob. a</i>	4030	158	95	0	11	0	0	95	359
b	Tecnologie e infrastrutture di ricarica (in particolare veloce) di veicoli elettrici, dimensionamento in funzione della diffusione della mobilità elettrica									
	<i>b.1 Dimensionamento ottimo territoriale delle infrastrutture di ricarica</i>	1300	52	31	0	13	0	0	0	96
	<i>b.2. Diffusione della ricarica rapida in ambito urbano</i>	1200	47	28	0	0	0	0	0	75
	<i>b.3. Infrastrutture di ricarica high power/fast charging per veicoli elettrici</i>	270	11	6	0	0	0	0	45	62
	<i>Subtotale Ob. b</i>	2770	110	65	0	13	0	0	45	233
c	Valutazione e valorizzazione dei benefici ambientali della mobilità elettrica									
	<i>Stima dei benefici ambientali della mobilità elettrica nell'area metropolitana di Roma</i>	900	36	21	0	0	0	0	0	57
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	500	20	12	0	14	0	5	0	51
	TOTALE	8200	324	193	0	38	0	5	140	700

* in base al documento "Modalità di rendicontazione e criteri per la determinazione delle spese ammissibili", deliberazione AEEG n. 19/2013/RdS

(A) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente

(B) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili, ad esclusivo uso del progetto e/o in quota di ammortamento, include inoltre le quote di ammortamento delle attrezzature acquisite nelle precedenti annualità

(C) include materiali e forniture, spese per informazione, pubblicità e diffusione

(D) include le attività con contenuto di ricerca commissionate a terzi, i.e, consulenze, acquisizioni di competenze tecniche, brevetti

(E) include le spese di trasporto, vitto e alloggio del personale in missione

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

Per il calcolo delle spese del personale è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio del personale impiegato nei diversi centri pari a 39,5 €/h, Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto.

1) Elenco delle principali attrezzature previste e stima dei relativi costi

Non si prevedono spese per l'acquisto di attrezzature.

2) Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.3	Aggiornamento sw di simulazione per analisi EM	11000
b.1	Licenza sw Matlab-simulink	13000
d	Iscrizione IEA	9500
d	Iscrizione convegni	5000

3) Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

Non si prevedono spese di consulenza, acquisizione competenze e brevetti

4) Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Ob,	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	<p>Università di L'Aquila - Dipartimento di Ing. Industriale, Informatica e di Economia L'Università dell'Aquila attraverso il Gruppo di ricerca di Macchine a fluido e sistemi energetici, parte del Dipartimento di Ing. Industriale, Informatica e di Economia (DIIE) collaborerà tramite lo sviluppo di un software di simulazione energetica delle principali tipologie di veicoli convenzionali ed innovativi destinati al trasporto pubblico locale (TPL), su cicli reali di utilizzo..</p> <p>Il DIIE possiede le competenze modellistiche per lo sviluppo del sw e lavora sulle tematiche dei veicoli convenzionali ed innovativi. Il gruppo di ricerca di Macchine a fluido e Sistemi energetici dell'Università dell'Aquila è nato negli anni settanta e ad oggi il gruppo si compone di 5 docenti ed una quindicina di altri componenti, divisi tra personale tecnico, assegnisti di ricerca e dottorandi.</p> <p>Il gruppo possiede ampie dotazioni sperimentali, all'interno del Laboratorio Motori a Combustione Interna "Carmelo Caputo". Nel corso degli anni ha partecipato a numerosissimi progetti internazionali e nazionali di ricerca e vanta collaborazioni industriali di lunga data e di assoluto rilievo con molti dei principali partner italiani ed europei del settore automotive, in ambito veicolare e componentistico: Centro Ricerche FIAT, FCA, IVECO, PSA, VW, VM, DAYCO Systeme Moteur, Mattei, OMP, Lamborghini ed altri. All'interno del gruppo, alla fine degli anni '90 è stato realizzato uno dei primi prototipi di autobus ibrido metano elettrico circolante in Europa. Negli ultimi anni, le attività del gruppo sono principalmente orientate, sia dal punto di vista sperimentale, che dal punto di vista modellistico, allo studio di mezzi di propulsione innovativa (ibrida ed elettrica), nonché al miglioramento prestazione di mezzi convenzionali (tecnologie di abbattimento emissioni NOx, recupero energetico on-board con cicli ORC ed altro).</p>	50
a.3	<p>Università di Padova - Dipartimento di Ingegneria Industriale La scelta dell'Università di Padova discende dalle precedenti collaborazioni che hanno dimostrato le competenze del Dipartimento di Ingegneria Industriale nel settore delle applicazioni wireless automotive nei PAR precedenti. La pregressa esperienza ed i risultati conseguiti hanno indicato di capitalizzare quanto già espresso per affrontare un tema ancora poco studiato in Italia. Il DIII affronterà gli aspetti di ricerca relativi alla ricarica wireless dinamica per la valutazione delle caratteristiche operative, funzionali dei sistemi contactless dinamici. Si occuperà di studiare le problematiche della connessione dinamica wireless e di produrre un progetto di massima per la prototipazione di un sistema per una city car. Il gruppo "Power electronics for Industry and Vehicles" del DIII ha maturato esperienze ed acquisito competenze nel settore della conversione elettrica ed elettrochimica dell'energia, dei sistemi di ricarica a bordo ed a terra per veicoli elettrici e plug-in, nel settore dei convertitori statici per il condizionamento dell'energia elettrica e nei sistemi di controllo numerico e protocolli per sistemi di automazione ed applicazioni veicolistiche.</p>	45
b.3	<p>Università di Cassino - Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell' Informazione Il Laboratorio di Automazione Industriale (LAI) del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell' Informazione opera nei Settori scientifico-disciplinare afferente a Convertitori, Macchine ed Azionamenti Elettrici e Automatica. In particolare il LAI è impegnato in attività di ricerca in settori cruciali per lo sviluppo tecnologico come l'automazione industriale, le energie rinnovabili, i veicoli elettrici, l'elettronica di potenza, la robotica industriale e la robotica di servizio. Nell'ambito del settore degli azionamenti e convertitori le sono incentrate prevalentemente sui convertitori statici di energia elettrica ad alta efficienza ed alte prestazioni, sui sistemi di accumulo, sulle smart-grid, su ICT applicata alla distribuzione e gestione di reti e di impianti industriali e sulla propulsione elettrica. Nell'ambito del settore ING-INF/04, le attività di ricerca sono principalmente incentrate sulla robotica industriale, la robotica di servizio e dei sistemi elettrici. Nel precedente triennio ha collaborato nella Ricerca di Sistema per lo sviluppo di sistemi di ricarica integrati con accumulo stazionario e fonti rinnovabili.</p> <p>Nel presente progetto di ricerca si propone di sviluppare opportuni sistemi di conversione e sistemi di controllo dedicati a ricariche <i>ultra-fast</i> con potenze superiori ai 50 kW, fondamentali anche per lo sviluppo della mobilità elettrica nel settore del trasporto pubblico. In questa attività a causa del valore di potenza impegnato per le ricariche <i>ultra-fast</i>, tali da richiedere un probabile allaccio in media tensione della stazione, della necessità di un'elevata sicurezza e continuità del servizio saranno analizzate soprattutto strutture di conversione multilivello con integrazione di sistemi a supercondensatore/accumulo. Il testing della struttura avverrà attraverso un prototipo in scala da laboratorio per la validazione delle caratteristiche operative.</p>	45
TOTALE		140

5) Elenco dei progetti europei, in corso o conclusi negli ultimi tre anni su tematiche affini o anche parzialmente sovrapponibili a quelle di interesse del presente PAR

Nessuno progetto Europeo in corso o concluso negli ultimi tre anni su tematiche affini.

6) Risultati ottenuti nell'annualità 2014 e quelli attesi nell'annualità 2015

Risultati PAR 2014	Risultati attesi PAR 2015
Automazione sistema ricarica wireless low power statico	Progettazione sistema wireless dinamico low power
Misure, modellizzazione e calcolo emissioni E/M sistema ricarica wireless 3.7 kW	
Gestione ottimizzata sistemi ricarica multisorgente	
Prova vita sistema accumulo per ricarica veloce	Completamento prove vita e per valutazione costo vita
Metodologia numerosità e dislocazione aree di ricarica in ambito urbano	Dimensionamento stazioni di ricarica sul territorio in potenza e identificazione ricarica lenta/veloce
Gestione intelligente ricarica in V2G	
	Procedure di supporto alle decisioni nei processi di elettrificazione del servizio di Trasporto Pubblico Locale su gomma
	Stazione ricarica ultra-fast per applicazioni TPL
	Valutazione benefici ambientali sul territorio per la conversione elettrica