

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

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2014

INDICE

PREMESSA	3
AREA GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE	6
PROGETTO A.4 SISTEMI AVANZATI DI ACCUMULO DELL'ENERGIA	6
AREA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE	23
PROGETTO B.1.1 SVILUPPO DI SISTEMI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSE E L'UPGRADING DEI BIOCOMBUSTIBILI	23
PROGETTO B.1.3 ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE	44
PROGETTO B.1.4 STUDI E VALUTAZIONI SULLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DALLE CORRENTI MARINE E DAL MOTO ONDOSI	70
PROGETTO B.2 CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO ₂ PRODOTTA DA COMBUSTIBILI FOSSILI	84
PROGETTO B.3.1 SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE E COLLABORAZIONE AI PROGRAMMI INTERNAZIONALI PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE	113
PROGETTO B.3.2 ATTIVITÀ DI FISICA DELLA FUSIONE COMPLEMENTARI A ITER	151
AREA RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA	165
PROGETTO C.1 RISPARMIO DI ENERGIA ELETTRICA NEI SETTORI: CIVILE, INDUSTRIA E SERVIZI	165
PROGETTO C.2 SVILUPPO DI MODELLI PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA SUL PATRIMONIO IMMOBILIARE PUBBLICO	197
PROGETTO C.3 UTILIZZO DEL CALORE SOLARE E AMBIENTALE PER LA CLIMATIZZAZIONE	223
PROGETTO C.4 PRODOTTI E PROCESSI PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NELL'ELETTROMOBILITÀ	234

PREMESSA

Le attività di ricerca hanno come riferimento principale il Piano Operativo Annuale (POA) per l'anno 2014 per la Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale del Ministero dello Sviluppo Economico, che prevede all'art. 2 un finanziamento di 26,3 milioni di euro per le attività affidate a ENEA, così suddiviso:

- 9 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 biomasse, la cattura e sequestro della CO₂ e studi e sperimentazioni per l'efficienza energetica negli edifici;
- 14.3 milioni di euro per lo svolgimento di attività inerenti ai sistemi di accumulo dell'energia elettrica, le biomasse, le correnti marine, il fotovoltaico, il solare termodinamico, la cattura e sequestro di CO₂, la razionalizzazione e il risparmio nell'uso dell'energia elettrica, nonché lo sviluppo delle conoscenze per l'utilizzo della fonte nucleare da fissione e da fusione, a completamento di progetti di ricerca avviati. Per tali attività è prevista la partecipazione da parte dei principali Istituti universitari nazionali, per una quota non inferiore al 20% del finanziamento, nonché l'intervento delle società partecipate da ENEA.

Il presente **Piano Annuale di Realizzazione 2014**, articolato in 11 progetti, prevede attività per 26,3 milioni di euro.

I Progetti sono suddivisi in tre Aree prioritarie di intervento, con durata delle attività da ottobre 2014 a settembre 2015:

Governo, Gestione e Sviluppo del Sistema elettrico Nazionale

- Sistemi avanzati di accumulo dell'energia

Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

- Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili
- Energia elettrica da fonte solare: fotovoltaico avanzato e solare termodinamico
- Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso
- Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili
- Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione
- Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari a ITER

Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

- Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi
- Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico
- Utilizzo del calore solare ed ambientale per la climatizzazione
- Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità.

I preventivi economici attività dei dieci 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 e il Gas 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 MSE- ENEA
Costo del PAR 2014 per principali voci (k€)**

AREA	PROGETTO		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)	Sotacarbo	
Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale	A.4	Sistemi avanzati di accumulo dell'energia	7020	272	163	20	18	0	7	120	0	600
<i>Subtotale Area A</i>			7020	272	163	20	18	0	7	120	0	600
Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente	B.1.1	Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili	17655	659	395	46	93	0	27	280	400	1900
		<i>Subtotale Parte A (ENEA)</i>	16365	611	366	46	85	0	12	280	0	1400
		<i>Subtotale Parte B (Polo Tecnologico del Sulcis)</i>	1290	48	29	0	8	0	15	0	400	500
	B.1.3	Energia elettrica da fonte solare	16330	598	357	130	97	0	23	295	0	1500
	B.1.4	Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso	3475	131	79	101	79	0	10	100	0	500
	B.2	Cattura e sequestro della CO ₂ prodotta da combustibili fossili	9890	345	207	20	163	132	29	105	1500	2500
		<i>Subtotale Parte A (ENEA)</i>	4450	155	93	17	80	37	13	105	0	500
		<i>Subtotale Parte B (Polo Tecnologico del Sulcis)</i>	5440	190	114	2,5	82,5	95	16	0	1500	2000
	B.3.1	Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione	18920	687	410	420	233	190	60	500	0	2500
	B.3.2	Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari a ITER	41500	1535	922	6219	41	223	60	0	0	9000
<i>Subtotale Area B</i>			107770	3955	2370	6936	706	545	209	1280	1900	17900

**Accordo di Programma MSE- ENEA
Costo del PAR 2014 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
Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica	C.1	Risparmio di energia elettrica nei settori civile, industria e servizi	40243	1410	838	90	199	0	68	695	0	3300
	C.2	Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico <i>Subtotale Parte A (ENEA)</i>	40450	1525	910	15	15	140	30	565	300	3500
			37350	1408	841	15	10	140	21	565	0	3000
			3100	117	69	0	5	0	9	0	300	500
	C.3	Utilizzo del calore solare e ambientale nella climatizzazione	5430	196	118	119	40	0	7	120	0	600
	C.4	Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità	4150	163	97	4	42	0	14	80	0	400
<i>Subtotale Area C</i>			90273	3294	1963	228	296	140	119	1460	300	7800
TOTALE			205063	7521	4496	7184	1020	685	335	2860	2200	26300

* 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, e le spese generali supplementari
- (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

Descrizione del prodotto dell'attività

Le attività previste riguardano i sistemi di accumulo 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 di sistemi di accumulo elettrochimico (sistemi a base di litio e sistemi redox a flusso ed ad alta temperatura), con considerazioni sui principali aspetti di sicurezza in tutte le fasi di produzione ed uso fino alle principali problematiche ambientali legate allo smaltimento ed al recupero dei materiali contenuti in tali sistemi 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) che rappresentano circa il 99% dell'intera potenza installata a livello mondiale. 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. Attualmente gli accumulatori elettrochimici presentano prestazioni (in termini di capacità di accumulo e di caratteristiche di ricarica) limitate e decrescenti con il numero di cicli di carica/scarica ed a costi non ancora allineati con le necessità del mercato. 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 e 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'UE (Unione Europea) e, maggiormente, al di fuori dell'UE (Canada, Cina, Corea del Sud, Giappone, Stati Uniti), hanno in corso programmi pubblici di ricerca e sviluppo sui sistemi di accumulo per le reti elettriche, che superano le decine di milioni di euro l'anno. Le attività in corso riguardano l'ottimizzazione di sistemi convenzionali (pompaggio d'acqua, volani, accumulo termico ed accumulo di aria compressa) e la ricerca di sistemi alternativi (accumulo elettrochimico con batterie e supercondensatori e, in piccola parte, sull'accumulo in magneti superconduttori). Il maggiore impegno è comunque rivolto allo sviluppo di sistemi di accumulo elettrochimico per applicazioni di taglia inferiore ai 50 MW fino ad arrivare a qualche kW per rendere più sicura e affidabile, e più efficiente e competitiva, l'introduzione delle fonti rinnovabili.

Obiettivo finale dell'attività

Le attività di ricerca e sviluppo unite ai vari studi di sistema e di mercato ipotizzano una crescente quota di applicazioni di taglie medio-piccole, che richiedono dispositivi con prestazioni e caratteristiche funzionali vicine a quelle possedute dai sistemi di accumulo elettrochimico. Le prospettive di mercato per i nuovi sistemi di accumulo elettrochimico sono estremamente promettenti. Per le sole applicazioni in impianti solari, il mercato delle batterie è visto in crescita quasi esponenziale arrivando nel 2020 a circa 4,5 miliardi di dollari dagli attuali 200 milioni, su un totale di mercato delle batterie ricaricabili di circa 78 miliardi di

dollari. Inoltre, altre stime di mercato (Boston Consulting Group) prevedono che l'insieme di tali sistemi al 2030 possa raggiungere cumulativamente un totale, riferito alle sole reti elettriche, di 420 GW (oggi sono intorno a 130 GW) con un valore economico complessivo di 280 miliardi di euro: circa la metà di questo mercato è previsto che sarà coperto da tecnologie di accumulo elettrochimico.

L'obiettivo finale pertanto è la ricerca, la realizzazione e la verifica sperimentale, di sistemi di accumulo elettrico con prevalenza per quelli di tipo elettrochimico basati sul litio. Nel corso del triennio 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). Nel primo anno è stata svolta una dettagliata analisi delle effettive potenzialità di utilizzo dell'idrogeno quale sistema di accumulo di energia rinnovabile nelle reti elettriche che ha evidenziato limitate prospettive nel breve e medio termine. Conseguentemente è stato deciso di concentrarsi su un numero limitato di soluzioni tecnologiche, come previsto nel Piano Triennale della RdS, di più prossima applicazione, come i sistemi redox a flusso; analoga decisione è stata presa per i sistemi SMES, sulla base delle indicazioni ricevute dagli esperti, anche in considerazione della graduale riduzione del finanziamento previsto sul tema dell'accumulo.

Nel secondo anno di attività sui sistemi al litio sono stati fatti significativi passi avanti nella selezione di materiali anodici e catodici con alcune linee esplorative (come alcune leghe di fosfati per il catodo e l'ossido di silicio e l'ossido ridotto di grafene per l'anodo), con l'individuazione delle soluzioni da portare a completamento nel terzo anno; per quanto riguarda le batterie redox a flusso (Vanadio/Vanadio), le difficoltà incontrate particolarmente nell'individuazione e realizzazione di celle da laboratorio con prestazioni adeguate alla valutazione dei problemi di funzionamento e durata, l'esplorazione molto preliminare di sistemi alternativi redox a base di litio, insieme al coordinamento intrapreso con il CNR, che sta sviluppando stack redox molto più avanzate della stessa tipologia studiata all'ENEA, hanno suggerito di posticipare ulteriori studi a valle ed ad eventuale integrazione dei risultati che saranno ottenuti dal CNR; 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), è stata avviata l'attività sperimentale su celle esauste con la definizione di cicli rappresentativi (alta energia ed alta potenza) per la verifica delle opportunità di "second life" con i possibili impatti sulla stima del degrado e dell'invecchiamento, e l'esame dei problemi di sicurezza nell'uso di sistemi al litio ed ad alta temperatura ha evidenziato diverse lacune che richiedono ulteriori studi per proporre interventi da adottare in condizioni di emergenza; infine gli studi e le attività sperimentali svolti sul riciclo di celle e sistemi al litio hanno percorso due strade inizialmente alternative, anche giustificate dalle diverse chimiche studiate, ma che hanno in comune l'obiettivo di sviluppare processi industriali a basso costo ed ecocompatibili.

Nel terzo anno del piano triennale, le attività saranno concentrate:

- per quanto riguarda i sistemi di accumulo elettrochimico, solo sui sistemi al litio con verifiche sperimentali dei principali materiali catodici ed anodici, studiati ed ottimizzati nei primi due anni, che verranno prodotti in quantità significativa (fino a qualche decina di grammi), saranno poi sottoposti preliminarmente a prove di caratterizzazione nelle varie fasi di produzione fino a prove in celle da laboratorio di piccola taglia (essenzialmente celle di tipo a bottone), ed infine i materiali migliori verranno utilizzati per realizzare sistemi multicella (stack) di taglia ulteriormente maggiorata (fino all'Ah) che saranno poi sottoposti a completa caratterizzazione. Le batterie redox a flusso Vanadio/Vanadio non saranno oggetto di ulteriori studi in questa annualità perché non si ritiene che si possano ottenere risultati conclusivi, sia sulla base di quanto ottenuto negli anni precedenti che delle attività svolte dal CNR su stack di dimensioni più significative, i cui risultati serviranno da base per eventuali ulteriori sviluppi nel prossimo triennio, sia per quanto riguarda i materiali elettrochimici (membrane di varia tipologia) e la struttura della cella/stack.
- per le attività di supporto all'uso dei sistemi di accumulo, si completeranno alcuni studi volti a completare l'analisi dei vantaggi nell'uso delle batterie al litio in applicazioni di estremo interesse applicativo (come la tranvia leggera di Bergamo); sui possibili modi per contenerne i costi operativi (come con le prove di "second life" su celle/moduli al litio parzialmente usati) con lo studio di prove di vita accelerata per valutare le condizioni di degrado ed invecchiamento di batterie al litio; e

sull'esecuzione di prove estreme su sistemi/celle al litio per la messa a punto e la verifica di condizioni di emergenza da adottare durante il loro uso.

- e, infine, per la parte relativa sul completamento degli studi relativi al riciclo delle batterie al litio di chimica diversa (con litio ferro fosfato al catodo o con cobaltite di litio) si prevede di arrivare fino alla progettazione preliminare di processi ecocompatibili ed economici per porre le basi dello sviluppo di linea di riciclo pilota nel triennio successivo.

L'obiettivo generale sarà perseguito sempre favorendo un approccio sistemico che, partendo dalla ricerca scientifica e tecnologica sui sistemi più promettenti, possa poi arrivare fino alla sperimentazione di taglie significative di sistemi tecnologicamente ed industrialmente più promettenti per le reali necessità della rete elettrica italiana. Inoltre l'analisi e la messa a punto di processi relativi alla sicurezza e all'impatto ambientale delle nuove tecnologie studiate mirano a rendere sempre più sicuro e conveniente il loro impiego nella rete elettrica italiana e possono costituire un elemento distintivo dei prodotti da utilizzare e sviluppare da parte dell'industria nazionale.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Le attività sono state discusse e approfondite dal Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE: "Ricerche su reti attive, generazione distribuita e sistemi di accumulo di energia elettrica", con una recente revisione, fatta da RSE ed ENEA, del Piano di Coordinamento del Gruppo di Lavoro redatto nel 2011. Inoltre il CNR ed ENEA si sono recentemente scambiati i contenuti di alcune attività e previsioni programmatiche relative alle batterie redox a flusso ed alla caratterizzazione di batterie al litio. Le azioni di coordinamento con RSE e con il CNR sono state mirate a rendere sempre complementari ed integrate le attività di ricerca delle tre organizzazioni. In particolare in questo ultimo anno, le attività di coordinamento si concentreranno sull'analisi congiunta delle prove di caratterizzazione di batterie al litio di chimica diversa e sul confronto e definizione di prove di "second life" di sistemi al litio e di invecchiamento e degrado di sistemi al litio ed, eventualmente, di supercondensatori.

Le collaborazioni con CNR ed RSE sull'accumulo continueranno anche in ambito europeo nella collaborazione delle organizzazioni di ricerca europea, sviluppata nell'Alleanza europea EERA (European Energy Research Alliance), dove le attività sull'accumulo si stanno intensificando anche in ragione della cambiata natura legale dell'EERA, che si è formalmente trasformata in un'organizzazione no profit.

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

Il progetto continuerà a perseguire obiettivi di ricerca avanzata ed innovativa per le specifiche esigenze della rete elettrica nazionale, con il raggiungimento di risultati conclusivi nel presente anno sui sistemi al litio, sulle procedure di prova di invecchiamento e "second life", sui problemi di sicurezza e sui processi di riciclo di batterie esauste, che saranno anche utilizzati come base per il prossimo triennio di attività. L'obiettivo generale rimane anche quello di mantenere e mettere a disposizione del sistema elettrico nazionale (dalle industrie produttrici di componenti e sistemi alle aziende elettriche di produzione, trasmissione e distribuzione, fino agli enti di controllo preposti) un aggiornato supporto scientifico, tecnologico ed informativo, insieme alla sperimentazione delle soluzioni più promettenti e potenzialmente applicabili e trasferibili agli sviluppi industriali nel breve o medio termine, anche alla luce delle recenti deliberazioni dell'AEEGSI (Autorità Energia Elettrica, Gas e Sistema Idrico) sull'uso dell'accumulo nelle reti elettriche.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione obiettivi

a. Ricerca e sviluppo di batterie al litio per le reti elettriche

L'attività prevede il completamento delle attività di ricerca per il consolidamento dei risultati più promettenti ottenuti nei due anni precedenti, in collaborazione con le Università di Bologna, Camerino e Roma su due percorsi alternativi: 1) il completamento della scelta ed ottimizzazione dei materiali anodici

(ossidi di titanio, di silicio e di grafene) e catodici (litio ferro fosfato e fosfati di manganese) più innovativi e dei relativi processi di fabbricazione, e loro completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica in celle in scala da laboratorio per la verifica delle prestazioni secondo la procedura sviluppata dal Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE. I materiali scelti saranno prodotti in quantità adeguate alla realizzazione e caratterizzazione di decine di campioni di elettrodi e di piccole celle da laboratorio (in versione a tre elettrodi e celle bottone); 2) l'ottimizzazione di componenti elettrodici con i migliori materiali anodici e catodici per la progettazione, realizzazione e prova di celle/stack completi in taglia significativa (fino a circa 1 Ah) da sottoporre a caratterizzazione elettrica (capacità, energia e potenza specifica e vita ciclica) ed elettrochimica. I materiali prodotti ed i manufatti intermedi e finali (semicelle, celle e stack) saranno sottoposti a completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica in tutte le fasi del processo fino alla realizzazione delle celle finali. I sistemi completi di taglia significativa dovranno essere delle due tipologie previste dal progetto: una versione di alta energia e l'altra di alta potenza.

a.1 Ottimizzazione e produzione di materiali elettrodici a più alte prestazioni e/o più basso costo e prove in celle da laboratorio

Per quanto riguarda i materiali catodici, le attività dell'Università di Bologna, continueranno nella direzione di sviluppare celle litio-ione ad alta energia specifica con i migliori materiali ottenuti lo scorso anno, appartenenti a due tipologie diverse: un ossido misto di Ni e Mn (LNMO) operante a un potenziale di 4,7-4,75 V e un fosfato misto di Mn e V (LMVP) operante a un potenziale medio di 3,8 V, intrinsecamente più stabile. I materiali catodici preparati, dopo opportuna caratterizzazione strutturale e morfologica, saranno forniti a ENEA in quantità significative per la realizzazione di celle a bottone o di celle con area e capacità elevata.

La formulazione degli elettrodi sarà ottimizzata anche in relazione alla necessità di utilizzare additivi adeguati per la preparazione di *slurry* a base acquosa o idroalcolica soprattutto in vista di una preparazione preindustriale dei materiali catodici. In collaborazione con ENEA saranno individuati gli additivi leganti ottimali per assicurare buona adesione al collettore di corrente e buona coesione del materiale composito.

Questa attività comporterà la realizzazione di numerosi campioni (di materiali e di elettrodi) da sottoporre a prova presso l'Università e l'ENEA.

Per la ricerca di materiali anodici, l'Università di Camerino, in base ai risultati sperimentali ottenuti nei precedenti anni in celle complete da laboratorio, produrrà materiali anodici a base di grafene in scala utile (decine di grammi) per la verifica degli effetti dello scale up di produzione su prestazioni e costi. Si prevede di ottimizzare la procedura di sintesi di materiali nanocompositi Si/grafene e Sn/grafene e ottenere batch abbastanza riproducibili, con possibilità di controllare il contenuto di Sn e Si nei compositi tra il 10% e il 30% in peso. Allo stesso tempo, si prevede di realizzare elettrodi con binder ecocompatibili (principalmente sodio carbossimetilcellulosa Na-CMC e acido poliacrilico PAA) e con la presenza di eventuali additivi al sistema elettrolitico, al fine di ottenere valori elevati di capacità (dell'ordine dei 400 mAh/g per Sn/grafene e dei 1000 mAh/g per Si/grafene), stabili al procedere della ciclazione (numero di cicli >100). Per i compositi Si/grafene si utilizzeranno varie metodologie di sintesi (a partire da precursori organici di Si o da nanoparticelle commerciali di Si). Relativamente alla sintesi a partire da nanoparticelle, si prevedono quantità ottenibili e tempi necessari comparabili a quelli dei compositi Sn/grafene.

Saranno inoltre completate in parallelo le attività di ricerca di materiali anodici a base di silicio con l'ottimizzazione di tecniche di preparazione innovative di materiali nanostrutturati (nanofili) e loro deposizione su supporti di diversa natura da utilizzare in celle a litio. In questa annualità si propone di utilizzare come metodo di funzionalizzazione principale le sospensioni colloidali. Con questa tecnica si prevede di riuscire ad ottenere nanofili di diametro determinato da quello delle particelle di catalizzatore utilizzato. Come catalizzatore ci si propone di usare oltre ad Au, anche Cu e Ag colloidali che avrebbero degli ovvii vantaggi economici per la realizzazione degli anodi. Si prevede, inoltre, di mettere in funzione il forno ad alta temperatura acquisito e parzialmente montato durante la seconda annualità. Con questo nuovo strumento, più versatile del sistema UHV finora utilizzato, sarà possibile crescere i nanofili su substrati di grande area in modo da poter scalare in modo significativo i parametri elettrochimici della cella al litio con anodi nanostrutturati ed avvicinarsi a correnti di carica/scarica simili a quelle di sistemi reali. La caratterizzazione dei substrati funzionalizzati con queste tecniche e dei nanofili prodotti sarà effettuata principalmente mediante SEM, spettroscopia elettronica (XPS) e TEM.

Tutti i materiali acquisiti e/o prodotti saranno caratterizzati in laboratorio con analisi chimiche, fisiche ed elettrochimiche. Inoltre con i materiali più interessanti verranno prodotti elettrodi che saranno caratterizzati in celle di riferimento da laboratorio (celle a tre elettrodi o celle bottone), sia nella versione ad alta energia che in quella ad alta potenza.

Tutte le celle prodotte (alcune decine) verranno sottoposte a cicli di prova per verificarne prestazioni e vita utile, secondo le procedure di prove concordate nel Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici sulla "Sintesi e caratterizzazione strutturale e morfologica di materiali anodici e catodici"
- Rapporto tecnico "Preparazione di polveri nanocomposite Sn/grafene e Si/grafene per la realizzazione di sistemi fino a 1 Ah e caratterizzazione preliminare dei materiali e delle prestazioni elettrochimiche"
- Rapporto riguardante la formulazione di elettrodi anodici e catodici a base dei vari materiali sviluppati e la caratterizzazione elettrochimica di tali elettrodi in elettroliti convenzionali a base di carbonati organici e sali di litio
- Rapporti tecnici sulla "Caratterizzazione completa chimica ed elettrochimica di celle complete da laboratorio con nuovi materiali elettrodici"

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Università di Camerino, Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2 Realizzazione e caratterizzazione di celle complete di taglia significativa

Quest'attività è rivolta all'estensione delle azioni di scale up condotte nella precedente annualità con due principali obiettivi: la verifica del comportamento dei materiali elettrodici prodotti e forniti dalle Università e dall'ENEA in celle/stack complete e di taglia ulteriormente maggiorata fino ad arrivare a circa 1 Ah per ognuna delle due tipologie previste (ad alta energia ed ad alta potenza). Le attività saranno divise logicamente in due fasi: la prima volta a risolvere i problemi di produzione e funzionalità dei materiali elettrodici con la ridefinizione del progetto di cella (di entrambe le tipologie: di alta energia e di alta potenza); la seconda alla realizzazione di diverse celle di taglia significativa da assemblare poi in piccoli sistemi (fino a circa 1 Ah) di entrambe le tipologie ed alla successiva caratterizzazione elettrochimica ed elettrica. La prima fase include il completamento dell'ottimizzazione dei processi di preparazione di materiali anodici e catodici, già identificati nell'anno precedente, per celle al litio particolarmente adatti per le applicazioni nelle reti elettriche. I materiali sono appunto quelli scelti e provati negli anni precedenti e nel Task a.1 per rispondere ad esigenze di alte prestazioni (potenza ed energia), basso costo e basso impatto ambientale. Tali materiali provati nella precedente annualità in celle complete, saranno prodotti in scala utile (decine di grammi) per la verifica degli effetti dello scale-up di produzione su prestazioni e costi e per la realizzazione di altre celle di scala maggiorata (fino a circa 1 Ah) per l'esecuzione delle verifiche finali sulle soluzioni finora individuate. La produzione dei materiali e degli elettrodi sarà sempre accompagnata da una completa caratterizzazione strutturale, chimica ed elettrochimica dei vari prodotti, prima del loro assemblaggio in celle complete.

Una volta assemblate, tutte le celle complete prodotte (ed i sistemi assemblati) verranno sottoposte a cicli di prova elettrochimica ed elettrica per verificarne prestazioni e vita utile, in diverse condizioni operative tipiche delle applicazioni individuate per la rete elettrica. Le caratterizzazioni elettrochimiche ed elettriche utilizzeranno le procedure concordate nel Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla "Sintesi e caratterizzazione strutturale e morfologica di materiali anodici e catodici prima della realizzazione di celle complete"
- Rapporto tecnico sulla "Progettazione delle celle/sistemi di scala significativa di due tipologie diverse e completa caratterizzazione elettrochimica ed elettrica"

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b. Analisi sperimentali di cicli di lavoro, di condizioni di degrado e riutilizzo e di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico

L'utilizzazione dei sistemi di accumulo elettrochimico nelle reti elettriche richiede una continua ed attenta analisi delle effettive modalità operative (per ottimizzarne l'uso, le dimensioni ed il costo), dei costi ad essi associati, che devono essere assolutamente ridotti ed ottimizzati, e degli eventuali aspetti di sicurezza durante le varie fasi di acquisizione, trasporto, ed utilizzo (in questo obiettivo non vengono considerate le possibilità di smaltimento e riciclo dei materiali, previste nell'obiettivo successivo c).

Per completare l'analisi del comportamento di sistemi di accumulo in applicazioni con elevati potenziali risparmi di energia elettrica verrà completata la messa a punto del modello matematico, con l'effettuazione di prove al banco su batterie al litio commerciali, di analisi dell'introduzione di un sistema di accumulo stazionario in una metropolitana di superficie, tipo quella sviluppata per la città di Bergamo ed effettuata con tram.

Saranno infine proseguite le prove di vita di celle al litio per la valutazione sperimentale della "second life" e del comportamento termico, utilizzando campioni parzialmente usati (già individuati ed in fase di fornitura) sulla base dei profili caratteristici in alcune applicazioni tipiche per le reti elettriche, individuati nel precedente anno di attività. Inoltre le prove di "second life" saranno affiancate da prove di invecchiamento e degrado accelerate per fare un confronto sulle procedure e le modalità di prova ai fini dello sviluppo di modelli di comportamento da proporre per il successivo triennio, d'intesa con CNR e RSE, e da estendere anche ai supercondensatori.

Infine, a completamento degli studi di sicurezza effettuati lo scorso anno, si intende studiare sperimentalmente il problema dell'estinzione di un eventuale incendio di batterie con tecnologia litio-ione, includendo il calcolo del carico di incendio di un sistema di accumulo, la classificazione della tipologia di incendio, la scelta degli agenti estinguenti e le modalità di estinzione del fuoco.

b.1 Analisi sperimentali e validazioni di sistemi di accumulo per una tranvia leggera e per la "second life" e l'invecchiamento di celle litio-ione

Nel precedente anno le attività hanno riguardato: la raccolta sperimentale delle sollecitazioni a cui un sistema di accumulo elettrochimico, di tipo gestionale, è sottoposto durante il suo funzionamento in una sottostazione di alimentazione di una rete tranviaria, come quella di Bergamo; la validazione, con i dati sperimentali di funzionamento acquisiti sul campo, del modello della struttura elettrica della tranvia e dei tram, nonché la gestione della movimentazione tramite le effettive tracce orarie; e la definizione di logica di gestione dello stato di carica degli accumulatori e un criterio di dimensionamento della capacità energetica di accumulo. Le attività nel presente anno prevedono l'aggiornamento dello strumento di simulazione del sistema tramvia per la modellazione delle nuove configurazioni da esaminare, con l'aggiunta di una fonte energetica rinnovabile (come ad esempio un impianto fotovoltaico) e la valutazione dei flussi di energia sul sistema, confrontandoli con quanto ottenuto negli anni precedenti, per valutare gli effetti complessivi dell'uso dell'accumulo sull'efficienza energetica e sui costi dell'intero sistema tramvia con generazione rinnovabile. Inoltre il dimensionamento dell'accumulo richiede anche una validazione di tipo sperimentale in relazione ai cicli corrente-tempo derivanti dal nuovo assetto del sistema, con particolare attenzione alla stima della vita utile del sistema di accumulo. Le attività prevedono, quindi, anche una valutazione sperimentale del massimo numero di micro-cicli tollerabile dalle celle al litio ad alta potenza, sotto le citate condizioni di impiego, ed aggiornamento del ciclo di lavoro semplificato sviluppato nell'anno precedente. Per la definizione dei cicli si farà riferimento ai risultati delle simulazioni e alle misure in campo sulla tramvia. Si propone di definire un ciclo per la prova di vita delle batterie che tenga conto del diverso utilizzo della rete tranviaria legato al periodo dell'anno, al giorno della settimana ed all'orario di fornitura del servizio. L'attività di sperimentazione in laboratorio verrà svolta presso le strutture dell'Università di Pisa e di ENEA.

Infine l'attività sperimentale di caratterizzazione di celle esauste al litio per la verifica delle possibilità di "second life" verrà proseguita per seguire l'evoluzione della vita residua delle celle litio-ione (della tipologia con catodo al litio-ferro fosfato). 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 sulla base dei profili semplificati individuati ("Pro" e "Light") nell'anno precedente, che tengono conto di condizioni di utilizzo diverse, ma comunque

rappresentative di possibili applicazioni nelle reti elettriche. 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. Si prevede lo svolgimento in parallelo di prove di degrado ed invecchiamento, con analisi termografica, di celle al litio di diversa chimica per la preparazione di opportuni modelli di previsione del comportamento di tali celle, d'intesa con CNR ed RSE. Le attività di "second life" e di invecchiamento saranno integrate da studi di modelli di comportamento delle batterie litio-ione 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, che saranno utilizzati per preparare un piano di prove di funzionamento ed invecchiamento su chimiche diverse al litio per il prossimo triennio di attività.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Dimensionamento di un sistema di accumulo per una tramvia con integrazione dell'alimentazione da fonte fotovoltaica"
- Rapporto tecnico "Prove sperimentali e ciclo semplificato di un sistema di accumulo per una tramvia"
- Rapporto sull'attività sperimentale di "second life"
- Rapporto sull'analisi termica e sulle necessità di condizionamento termico delle celle
- Rapporto sulle prove di invecchiamento e degrado di celle al litio
- Rapporto tecnico su "Modelli preliminari di funzionamento e di invecchiamento di celle al litio"

Principali collaborazioni: Università di Pisa, Università di Roma "Tor Vergata"

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b.2 Studi sperimentali di sicurezza nell'applicazione dei sistemi di accumulo elettrochimico al litio

Per quanto riguarda lo stato attuale delle conoscenze, si rileva una scarsità degli studi di caratterizzazione della infiammabilità delle sostanze che costituiscono le varie tipologie di celle Litio-ione e delle sostanze che compongono i gas che possono essere emessi sia in condizioni di esercizio (*vented gases*) che in condizioni di abuso e/o *thermal runaway* delle celle. In merito all'intervento in caso di incendio (che diventa tanto più problematico quanto più aumentano le dimensioni dei sistemi di accumulo), il problema è ancora allo studio a livello internazionale ed ancora non sono state emesse specifiche certe: risalgono al 2004 i primi studi sperimentali disponibili in letteratura. Le prime raccomandazioni riguardano l'intervento in caso di incendio ad apparecchiature elettroniche trasportate per via aerea. Ciononostante, le norme per il trasporto internazionale di merci pericolose richiedono la rispondenza ad alcuni test di classificazione, ma ancora non sono stati identificati con esattezza i mezzi estinguenti. Pertanto nel presente anno si è deciso di mettere a punto un primo piano di intervento di emergenza, con una preliminare attività sperimentale, per valutare il rischio incendio ed esplosione nell'impiego di sistemi di accumulo del tipo litio-ione.

A tal fine, con la squadra di emergenza incendio interna al CR ENEA Casaccia, verranno analizzate le cause esogene ed endogene dell'incendio di celle litio-ione, effettuate prove in campo aperto di partecipazione al fuoco e sperimentati i sistemi di estinzione che verranno selezionati.

Tenuto conto del fatto che allo stato attuale delle conoscenze scientifiche non si può escludere definitivamente la presenza di litio metallico in batterie invecchiate o sottoposte ad abuso, le prove di estinzione verranno condotte anche sul litio metallico.

Le prove che verranno effettuate presso il CR Casaccia saranno preliminari alla conduzione in sicurezza delle prove di abuso e di apertura delle celle e saranno fondamentali per affrontare le problematiche relative alla gestione degli incendi sistemi di accumulo stazionario, sistemi di ricarica rapida ed anche estendibili ad incidenti di veicoli elettrici, in termini di prevenzione, protezione e intervento in emergenza. Il piano prevede nel suo pieno sviluppo previsto nel prossimo triennio, anche le azioni e linee guida per la formazione degli addetti alla lotta antincendio di questi sistemi.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico su "Prove di incendio ed esplosione di celle al litio-ione", con documentazione filmata delle prove su campo e con analisi termografica

- Rapporto tecnico su “Procedura di estinzione incendi su scala di laboratorio”

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. Recupero di materiali da batterie al litio a fine vita

Le attività negli anni precedenti hanno evidenziato i problemi e le complessità dei processi di riciclo delle batterie agli ioni litio e di recupero di materiali in esse contenute, con l'ulteriore difficoltà legata alle numerose chimiche che sono adesso disponibili o in fase di produzione industriale. Le fasi critiche ormai individuate vanno dall'apertura in sicurezza delle batterie, alla separazione dei diversi componenti, e al recupero dei materiali, in cui sono da valutare e gestire rischi chimici differenti, quali la presenza di metalli a potenziale attività cancerogena, di vapori tossici e di litio metallico anche in forma libera, che può essere causa di incendi ed esplosioni se non adeguatamente gestito.

L'attività di ricerca proposta si pone l'obiettivo di arrivare alla definizione di due processi innovativi di separazione e recupero ecosostenibile dei materiali attivi (catodo e anodo) ottenuti da batterie al litio esauste di due diverse chimiche (una a base di litio-ferro fosfato e l'altra con cobaltite di litio).

L'obiettivo finale di questo anno di attività (a conclusione del Piano triennale) è il completamento dell'attività sperimentali sulle fasi più critiche dei due processi analizzati e la progettazione preliminare di impianti pilota (almeno due per le due chimiche e processi studiati), eventualmente da progettare, realizzare e sperimentare nel successivo triennio.

c.1 Recupero di componenti da batterie al litio-ione esauste con cobaltite di litio: processo eco-sostenibile e innovativo

Con l'obiettivo di promuovere un processo a basso impatto ambientale, di recupero di materiali da batterie al litio secondarie esauste, nel corso della ricerca effettuata nei due anni precedenti, è stato sviluppato un flow sheet di processo in cui i principali componenti delle batterie litio-ione (materiale catodico e anodico, legante, elettrolita, supporti metallici e polimerici) sono separati e direttamente, o dopo semplici processi di pre-trattamento, recuperati per una seconda vita senza la produzione di scorie ed emissioni dannose per l'ambiente riducendo così i consumi energetici.

La presente attività è rivolta sia alle risoluzioni delle criticità rilevate nel corso della ricerca effettuata negli anni precedenti, sia allo studio e allo sviluppo di operazioni di processo ancora non analizzate. Un nuovo obiettivo indicato è lo studio e lo sviluppo dell'operazione di processo per il recupero del separatore polimerico purificato dal materiale attivo anodico o catodico presente nei dispositivi. Tale operazione sarà effettuata utilizzando ove possibile le stesse metodologie utilizzate per il recupero dei collettori metallici. Inoltre sarà affrontato lo studio di una metodologia per azzerare la potenza residua presente nelle batterie al litio secondarie esauste di diverse tipologie e stato di conservazione. La scarica completa di un dispositivo è un'operazione importante per la sicurezza dell'uomo e dell'ambiente. In un dispositivo una carica residua potrebbe dar luogo a scintille nel caso in cui i poli sono incautamente cortocircuitati, con la conseguente possibilità d'incendi e inoltre la sua apertura può indurre un incontrollato rilascio di energia chimica. Ad esempio, il litio metallico eventualmente presente nella grafite a contatto con l'umidità dell'aria potrebbe provocare incendi.

L'attività precedente e in particolare, lo studio dell'operazione di separazione dei materiali attivi dai relativi supporti metallici con processo chimico di solvatazione e fisico mediante l'utilizzo di ultrasuoni, ha evidenziato come punto di criticità la purezza dei materiali recuperati. In quest'anno di attività, si ha come obiettivi, lo sviluppo dello scale-up del processo di separazione chimica mediante la miscela formulata, ottimizzando i diversi parametri, quali tempo e temperatura, insieme allo sviluppo di metodologie di purificazione dei materiali attivi recuperati sia con metodo sia fisico che chimico per l'ottenimento di un prodotto privo del legante polimerico (PVDF). Si prevede inoltre la realizzazione di un progetto di massima di un impianto pilota dell'intero processo.

Inoltre sarà eseguita una caratterizzazione chimico-fisica completa e indicativa dei materiali recuperati con le diverse tecniche quali TG/DTA, FT-IR, raggi X, e SEM, per verificarne l'effettiva utilizzabilità in nuove celle.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico su “Completamento delle procedure di separazione dei materiali attivi di celle al

litio commerciali tramite un processo chimico eco-sostenibile”

- Rapporto tecnico “Progettazione di massima per un impianto pilota per il riciclo di batterie al litio-ione con cobaltite di litio”

Durata: ottobre 2014 - aprile 2015

c.2 Sviluppo di un processo per il recupero di materiali di elevato valore aggiunto da batterie al litio-ione esauste con litio-ferro fosfato tramite processi idrometallurgici

La sperimentazione già intrapresa nel corso del precedente anno, per il recupero dei materiali da batterie al litio esauste, proseguirà con l’ottimizzazione del processo idrometallurgico proposto, secondo le seguenti azioni:

- ottimizzazione del processo idrometallurgico individuato per il recupero dei materiali di interesse attraverso l’analisi di diverse tecniche di lisciviazione e di separazione chimica con particolare riguardo alla precipitazione;
- sperimentazione sistematica in scala laboratorio delle diverse fasi del processo che seguono la lisciviazione acida, già messa a punto nel corso della precedente annualità, su soluzioni simulate di materiale catodico, in particolare saranno investigate le seguenti operazioni unitarie:
 - precipitazione frazionata
 - separazione per filtrazione
 - purificazione.
- sperimentazione del processo in scala da laboratorio a partire da batterie LFP (litio ferro fosfato) esauste seguendo un approccio prodotto-centrico che mira al recupero di tutti i materiali che compongono la batteria. Partire dalla batteria esausta rende necessario aggiungere al processo e quindi studiare in modo sistematico, anche le fasi di pretrattamento meccanico che sono finalizzate al successivo processo di recupero idro-metallurgico; in particolare:
 - scarica, apertura e smontaggio in sicurezza della batteria
 - separazione materiale catodico e anodico
 - Il pretrattamento meccanico e manuale verrà condotto in modo alternativo alla semplice triturazione; infatti, in questo modo è possibile recuperare il casing esterno generalmente costituito da due strati in Fe, Al e plastica e quindi procedere allo svolgimento del nastro, che con opportuni mezzi fisici (applicazione di ultrasuoni) o in seconda battuta, chimici (solvente environmentally friendly) vedrà la separazione del materiale catodico e anodico dai supporti. In questo modo è possibile recuperare i due collettori di corrente tal quali e ottenere quindi Cu e Al in forma metallica pronti per il riuso, mentre i relativi materiali attivi verranno recuperati per filtrazione e avviati alle diverse fasi del recupero idrometallurgico. Altri materiali costituenti la batteria verranno considerati per il loro trattamento, qualora lo stesso sia sufficientemente semplice in termini di numero di operazioni unitarie coinvolte e a basso impatto ambientale.
- definizione di un processo in scala laboratorio e ipotesi preliminare di impianto dimostrativo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico su “Ottimizzazione e sperimentazione del processo per il recupero di materiali da batterie LFP esauste tramite tecnologie idrometallurgiche”
- Rapporto tecnico su “Pre-trattamento delle batterie litio-ione in scala di laboratorio con particolare riferimento alle modalità di apertura delle celle”
- Rapporto tecnico su “Definizione di un processo in scala laboratorio e ipotesi preliminare di impianto dimostrativo”

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

d. Partecipazione a collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati

d.1 Partecipazione a collaborazioni internazionali

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.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulla partecipazione ai gruppi internazionali

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

d.2 Comunicazione e diffusione dei risultati

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 COST) 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.

Si valuterà inoltre la possibilità di produrre specifici strumenti di comunicazione (brochure e rapporti tecnici sintetici), video. Inoltre quest'anno, eventualmente in collaborazione con CNR ed RSE, si prevede di organizzare, entro la prima metà del 2015, un workshop/seminario specifico per diffondere i risultati ottenuti sull'accumulo in circa un triennio e preparare il nuovo piano triennale: a questo seminario si prevede di coinvolgere l'industria nazionale e centri di ricerca anche extranazionali per contributi su nuove linee di sviluppo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulle attività di comunicazione e diffusione

Durata: ottobre 2014-settembre 2015

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	Ricerca e sviluppo di batterie al litio per le reti elettriche									
	a.1 Ottimizzazione e produzione di materiali elettrodi a più alte prestazioni e/o più basso costo e prove in celle da laboratorio	800	31	19	6	3	0	1	47	107
	a.2 Realizzazione e caratterizzazione di celle complete di taglia significativa	2500	97	58	5	1	0	0	20	181
	Subtotale Ob. a	3300	128	77	11	4	0	1	67	288
b	Analisi sperimentali di cicli di lavoro, di condizioni di degrado e riutilizzo e di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico									
	b.1 Analisi sperimentali e validazioni di sistemi di accumulo per una tranvia leggera e per la "second life" e l'invecchiamento di celle litio-ione	870	34	20	0	0	0	1	33	88
	b.3 Studi sperimentali di sicurezza nell'applicazione dei sistemi di accumulo elettrochimico al litio	600	23	14	0	3	0	0	0	40
	Subtotale Ob. b	1470	57	34	0	3	0	1	33	128
c	Recupero di materiali da batterie al litio a fine vita									
	c.1 Recupero di componenti da batterie al litio-ione esauste con cobaltite di litio: processo eco-sostenibile e innovativo	600	23	14	5	3	0	0	0	45
	c.2 Sviluppo di un processo per il recupero di materiali di elevato valore aggiunto da batterie al litio-ione esauste con litio-ferro fosfato tramite processi idrometallurgici	1250	48	29	4	3	0	1	20	106
	Subtotale Ob. c	1850	71	43	9	6	0	1	20	150
d	Partecipazione a collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati									
	d.1 Partecipazione a collaborazioni internazionali	300	12	7	0	4	0	2	0	25
	d.2 Comunicazione e diffusione dei risultati	100	4	2	0	1	0	2	0	9
	Subtotale Ob. d	400	16	9	0	5	0	4	0	34
		7020	272	163	20	18	0	7	120	600

* 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, e le spese generali supplementari

(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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto A.3.2 del PAR 2013), pari a 38,75 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 28,25 €/h.

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

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Fornitura bilance	2.686	300	Preparazione materiali attivi x celle Li-ione
a.2	Termostato	16.727	1.700	Preparazione materiali attivi x celle Li-ione
a.3	Macchina pressa (Crimper) per celle a bottone	3.999	400	Preparazione celle Li-ione
c.1	Forno tubolare verticale	5.244	500	Separazione materiali attivi per riciclo
c.1	Vibrosetacciatore analitico	12.255	1.500	Separazione materiali attivi per riciclo
c.1	Bilancia analitica	1.646	300	Separazione materiali attivi per riciclo
c.1	Sistema da vuoto e linea da vuoto	5.369	1.000	Separazione materiali attivi per riciclo
c.1	N. 2 computer portatili per collegamento strumentazione	3.874	650	Separazione materiali attivi per riciclo
c.1	Disgregatore, agitatore, alimentatore, box asonoro	13.952	1.300	Separazione materiali attivi per riciclo
a.1	Sistema fotoemissione inversa	28.350	2.700	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-ione
a.2	Mulino planetario Pm 100 cm	6.828	1000	Preparazione materiali attivi x celle Li-ione
c.1	Centrifuga	4.421	400	Separazione materiali attivi per riciclo
a.1	Apparecchi e strumenti per vuoto e criogenia	9.715	1.500	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-ione
a.1	Aspiratore Nilfisk Alto Mod. ATTIX 30-0h Pc In Classe H	874	200	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-ione
a.2	Workstation	8.672	1.000	Gestione prove su celle Li-ione
a.2	Armadio di sicurezza per infiammabili	1.190	200	Contenitore per celle Li-ione
a.1	Fornace di processo per crescita nanostrutture per catodi di batterie al litio	4.895	500	Preparazione ossido di silicio per anodi Li-ione
c.2	Reattore a pressione con termoregolatore	6.000	500	Separazione materiali attivi per riciclo
c.1	Pompa self drying per aspirazione gas umidi e stufa da vuoto	13.664	1.000	Separazione materiali attivi per riciclo
c.2	Distillatore GFL 2012	8.184	900	Separazione materiali attivi per riciclo
a.1	Pompa rotativa di processo per forno	3.700	150	Preparazione ossidi di silicio per anodi
a.2	Macchina di deposizione da laboratorio	20.000	800	Deposizione nastri elettrodi
a.1	Sensore linea gas per forno	5.000	150	Preparazione ossidi di silicio per anodi
b.2	Telecamere per ripresa in live delle prove con dispositivi di sostegno	1.200	100	Registrazione eventi durante prove di sicurezza
c.1	Muffola a 1100°C	2.500	100	Trattamento termico materiali per riciclo
c.1	Purificatore di Aria e Compressore oil free per stufa di solventi organici	3.600	150	Separazione materiali attivi per riciclo
c.1	Misuratore di conduttività	2.500	100	Caratterizzazione dei materiali dopo riciclo
c.1	Stufa per essiccazione materiali	2.500	100	Preparazione materiali dopo riciclo
c.2	Mineralizzatore FKV	20.000	400	Separazione materiali attivi per riciclo
c.2	Agitatore a rotazione verticale con supporto per provette	1.300	100	Separazione materiali attivi per riciclo
c.2	Stufa da vuoto da 18 L con presa per gas inerti	2.100	150	Separazione materiali attivi per riciclo
c.2	Setacciatore a vibrazione con accessori	3.200	150	Separazione materiali attivi per riciclo

(*) 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	Prodotti chimici (reagenti, materiali attivi per celle al litio, sospensioni colloidali, gas tecnici per ambienti controllati)	2.000
a.1	Pezzi di ricambio per attrezzature di preparazione e prova (per es., tubi di quarzo per forno, componenti elettrici e meccanici)	1.000
a.2	Prodotti chimici e fisici per la realizzazione di celle	1.000
b.2	Divisa ignifuga con autorespiratore completa (2)	3.000
c.1	Prodotti chimici (reagenti, gas tecnici) e componentistica meccanica e chimica di consumo per laboratorio chimico	1.000
c.1	Parti di ricambio e accessori per reattore a pressione e strumentazione analitica	2.000
c.2	Prodotti chimici (reagenti, gas tecnici) e componentistica meccanica e chimica di consumo per laboratorio chimico per riciclo batterie	1.000
c.2	Parti di ricambio e accessori per strumentazione analitica (lampade per	2.000
d.1	Quota iscrizione Implementing Agreement Energy Storage - Anno 2015	4.000
d.2	Organizzazione meetings-workshop	1.000

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

Non sono previsti costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze e/o 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	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, integrandole con una completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica fino ad arrivare a prove su celle da laboratorio.	20
a	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 ed è in grado di produrre le quantità necessarie alle attività previste nell'Ob. a, integrandole con una completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica fino ad arrivare a prove su celle da laboratorio	20
a	Università di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento, con il suo laboratorio di "Elettrochimica Applicata", ha una lunga esperienza nel campo della ricerca e dello sviluppo delle batterie al litio, collaborando con l'ENEA in diversi progetti, tra cui la Ricerca di Sistema, per 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 sulla realizzazione di materiali anodici a base di nanotubi di ossido di titanio e il loro assemblaggio in componenti della cella. Inoltre dovrà anche svolgere complete caratterizzazioni sui componenti sviluppati.	27
b	Università di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento ha messo a punto il modello matematico per il dimensionamento del sistema di accumulo della tranvia di Bergamo, avendo anche svolto la campagna sperimentale. Inoltre ha esperienza ed è attrezzato per svolgere attività sperimentali su celle al litio in collaborazione con l'ENEA	18
b	Università di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Ingegneria Industriale <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento si occupa da alcuni anni di problematiche relative allo sviluppo ed all'utilizzo di sistemi di storage elettrico per applicazioni energetiche sia di tipo stazionario che per l'autotrazione e partecipa per la prima volta a questo progetto. Ha competenze ed infrastrutture sperimentali per lo studio degli aspetti di integrazione degli accumulatori elettrochimici all'interno di sistemi energetici di varia complessità. Le attività riguarderanno lo sviluppo di strumenti di simulazione per lo studio di diverse tecnologie di celle e finalizzate, tra l'altro, alla valutazione dell'invecchiamento e della "second life".	15
c	Università Sapienza di Roma - Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente (DICMA) <i>Motivazioni della scelta:</i> Questo Dipartimento partecipa per la prima volta alle attività del Progetto 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.	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
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) (in corso)	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.
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 (non inclusi nella Ricerca di Sistema) e su celle fornite da altri partecipanti per le diverse caratterizzazioni.

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob.	Risultati PAR 2013	Risultati attesi PAR 2014
a. Ricerca e sviluppo di batterie al litio per le reti elettriche		
a.1 Ottimizzazione e produzione di materiali elettrodi a più alte prestazioni e/o più basso costo e prove in celle da laboratorio		
	I materiali anodici e catodici sono stati ottimizzati in termini di composizione e funzionalità operativa. I materiali sono stati anche prodotti in quantità sufficienti (fino a 10 g) per prove in celle bottone. Il materiale catodico di UBo a base di litio manganese fosfato contenente basse percentuali di V ₂ O ₃ caratterizzato da un'ottima stabilità alla ciclazione e risposta alle correnti elevate è stato ottimizzato e confrontato con prodotti commerciali fatti con altre leghe; campioni di tale materiale sono stati forniti all'ENEA per prove in celle. UCam ha migliorato notevolmente la stabilità degli elettrodi compositi Sn/grafene e Si/grafene, in maniera da migliorare la vita ciclica, confrontando vari processi di preparazione; campioni sono stati forniti a UBo ed ENEA per prove in celle da laboratorio. Infine, il materiale anodico a base di ossido di silicio (in forma di nanofili, nanowires) è stato fatto crescere direttamente su collettore di corrente mediante tecniche alternative a quelle note con risultati interessanti: piccole quantità sono state poi fornite all'ENEA per prove in cella. Analogamente i materiali acquisiti e/o prodotti sono stati caratterizzati in laboratorio (da UBo, UCam ed ENEA) con analisi chimiche, fisiche ed elettrochimiche. Inoltre con i materiali più interessanti sono stati costruiti elettrodi poi caratterizzati in celle di riferimento da laboratorio (in celle a tre elettrodi e celle bottone, anche grazie al grimper acquisito)	I materiali anodici e catodici più interessanti sviluppati negli anni precedenti (catodi a base di fosfati metallici ed anodi a base di titanio, silicio e grafene) saranno ottimizzati e caratterizzati preliminarmente prima di essere prodotti in quantità adeguate (fino a varie decine di grammi) alla realizzazione e caratterizzazione di celle da laboratorio (prevalentemente celle bottone) e poi successivamente celle e stack completi di due tipologie (alta energia ed alta potenza) con una capacità intorno ad 1 Ah. Le Università di Bologna, Camerino e Roma svilupperanno ed ottimizzeranno i vari processi di preparazione e, dopo caratterizzazione preliminare, forniranno all'ENEA le quantità previste per realizzare e provare le celle bottone con cui verranno individuati i componenti migliori per le attività da svolgersi in a.2.
a.2 Realizzazione e caratterizzazione di celle complete di taglia significativa		
	Nel POA2013, l'ENEA si è concentrata sulla soluzione dei problemi di produzione e funzionalità dei materiali elettrodi con la ridefinizione del progetto di cella (di entrambe le tipologie: di alta energia e di alta potenza) arrivando alla realizzazione di 6 celle di taglia significativa (fino a circa 150 mAh) di entrambe le tipologie ed alla successiva caratterizzazione elettrochimica ed elettrica. La caratterizzazione ha anche riguardato la preparazione degli elettrodi, fatti con materiali più convenzionali, prima dell'assemblaggio.	Nel POA2014, l'ENEA si occuperà della progettazione, realizzazione e prova di celle e stack di celle di taglia maggiorata (fino ad 1 Ah) e con prestazioni adatte ad applicazioni diverse di alta potenza e di alta energia. La caratterizzazione sarà di tipo chimico, fisico, elettrochimico ed elettrico e sarà svolta in tutte le fasi del processo di preparazione dei materiali attivi, dei componenti delle singole celle fino agli stack finali.

b. Analisi sperimentali di cicli di lavoro, di condizioni di degrado e riutilizzo e di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico		
b.1 Analisi sperimentali e validazioni di sistemi di accumulo per una tranvia leggera e per la "second life" e l'invecchiamento di celle litio-ione		
	<p>Nell'anno precedente il modello sviluppato è stato validato con dati sperimentali raccolti dall'Università di Pisa che ha portato alla valutazione dei cicli di lavoro dei vari sottosistemi, compreso un dimensionamento preliminare del sistema di accumulo con batterie al litio, e delle soluzioni progettuali più convenienti da un punto di vista dell'efficienza e della convenienza economica tra varie scelte progettuali. Infine sulla base dei dati sperimentali, l'ENEA ha estrapolato un ciclo rappresentativo dell'uso dei sistemi di accumulo, che può essere utilizzato per l'esecuzione di prove selettive al banco in laboratorio per mettere a confronto diverse tecnologie di accumulo elettrochimico.</p> <p>Inoltre nel 2013 sono state acquisite celle/moduli da 40 e 90 Ah (19 in totale) di caratteristiche adatte all'esecuzione di prove di verifica delle possibilità di estensione della vita utile di batterie al litio (second life) usate nella trazione elettrica. Sono state eseguite diverse sequenze di prove di carica-scarica, sulla base dei profili caratteristici di alcune applicazioni tipiche per le reti elettriche, che hanno evidenziato un rapido deterioramento (con rigonfiamento) delle celle in prova. Sono state pertanto sviluppate due tipologie di profili di prova (pro e soft) per usi di alta energia e di alta potenza che hanno consentito di eseguire numerosi cicli senza un rapido degrado delle celle. Le prove con questi cicli sono ancora in corso e saranno proseguite nel prossimo anno. Inoltre è stata svolta la caratterizzazione termica delle singole celle, mediante termografie durante prove di carica e scarica, che hanno evidenziato una limitata variazione della temperatura, con ridotta necessità di condizionamento termico.</p>	<p>Nell'anno in corso il modello già sviluppato verrà esteso in una configurazione del sistema elettrico della tranvia leggera che preveda anche l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili. Il modello verrà poi verificato con attività sperimentali su celle al litio svolte dall'Università di Pisa e dall'ENEA, con cicli semplificati già sviluppati, fino ad arrivare al nuovo dimensionamento ed all'analisi degli effetti energetici ed economici nell'uso dell'accumulo elettrochimico per la tranvia leggera di Bergamo.</p> <p>Infine quest'anno verranno proseguite le prove di vita in corso per la verifica della vita utile di batterie al litio (second life) già usate nella trazione elettrica. Per le prove saranno utilizzate le due tipologie di profili di prova (pro e soft) per usi di alta energia e di alta potenza precedentemente sviluppate e si cercherà di valutare gli effetti sul comportamento e sulla vita, anche con l'aggiunta di prove di invecchiamento e di simulazione su nuove celle al litio, in collaborazione con l'Università di Roma. Le prove saranno integrate dalla caratterizzazione termica delle singole celle, mediante analisi termografiche.</p>
b.2 Studi sperimentali di sicurezza nell'applicazione dei sistemi di accumulo elettrochimico al litio		
	<p>Nel 2013-2014 gli studi di sicurezza sono stati estesi alle batterie alle alte temperature, per il loro crescente interesse commerciale, e hanno riguardato l'insieme delle norme, delle indicazioni e della letteratura scientifica disponibile e di articoli/comunicati stampa disponibili sul web. Questa attività ha consentito:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'identificazione dei pericoli per la salute (uomo e ambiente) e la sicurezza, - la valutazione delle quantità di materia ed energia associate a sistemi di accumulo "campione", - la raccolta di informazioni relative ad incidenti occorsi ad impianti esistenti (dimostrativi o in esercizio), - ipotesi su scenari incidentali. <p>Il passo successivo sarà la messa a punto e la verifica di modelli di comportamento e prescrizioni utili a rendere sempre più sicuro e accettabile in tutte le condizioni (dalla ricerca al campo applicativo) l'uso di tali tecnologie.</p>	<p>Nell'ultimo anno verranno analizzate le cause dell'incendio di celle litio-ione, mediante prove in campo aperto di partecipazione al fuoco e di sperimentazione di sistemi di estinzione che verranno selezionati.</p> <p>Le prove saranno preliminari alla conduzione in sicurezza delle prove di abuso e di apertura delle celle e saranno fondamentali per affrontare le problematiche relative alla gestione degli incendi sistemi di accumulo stazionario, sistemi di ricarica rapida ed anche estendibili ad incidenti di veicoli elettrici, in termini di prevenzione, protezione e intervento in emergenza. Il piano prevede nel suo pieno sviluppo, previsto nel prossimo triennio, anche le azioni e linee guida per la formazione degli addetti alla lotta antincendio di questi sistemi.</p>
c. Recupero di materiali da batterie al litio a fine vita		
c.1 Recupero di componenti da batterie al litio-ione esauste con cobaltite di litio: processo eco-sostenibile e innovativo		
	<p>L'ENEA ha proseguito l'ottimizzazione e verifica sperimentale del processo innovativo, già individuato, concentrandosi sulla separazione per via chimica delle polveri attive dai collettori metallici (Al per il catodo e Cu per l'anodo) e del separatore polimerico. Tale separazione è stata fatta attraverso un processo di solvatazione del legante tramite una nuova miscela di solventi organici eco-sostenibile. La miscela e i materiali separati e recuperati sono stati analizzati, con l'aggiunta della verifica di un processo di separazione di tipo fisico con l'impiego di un processo di sonicazione della sospensione acquosa e lo studio preliminare dell'estrazione del legante e dell'elettrolita dai fogli catodici e anodici mediante un processo di solvatazione.</p>	<p>Nell'ultimo anno lo studio dell'operazione di separazione dei materiali attivi dai relativi supporti metallici con processo chimico di solvatazione e fisico mediante l'utilizzo di ultrasuoni, verrà ottimizzato per aumentare la purezza dei materiali recuperati con la verifica sperimentale della riutilizzabilità dei materiali recuperati. In quest'anno di attività, si prevede inoltre lo sviluppo dello scale-up del processo di separazione chimica mediante la miscela formulata, ottimizzando i diversi parametri, quali tempo e temperatura, insieme allo sviluppo di metodologie di purificazione dei materiali attivi recuperati sia con metodo sia fisico che chimico). Si intende infine definire un progetto di massima di un impianto pilota dell'intero processo.</p>

c.2 Sviluppo di un processo per il recupero di materiali di elevato valore aggiunto da batterie al litio-ione esauste con litio-ferro fosfato tramite processi idrometallurgici		
	<p>Il riciclo delle batterie è stato studiato dall'ENEA, per completezza e per valutare le opportunità tecniche, ambientali ed economiche, tecnologie eco-sostenibili di tipo idrometallurgico svolgendo schematicamente le seguenti azioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - valutazione e confronto delle tecnologie già in uso relative a pre-trattamenti meccanici e/o fisici, a trattamenti fisici e chimico-fisici - caratterizzazione del materiale elettrodico delle batterie attraverso tecniche analitiche di tipo ottico, spettrofotometrico e cromatografico quali, spettroscopia ad assorbimento atomico e uv-vis, cromatografia ionica - individuazione di un processo idrometallurgico per il recupero dei materiali di interesse attraverso l'analisi di tecniche di lisciviazione, di separazione chimica (estrazione con solvente, precipitazione frazionata, scambio ionico etc.) ed elettrochimica. <p>sperimentazione preliminare di alcune fasi del processo in scala laboratorio.</p>	<p>La sperimentazione già intrapresa nel corso del precedente anno, per il recupero dei materiali da batterie al litio esauste, proseguirà con le seguenti azioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione del processo idrometallurgico individuato. - Sperimentazione sistematica in scala laboratorio delle diverse fasi del processo - Sperimentazione del processo in scala da laboratorio a partire da batterie LFP (Litio ferro fosfato) esauste. Il pre-trattamento meccanico e manuale verrà condotto in modo alternativo alla semplice triturazione. - Definizione di un processo in scala laboratorio e ipotesi preliminare di impianto dimostrativo. <p>Particolare cura verrà data agli aspetti di pre-trattamento ed apertura con la collaborazione dell'Università di Roma.</p>
d. Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati		
d.1 Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali		
	<p>L'ENEA ha continuato a rappresentare l'Italia in diverse collaborazioni internazionali con il coinvolgimento in diversi gruppi di lavoro e di scambio di esperienze nel campo dell'accumulo e delle sue applicazioni, quali l'IEA, COST, EERA ed enti normatori (ISO, IEC, CEN, CENELEC).</p>	<p>L'ENEA proseguirà la partecipazione alle diverse collaborazioni internazionali, quali quelle in EERA (European Energy Research Alliance) ed in vari Accordi dell'AEI (Agenzia Internazionale dell'Energia), di interesse dei Ministeri competenti e dell'industria nazionale nel suo complesso.</p>
d.2 Comunicazione e diffusione dei risultati		
	<p>Sono state utilizzate numerose occasioni di diffusione e scambio delle informazioni tramite presentazioni a convegni e pubblicazioni in riviste con peer review.</p>	<p>Le attività di diffusione terranno conto del Progetto Europeo Horizon 2020, con diversi contributi alla redazione dei documenti di pianificazione e di sviluppo, organizzando un workshop specifico sul tema dell'accumulo per reti elettriche.</p>

AREA	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
Tema di Ricerca	STUDI E SPERIMENTAZIONI SUI POTENZIALI SVILUPPI DELLE ENERGIE RINNOVABILI - ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSE
Progetto B.1.1	SVILUPPO DI SISTEMI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSE E L'UPGRADING DEI BIOCOMBUSTIBILI

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

La produzione di energia elettrica da biomasse non destinate ad uso alimentare, costituite in gran parte da residui e reflui di produzioni agricole, allevamenti zootecnici, lavorazioni agroindustriali e dalla frazione organica dei rifiuti urbani disponibili nell'ambito "locale", può essere effettuata in impianti di taglia media e piccola, mediante la digestione anaerobica (DA) delle biomasse fermentescibili per la produzione di biogas, mentre per quelle lignocellulosiche si può utilizzare la gassificazione per ottenere il cosiddetto syngas o la combustione diretta.

Sia il biogas che il syngas 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, usati per alimentare sistemi cogenerativi delocalizzati, sulla base delle effettive esigenze energetiche delle utenze finali.

Questo richiede da un lato l'ottimizzazione dei processi di conversione della biomassa in biocombustibili gassosi, 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 e di minimizzare le emissioni nocive per la salute e per l'ambiente, e di disporre di impianti affidabili e di facile gestione.

L'attività proposta per il triennio 2012-2014 prevede la sperimentazione di processi e tecnologie su dispositivi e impianti pilota, sviluppati nell'ambito delle precedenti annualità della Ricerca di Sistema, per la produzione e purificazione di biogas e syngas, ed il trattamento dei fumi di combustione delle biomasse lignocellulosiche, in modo da ottenere una serie di "prodotti" di un reale interesse applicativo.

L'ottimizzazione dei sistemi di produzione verrà perseguita mediante lo studio e lo sviluppo di processi che consentono di ampliare la tipologia di biomasse utilizzabili. In particolare, proseguiranno le attività relative alla:

1. produzione di biogas da biomasse lignocellulosiche e chitinose con la sperimentazione in laboratorio dell'idrolisi con funghi anaerobici ruminanti e batteri isolati precedentemente;
2. produzione di microalghe, aumentando la capacità dei sistemi di coltura basati sull'uso di nutrienti presenti nel digestato liquido prodotto dall'impianto di digestione anaerobica, con conseguenti test di producibilità di biogas;
3. sperimentazione in impianto pilota di processi di gassificazione con acqua in condizioni supercritiche di particolari tipologie di biomasse ad elevato tenore di umidità (digestato, biomassa algale, fanghi di depurazione, ecc.).

Il tema della produzione di biometano di qualità adatta all'immissione in rete verrà affrontato approfondendo lo studio e lo sviluppo dei processi di eliminazione dei contaminanti presenti nel biogas o nel syngas e di rimozione della CO₂ (fuel upgrading), sia dal punto di vista quantitativo che della selettività. In particolare, saranno approfonditi gli studi e continuate le sperimentazioni avviate nel corso degli anni precedenti sui processi che hanno prodotto risultati incoraggianti, quali i sistemi di separazione selettiva della CO₂ basati sull'utilizzo di ammine in soluzione organica con rigenerazione a bassa temperatura ed i processi di rimozione della CO₂ tramite formazione/dissociazione selettiva di gas idrati. Si affronteranno, di conseguenza, le problematiche aperte per la separazione della CO₂, con l'obiettivo di realizzare sistemi efficienti ed efficaci, anche per quantità di gas da trattare relativamente basse, anche in riferimento alla purificazione del biogas dall'H₂S con due processi, il primo biologico, basato sulla fotosintesi anossigenica, operante ad umido ed a temperatura ambiente, l'altro di tipo chimico-fisico "a secco", con l'utilizzo di nuovi catalizzatori ad ossidi metallici a temperature intorno ai 100 °C.

Analogamente, il processo di produzione di gas naturale di sintesi (BIOSNG) ottenuto dalla gassificazione di biomasse lignocellulosiche (syngas) sarà implementato utilizzando un impianto pilota di piccola taglia, in grado di operare sia in condizioni isoterme che adiabatiche, in modo da studiare la fluidodinamica del processo di metanazione e le prestazioni dei relativi catalizzatori in condizioni simili a quelle di un impianto industriale.

Proseguiranno le attività avviate nel corso della precedente annualità finalizzate alla ricerca e sviluppo di sistemi cogenerativi innovativi di piccola-media taglia a maggior efficienza energetica con lo studio di caldaie a sali fusi ad alta temperatura e di nuovi dispositivi catalitici per la riduzione del particolato fine e degli inquinanti organici presenti nei fumi.

Oltre alle attività sopra descritte, quest'anno, facendo seguito a quanto previsto dall'Accordo MSE/RAS/ENEA/Sotacarbo, si effettueranno attività di sviluppo di tecnologie innovative per la co-gassificazione di biomasse e carbone, utilizzando in parte l'impianto di gassificazione up-draft della Sotacarbo, con ENEA che, oltre a collaborare con Sotacarbo per le modifiche necessarie per utilizzare biomassa e la definizione delle condizioni operative migliori per la co-gassificazione, continuerà ad approfondire gli studi sulla purificazione del syngas dai TAR.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

I processi di DA e le successive fasi di clean up e upgrading del biogas sono oggetto di crescente attenzione per i vantaggi che una loro più ampia diffusione potrebbe presentare come soluzione integrativa per incrementare il reddito derivante dalle attività del settore imprenditoriale agricolo ed agroindustriale e per il contributo al raggiungimento degli obiettivi sull'impiego delle fonti rinnovabili, la diminuzione delle emissioni dei gas climalteranti e della dipendenza dai combustibili fossili. In questa direzione vanno le attività di ricerca e sviluppo nel campo della microbiologia per lo studio di sistemi di DA ottimizzati in termini di resa di biogas, presenza di inquinanti, utilizzo di nuove possibili miscele in co-digestione.

La presenza di contaminanti è critica sia per l'immissione in rete che per l'utilizzo del biogas in sistemi di cogenerazione, per cui vengono studiate metodologie innovative che inibiscono la formazione di acido solfidrico e metodi di abbattimento chimico-fisico o biologici, senza effetti negativi sulla concentrazione di metano.

Per quanto riguarda la produzione di syngas, il quadro si differenzia notevolmente passando dal processo che utilizza acqua supercritica, che è a livello di prove sperimentali di verifica a scala banco, ai sistemi di gassificazione "a secco", finalizzati alla produzione di syngas ricchi in metano (bio-SNG), in grado di definire operatività e performance con sistemi ingegnerizzati di diversa taglia e tipologia.

Le tecnologie basate sulla combustione delle biomasse presentano ancora problemi da risolvere, 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, agendo sia sui sistemi di combustione che su nuovi dispositivi di abbattimento.

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, 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 di biogas connessi alla rete nazionale di distribuzione dell'energia elettrica erano oltre 1.600 a fine 2013, con una potenza efficiente lorda totale di circa 1.400 MWe, di cui per il solo settore agro-zootecnico un totale di circa 1.300 impianti, per una potenza installata di circa 850 MWe. Per quel che riguarda la produzione di energia elettrica da biomasse solide, esclusi i rifiuti solidi urbani, a fine 2013 erano in funzione oltre 220 impianti, per una potenza installata pari a circa 650 MWe (TERNA, Dati statistici 2013).

E' indubbio che, soprattutto nel settore della digestione anaerobica e per la presenza di operatori esteri, l'industria sia in grado di offrire tecnologie e prodotti maturi ed affidabili; tuttavia è altrettanto evidente la necessità di sostenere e sviluppare la ricerca in questo campo perché sono tante le sfide e le peculiarità da affrontare, in particolare in Italia, sia per quanto riguarda le tipologie e le potenzialità delle biomasse

alimentabili, sia per le problematiche economiche e gestionali legate alle dimensioni degli impianti di cui si vuole favorire la diffusione.

Tenendo conto delle particolari caratteristiche del sistema produttivo italiano, la tipologia più richiesta è quella di impianti di piccola-media taglia ad alta resa energetica, sia per la digestione anaerobica che per la gassificazione, presente con una tecnologia ancora non sufficientemente matura sia per i sistemi di piccola-media taglia che per quelli di maggiori dimensioni.

Le tecnologie basate sulla combustione delle biomasse presentano ancora problemi da risolvere, 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 quanto riguarda le caldaie a sali fusi, sono noti alcuni sistemi di questo tipo applicati in settori di nicchia dell'industria chimica. Non sono invece note attività di ricerca riguardanti combustori a biomassa con caldaie a sali fusi, né sui relativi sistemi di conversione, soprattutto in una fascia di potenza compatibile con la generazione elettrica distribuita.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale dell'attività è la messa a punto e la dimostrazione su scala pilota 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, si studieranno 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, ottimizzando i processi di combustione ed individuando nuovi sistemi di abbattimento basati su processi di rimozione catalitici.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Le attività svolte dal CNR hanno riguardato l'utilizzo di biocombustibili in impianti di cogenerazione basati su microturbine, concentrandosi sugli aspetti legati alle prestazioni ed alle emissioni, sullo sviluppo di catalizzatori e di combustione catalitica di biocombustibili e sullo screening esplorativo di biocombustibili di terza generazione da biomassa algale. Nel POA 2014 non è prevista alcuna attività del CNR su queste o altre tematiche connesse con le biomasse.

Le attività condotte da RSE sono finalizzate all'analisi tecnico-economica dei sistemi relativi alla catena "Waste to Energy", rivolta in particolare al monitoraggio e controllo delle emissioni e della corrosione dei materiali utilizzati negli impianti, e non si evidenziano punti di contatto, mentre saranno approfondite le possibili collaborazioni sul tema del biogas.

Non esistono quindi sovrapposizioni per le attività proposte da parte di ENEA.

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

I processi e le tecnologie che saranno sviluppati e messi a punto riguarderanno i sistemi di piccola e media taglia per la generazione distribuita di elettricità con la maggiore possibilità di valorizzare il calore disponibile sia per il riscaldamento degli ambienti e altri usi termici, che per la produzione di freddo.

Le attività previste hanno la finalità generale 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.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione degli obiettivi

PARTE A: ATTIVITÀ ENEA

Le attività che si prevede di svolgere nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2014 sono articolate su diverse linee di ricerca ed una linea specifica relativa alla comunicazione e diffusione dei risultati delle attività svolte, al supporto ai Ministeri ed alle PA ed alla partecipazione a gruppi di lavoro e organismi internazionali.

a. Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili

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

Nell'ambito di questa linea di attività si continuerà la sperimentazione dell'idrolisi di substrati lignocellulosici e/o ad alto contenuto in chitina (quali i residui dalla lavorazione dei crostacei), con l'impiego di funghi anaerobici ruminali e batteri isolati nel corso delle annualità precedenti, allo scopo di individuare e/o verificare i parametri di processo da utilizzare per la definizione delle caratteristiche dimensionali e modalità operative di un modulo impiantistico di pretrattamento biologico che aumenti l'efficienza idrolitica del processo di DA. Inoltre si valuterà la possibilità di utilizzare nei processi di digestione anaerobica come unico substrato le acque di vegetazione, caratterizzate da un pH acido (4,5-5,9) ed elevato contenuto di polifenoli, composti tossici e con proprietà battericide che inibisce il processo di DA. Nello specifico, si intende verificare se l'autofermentazione dell'acqua di vegetazione possa essere utilizzata come un pretrattamento che ne consenta l'utilizzo in elevate percentuali negli impianti di digestione anaerobica, e valutare la produzione di metano dell'acqua di vegetazione non diluita in un processo a doppio stadio. Saranno inoltre effettuate prove di biometanazione e di digestione anaerobica di biomassa microalgale. Parallelamente, proseguiranno le attività sperimentali sui processi a doppio stadio basati sulla separazione della fase di idrolisi/acidogenesi, con produzione di idrogeno, da quella di metanogenesi, per incrementare le rese di conversione in metano.

Per lo svolgimento di questa attività si utilizzerà l'impianto pilota in scala laboratorio già disponibile, in grado di operare in modo continuo. I risultati saranno utilizzati per la progettazione di un modulo per l'idrolisi e l'acidogenesi della biomassa da fermentare, da inserire a monte del digestore DMM6000.

E' prevista da parte dell'Università della Tuscia lo studio sul processo fermentativo anaerobico di materiali ad alto contenuto in chitina e di acque di vegetazione tal quali, mentre L'Università di Napoli "Federico II" collaborerà alla realizzazione e monitoraggio delle prove di fermentazione di paglie di cereali e substrato esausto di fungaie, utilizzando come inoculi specifici ceppi di funghi anaerobi, un pool batterico fermentante e deiezioni animali, e svilupperà un modello matematico riguardante la cinetica della digestione anaerobica di materiale lignocellulosico, in particolare con sistemi a secco.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati delle prove sperimentali sui processi anaerobici su substrati ad alto contenuto in chitina ed acque di vegetazione (UniTUS)
- Rapporto tecnico sulle attività sperimentali sui processi fermentativi anaerobici di paglie e substrati di fungaie (UniNA)
- Rapporto tecnico sui risultati della sperimentazione per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano
- Progetto di un modulo per la realizzazione del primo stadio del processo fermentativo da inserire a monte del digestore DMM6000

Principali collaborazioni: Università della Tuscia, Università di Napoli

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2 Sistemi per la produzione di microalghe a valle del processo di DA

Questa attività ha l'obiettivo di valutare la fattibilità tecnico-economica della produzione di biomassa fitoplanctonica da utilizzare per l'alimentazione di impianti di DA.

Si continuerà la sperimentazione con prove colturali di nuovi ceppi di microalghe sia in bioreattori di laboratorio che in vasche aperte, per determinarne la produttività di biomassa algale, migliorando anche il sistema di agitazione/circolazione della coltura. Saranno effettuate valutazioni della produzione di metano in termini di ml CH₄/g VS, del costo di produzione della biomassa microalgale e della fattibilità tecnico-economica dell'impegno del digestato liquido come fonte di nutrienti per la crescita delle microalghe.

Si valuterà anche il beneficio derivante dall'immissione multipla di digestato liquido e con somministrazione di CO₂ in modalità controllata, per mantenere il livello dei nutrienti a valori ottimali e accelerare la crescita delle microalghe.

Per le suddette attività ci si avvarrà della collaborazione con la Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Chimica, già coinvolto in passato a supporto delle attività di caratterizzazione dei mezzi di coltura e della biomassa microalgale.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle modalità operative dei sistemi per la produzione di microalghe, con valutazioni economiche sulla produzione del biogas
- Rapporto sulle attività di caratterizzazione delle colture algali (UniRM1)

Principali collaborazioni: Sapienza Università di Roma

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.3 Gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW)

Obiettivo di questa attività è l'ottimizzazione del processo di gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW) di biomasse ad elevato contenuto idrico per la produzione di un syngas con caratteristiche chimico-fisiche tali da renderlo idoneo per applicazioni energetiche.

La sperimentazione verrà effettuata sull'impianto *bench scale* da circa 500 mL installato nel Centro ENEA della Trisaia, utilizzando come matrici le biomasse provenienti da colture di microalghe e digestato liquido da impianti di produzione del biogas, con cui è possibile la conversione della materia organica in miscele H₂/CH₄ con un potere calorifico nettamente superiore a quelle ottenibili dai processi tradizionali di gassificazione, grazie all'elevata solubilità della CO₂ in acqua supercritica. A questo si aggiunge che il syngas prodotto dal processo SCWG, grazie alla polarità dell'acqua che funge da solvente, non presenta contenuti in tar. La sperimentazione sarà condotta sull'impianto pilota al fine di individuare i seguenti parametri di processo: rapporto di produzione (RdP), efficienza globale di gassificazione (GGE), efficienza elementare di gassificazione (EGE), resa potenziale di idrogeno (HYP) e resa percentuale di carbonio nella fase liquida (CLY). Sarà inoltre valutato l'effetto del tempo di residenza per le singole specie, a condizioni termodinamiche fissate (T = 550 °C e P = 25 MPa) al fine di ottenere informazioni utili per il dimensionamento e lo scale up. Tra le condizioni operative necessarie per il trattamento SWC, verranno individuate quelle che consentono la produzione di gas di sintesi a più elevato contenuto in metano, effettuando test di metanazione direttamente in linea alla pressione massima compatibile con le condizioni di esercizio e con il contenuto organico. Per le reazioni di reforming saranno utilizzati catalizzatori commerciali Ni/Al, comunemente usati nell'industria di processo, opportunamente modificati per le diverse condizioni operative. Inoltre si effettuerà una comparazione tra i dati sperimentali con quelli ottenuti con le simulazioni effettuate con il modello matematico sviluppato nelle precedenti annualità. A conclusione dell'attività, sulla scorta dei risultati ottenuti, sarà svolto un ulteriore lavoro di modellazione di un ciclo a vapore con acqua in condizioni supercritiche, il cui scopo sarà la valutazione delle potenzialità di un processo integrato per i fini energetici. L'Università della Calabria continuerà a svolgere le attività di preparazione dei catalizzatori e le caratterizzazioni volte a valutare la loro stabilità chimica e meccanica durante il processo, individuare fenomeni irreversibili e non per poter operare la rigenerazione del substrato catalitico e, infine, collaborerà all'implementazione del modello matematico del processo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto contenente i risultati delle prove sperimentali di gassificazione condotte con acqua in condizioni supercritiche di specie micro algali o digestato liquido
- Rapporto tecnico sui test di conversione catalitica condotti in condizioni supercritiche e la caratterizzazione chimico-fisica dei catalizzatori (UniCAL)

Principali collaborazioni: Università della Calabria

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b. Sviluppo di sistemi di upgrading di biocombustibili e riduzione dell'impatto ambientale

b.1 Processi chimico-fisici o biologici innovativi per l'abbattimento dell'acido solfidrico presente nel biogas

Sulla base dei risultati ottenuti nella precedente annualità sul trattamento chimico-fisico del biogas, è stato dimostrato sperimentalmente che con catalizzatori a base di V_2O_5/CeO_2 è possibile ossidare in modo selettivo l' H_2S , con conversioni superiori al 98% a 80 °C a partire da una concentrazione iniziale di H_2S di 500 ppm, allungando i tempi di contatto da 40 a 240 ms, con una buona stabilità del catalizzatore fino a 20 ore di prova. Per tempi più lunghi si è osservata una tendenza ad una graduale disattivazione, probabilmente legata alla condensazione dello zolfo nelle porosità del catalizzatore, dovuta alla bassa temperatura di reazione. Ciò rende comunque necessario prevedere dei cicli di riscaldamento a temperature superiori ai 120 °C per allontanare lo zolfo dalla superficie del catalizzatore, e relativi sistemi di recupero. Risultati deludenti, invece, sono stati ottenuti applicando la fotocatalisi per ottenere la rimozione dell' H_2S a temperature ancora più basse, per disattivazioni irreversibili dei catalizzatori, su cui si formavano solfati stabili difficilmente desorbibili.

Risultati positivi sono stati ottenuti dalla sperimentazione sull'abbattimento biologico dell' H_2S mediante fotosintesi anossigenica, dimostrando la fattibilità del processo in continuo su scala di laboratorio, a temperatura ambiente in un fotobioreattore inserito in un illuminatore multispettrale, dotato di LED monocromatici. Il processo ha raggiunto efficienze medie del 95%, con consumi energetici estremamente ridotti ed è, in prospettiva, facilmente scalabile e gestibile in tutte le sue fasi.

Infine, i test eseguiti con diversi carboni attivi hanno confermato che le capacità dei carboni provati sono influenzate negativamente dall'umidità del biogas: in sostanza, l' H_2S viene regolarmente rimosso, ma il dispositivo di abbattimento si satura rapidamente. Di conseguenza, anche sulla base delle indicazioni fatte in sede di verifica finale del precedente PAR da parte della Commissione, nella presente annualità si continuerà l'attività di sviluppo e di validazione da parte dell'Università di Salerno delle tecnologie dei processi a secco sull'abbattimento catalitico dell' H_2S , basati sull'utilizzo degli ossidi metallici a temperature intorno ai 100 °C, ed a verificare la loro capacità di trattare gli off-gas praticamente privi di ossigeno e ricchi in CO_2 , con una maggiore concentrazione di H_2S rispetto al biogas trattato, e contenenti ancora quantità di CH_4 che, pur limitate, non consentono lo scarico diretto in atmosfera.

Inoltre si punterà allo sviluppo del processo di fotossidazione biologica dell' H_2S in soluzione acquosa a temperatura ambiente, seguito da una fase di deumidificazione della corrente del biogas uscente e da un affinamento con i carboni attivi funzionalizzati con ossidi di Cr e Fe già testati nelle precedenti annualità, mediante ulteriori test di laboratorio e la sperimentazione pilota su un apposito circuito che verrà realizzato a valle del digestore pilota DMM6000. Tale processo offre interessanti prospettive in quanto opera senza che sia necessario effettuare riscaldamenti dei flussi, non richiede immissioni di aria come i processi di rimozione biologica aerobici, ed il gas depurato può essere inviato alla deumidificazione per raffreddamento senza alcun aggravio energetico ed economico, a differenza di altre metodologie di depurazione. Il suddetto circuito, oltre al fotobioreattore, sarà costituito da una soffiante, una sezione di deumidificazione ed una sezione di affinaggio a carboni attivi. Il biogas trattato, opportunamente caratterizzato, potrà essere utilizzato per la successiva fase di upgrading.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati delle prove di rimozione dell' H_2S mediante il processo catalitici a secco con ossidi metallici

- Rapporto tecnico sui risultati delle prove di laboratorio di abbattimento dell'H₂S mediante il processo di fotosintesi anossigenica
- Rapporto tecnico sulle prove di clean-up del biogas con il circuito sperimentale a valle del DMM6000

Principali collaborazioni: Università di Salerno

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b.2 Nuovi sistemi per la rimozione selettiva della CO₂ dal biogas basati sull'impiego di ammine in fase organica e sulla formazione/dissociazione selettiva di gas idrati

Le attività svolte nel precedente PAR sulla rimozione selettiva della CO₂ dal biogas, basata su sistemi di separazione con le ammine in solvente organico, hanno permesso di valutare la capacità di assorbimento della CO₂, con un loading (moli di CO₂ assorbita/mole di ammina) tra il 50 e l'85%, la cinetica di assorbimento e le modalità di un'efficace rigenerazione, realizzata mediante stripping con azoto a temperatura di 70-90 °C. Sulla base dei risultati ottenuti è stato proposto uno schema di un processo di upgrading basato sull'assorbimento della CO₂ con AMP in soluzioni di glicol etilenico e propanolo, in modo da ottenere un gas con un contenuto di metano superiore al 97%, con un recupero del metano superiore al 98%. Nella presente annualità si procederà a validare ed ottimizzare il processo in modo da raggiungere performance superiori e di riduzione dei consumi energetici e dei costi complessivi, sia continuando le prove a livello di laboratorio con biogas simulati che avviando una sperimentazione con biogas reale su un sistema progettato ad hoc nella precedente annualità ed installato a valle del sistema di deumidificazione indicato nel punto b.1. Il sistema avrà una capacità di trattamento di circa 100 NL/h di biogas ed avrà un funzionamento semicontinuo, e sarà costituito da due reattori in parallelo, operanti alternativamente in assorbimento e rigenerazione. I dati acquisiti con la sperimentazione descritta consentiranno di effettuare il dimensionamento ed una prima valutazione tecnico-economica di un impianto in scala industriale. L'attività di ricerca sperimentale con biogas prima simulato e poi reale verrà condotta in collaborazione tra ENEA e Sapienza Università di Roma, presso i laboratori del Centro Ricerche ENEA della Casaccia. I dati sperimentali ottenuti saranno utilizzati dall'Università di Roma (DICMA) per le attività di modellistica e valutazioni tecnico-economiche.

Per quel che riguarda le attività sulla formazione/dissociazione di gas idrati, le prove sperimentali effettuate presso l'Università di Chieti in un reattore di scala superiore a quelli usati nella precedente annualità dalla RDPOWER S.r.l. hanno confermato i risultati ottenuti con reattori di taglia minore. E' stato inoltre evidenziato come la presenza di H₂S non influenzi la termodinamica del sistema, mentre ha un ruolo di promotore sulle cinetiche di formazione. Si è riuscito ad abbassare notevolmente le pressioni necessarie, ottimizzando i sistemi di controllo e di agitazione con l'uso di specifici promotori, per cui dagli 80 bar utilizzati nelle attività precedenti si è arrivati ad operare a 40 bar, con un possibile ulteriore abbassamento fino a 20-30 bar ottenuto con l'azione combinata dell'H₂S.

I test effettuati consentono di ipotizzare un uso del processo di formazione dei gas idrati come fase preliminare del trattamento del biogas in sostituzione dei processi di clean-up, in quanto in grado di eliminare l'H₂S e gli altri contaminanti organici presenti ed ottenere un primo parziale aumento della concentrazione del CH₄ nel biogas, per facilitare il successivo step finale di upgrading a biometano con metodi convenzionali o innovativi, quale quello con l'AMP in soluzione organica sopra descritto.

Questi risultati dovranno essere confermati da un numero adeguato di prove sperimentali effettuate sugli stessi apparati usati negli anni precedenti. Inoltre si cercherà di ottenere ulteriori miglioramenti del processo con nuove attività sperimentali mirate a:

- aumentare la conversione di acqua in idrato durante la formazione, al fine di ridurre ulteriormente la pressione di fine formazione e di conseguenza aumentare sensibilmente la resa;
- migliorare la reologia della fase idrato, in modo da ottenere una fase semisolido che permetta un migliore trasferimento di massa tra gas e idrato, con conseguente aumento della resa;
- diminuire le pressioni ed aumentare le temperature di lavoro.

Per ottenere i suddetti risultati, nel corso della presente annualità saranno testati nuovi promotori naturali (polifenoli, saponine, ecc.), estratti o contenuti in reflui quali le acque di vegetazione dell'industria olearia. Oltre ai suddetti promotori, verranno sviluppati e provati inibitori della formazione di uno dei due componenti della miscela di biogas, sfruttando le notevoli differenze delle proprietà di polarità e localizzazione elettronica del CH₄ e della CO₂, al fine di migliorare la selettività della separazione. Inoltre si

procederà con:

1. la determinazione delle condizioni ottimali per la separazione e conseguente esecuzione di più cicli.
2. la definizione di un modello previsionale per le purificazioni ottenibili con miscele di CH_4 , CO_2 e H_2S .

Le attività sopra elencate verranno eseguite dal Dipartimento di Farmacia dell'Università degli Studi di Chieti, che si avvarrà ancora della collaborazione con la RDPOWER S.r.l., entrambe coinvolte nella precedente annualità nella ricerca dei parametri di processo e dei promotori chimici per la formazione dei gas idrati.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto finale sugli approfondimenti della sperimentazione sul comportamento della CO_2 sia in gas simulati che con biogas reali nelle soluzioni amminiche, la cinetica di assorbimento/desorbimento, alle condizioni operative, la valutazione tecnica, energetica ed economica.
- Rapporto tecnico contenente i risultati della sperimentazione dei processi di rimozione della CO_2 dal biogas mediante l'impiego di ammine in fase organica su l'impianto pilota. (UniRoma1 DICMA).
- Rapporto tecnico contenente i risultati della sperimentazione svolte per individuare le sostanze condizionanti più efficaci, le condizioni operative ottimali ed i parametri cinetici dei processi innovativi di rimozione della CO_2 dal biogas mediante la formazione/dissociazione selettiva di gas idrati (UniCH)

Principali collaborazioni: Sapienza Università di Roma, Università di Chieti

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b.3 Ottimizzazione del processo di produzione di biometano a partire da syngas sull'impianto pilota di metanazione BIOSNG

Nei processi di gassificazione della biomassa il gas prodotto presenta rapporti H_2/CO inferiori a quelli indicati dalla stechiometria della reazione di metanazione (3:1). A seconda della tecnologia di gassificazione adottata e dalle condizioni di processo, il gas prodotto dalla gassificazione di biomassa raggiunge al più un rapporto H_2/CO pari a 2. Per l'aggiustamento della composizione del gas di gassificazione, si è considerato il processo "a secco" di simultanea promozione della reazione di *shift* d'acqua (WGS) e rimozione della CO_2 attraverso l'uso di sorbenti di SEWGS (Sorption Enhanced Water Gas Shift). Le prove effettuate nella precedente annualità erano finalizzate ad individuare i sorbenti con le prestazioni migliori, scegliendo l'idrotalcitico (Mg/Al) Pural MG70 attivato con K_2CO_3 come materiale più promettente per l'impiego a 400 °C, mentre per impieghi alla temperatura di 600 °C, i migliori risultati sono stati ottenuti con due materiali di sintesi contenenti anche Ca.

In riferimento all'attività di conversione del syngas in CH_4 sono stati sviluppati catalizzatori di metanazione, prestando particolare attenzione alla disattivazione da formazione di depositi carboniosi, agendo sul rapporto acido/base della matrice. A tal fine sono stati preparati, e caratterizzati con test di metanazione con gas simulanti il syngas, catalizzatori con lo stesso contenuto in Ni ed il rapporto Mg/Al variabile, in modo da poter verificare l'effetto dell'abbondanza relativa dei siti basici (MgO) rispetto ai siti acidi presenti nello spinello (MgAl_2O_4) sulle prestazioni dei materiali, in termini di attività catalitica e di stabilità.

Partendo dai risultati sopra richiamati sullo sviluppo di sorbenti SEWGS per l'upgrading del syngas e sui catalizzatori di metanazione, si intende condurre nella presente annualità una sperimentazione finalizzata alla conversione di syngas reale in SNG. A tal fine la sperimentazione verrà articolata secondo un approccio integrato in cui i principali stadi di riferimento saranno: la gassificazione di biomassa residuale, la composizione del gas prodotto e la conversione in metano. Il syngas reale di riferimento sarà quello prodotto da un impianto prototipale di gassificazione a letto fluidizzato ricircolante, ossigeno/vapore, caratterizzato all'uscita delle sezioni di purificazione dell'impianto rispetto alla composizione di gas permanenti e contaminanti organici (tar) ed inorganici (particolato e gassosi).

Poiché la reazione di metanazione beneficia dell'impiego di una corrente di gas in pressione, verranno condotti i test su syngas compresso a valori di pressione nell'intervallo 20-30 bar. A tal fine, la postazione sperimentale BIOSNG verrà implementata con un sistema di compressione completo di accessori per il controllo di pressione e portata gas di alimentazione. La postazione verrà inoltre integrata con una sezione per la cattura di CO_2 da corrente di processo ad alta pressione e temperatura. Per consentire l'impiego dei materiali sviluppati con tale gas, i sorbenti SEWGS ed i catalizzatori di metanazione verranno utilizzati in

pellet granulari appositamente preparati. Le prove con i suddetti sorbenti e catalizzatori saranno effettuate per esaminare i loro effetti sulla conversione in metano di parametri di processo, quali temperatura, velocità del gas e contenuto di umidità.

Le attività verranno svolte continuando la collaborazione avviata con le università di L'Aquila (UnivAQ) e di Bologna (UniBO). In particolare, in riferimento ai sorbenti di SEWGS, UnivAQ produrrà nuovi quantitativi dei sorbenti risultati più promettenti nella scorsa annualità, preparati in pellet granulari e testati presso i propri laboratori, che saranno forniti all'ENEA per la sperimentazione con il gas 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, pre e post test (SEM-EDX, XRF, XRD, FTIR, TGA-DTA, BET-BJH).

Analogamente, in relazione alla conversione del syngas in metano, presso i laboratori di UniBO verranno preparati quantitativi adeguati per la sperimentazione dei catalizzatori di metanazione del tipo Ni/Mg/Al in un rapporto ottimizzato. Come per i sorbenti, anche nel caso dei catalizzatori di metanazione, per avere una più completa descrizione del processo e del comportamento dei materiali sperimentali, su tutti i catalizzatori testati, saranno condotte le necessarie caratterizzazioni, chimiche e morfologiche, pre e post test (granulometria, porosimetria, SEM/EDX, analisi in temperatura programmata TPR/TPO, XRD, spettrometria Raman con microscopia).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico inerente i risultati sperimentali ottenuti dall'upgrading del syngas attraverso le reazioni di WGS e metanazione mediante l'utilizzo dell'impianto BIOSNG
- Rapporto tecnico sulla caratterizzazione pre e post test dei sorbenti (UnivAQ)
- Rapporto tecnico sulla caratterizzazione pre e post test dei catalizzatori di metanazione (UniBO)

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Università dell'Aquila

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. Sviluppo di sistemi di produzione dell'energia elettrica e cogenerativi e riduzione dell'impatto ambientale

c.1 Caratterizzazione termo-fluidodinamica di miscele di sali fusi in funzione del loro utilizzo come vettori termici in caldaie innovative a biomasse e sviluppo di un modello per la valutazione energetica ed economica dei sistemi cogenerativi

L'attività svolta nel PAR 2013 ha permesso di verificare e completare i dati termofisici riguardanti l'effettiva temperatura limite superiore di utilizzo e la viscosità vicino al punto di congelamento, di tre miscele ternarie di sali dove, oltre ai nitrati alcalini, la prima conteneva calcio nitrato, la seconda nitrito di sodio (prodotto commerciale denominato HITECH[®]) e la terza nitrato di litio. Si è potuto constatare che la presenza di nitrato di calcio in una miscela di nitrati alcalini produce effetti negativi sulla soglia di stabilità termica ed un effetto negativo sull'aumento della viscosità per temperature inferiori a 160 °C, mentre la diminuzione del punto di congelamento conseguente all'aggiunta di nitrato di litio rappresenta comunque un risultato interessante per un possibile utilizzo delle miscele quaternarie risultanti come mezzi di accumulo termico.

Le attività previste nella presente annualità riguarderanno lo studio della stabilità delle due miscele ternarie contenenti rispettivamente nitrato di calcio e nitrato di litio, mentre verranno completate le prove di corrosione di materiali in sali fusi, eseguite su provini di acciai ferritici ed austenitici in miscele di nitrati NaLiK per 4000 ore a 550 °C e a 590 °C. Su questi provini verranno eseguite misure di variazione di massa a seguito dell'esposizione ai sali, analisi di microscopia elettronica a scansione e microanalisi delle sezioni di materiali, al fine di individuare il rateo di corrosione ed eventuali fenomeni quali pitting o le corrosioni intergranulari.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla caratterizzazione delle miscele di sali fusi
- Rapporto tecnico sulle prove di corrosione delle miscele di sali fusi sugli acciai

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c.2 Sviluppo di un modello per la valutazione energetica ed economica dei sistemi cogenerativi

Inoltre, sarà implementato lo strumento di calcolo per l'analisi dei sistemi energetici alimentati a biomassa, realizzato nelle precedenti annualità, che permette di calcolare le variabili di funzionamento (potenze, efficienze, temperature, portate, composizione dei fumi, ecc.) sia in condizioni di progetto sia a carichi parziali. In particolare, si intende sviluppare ulteriormente l'attuale versione del codice di calcolo, dando priorità alla creazione di nuove librerie di fluidi termovettori ed alla creazione di nuove subroutine per l'analisi di assetti cogenerativi per il miglioramento delle prestazioni del sistema, con e senza il contributo dei preriscaldatori dell'aria di combustione. Inoltre, si analizzerà l'influenza di diverse condizioni operative della caldaia sulle prestazioni dell'impianto di cogenerazione. Si procederà quindi alla validazione del codice, sulla base di dati di esercizio reali di impianti ORC. Un ulteriore sviluppo consiste nella implementazione di un'interfaccia grafica user-friendly dello strumento di calcolo, e nel trasferimento dell'applicativo su piattaforma WEB, in modo tale da rendere lo strumento liberamente fruibile al pubblico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sull'implementazione del codice di calcolo per l'analisi dei sistemi energetici

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c.3 Sistemi di filtrazione ceramici per la rimozione del particolato fine (< 10 micron) nelle emissioni gassose

Nel corso della precedente annualità sono stati effettuati test per lo studio, la valutazione e il confronto di differenti filtri ceramici di abbattimento delle emissioni prodotte dalla combustione di biomassa solida. La sperimentazione è stata effettuata su prototipi in scala di laboratorio di filtri catalitici tipo *wall flow* su supporto di SiC, esaminando il loro comportamento con i fumi di combustione di una caldaia alimentata a pellet di legno. Le attività sperimentali finora condotte hanno dimostrato una elevata efficienza di abbattimento del particolato ad opera dei filtri catalitici in carburo di silicio e ferrite di rame. Un aspetto critico è costituito dalla necessità di rigenerare tali filtri in modo da assicurare una soddisfacente vita operativa. Nello specifico, nelle precedenti annualità sono state indagate le caratteristiche principali dei materiali filtranti (porosità, percentuale di catalizzatore, temperatura di attivazione) e le conseguenti modalità di funzionamento dei filtri (perdite di carico, velocità superficiale dei fumi, temperature di esercizio). Nella presente annualità, oltre a testare filtri con un maggior livello di porosità, si propone di investigare sperimentalmente la rigenerazione dei filtri tramite un sistema di riscaldamento a microonde. La ferrite di rame, infatti, funge da antenna per le microonde, che, come noto, sono una soluzione tecnologica di riscaldamento particolarmente efficiente. Nello specifico, le attività prevedono la progettazione e l'allestimento di una nuova linea di derivazione fumi dedicata, con integrato il sistema di rigenerazione a microonde. Si provvederà quindi allo svolgimento di prove sperimentali per la verifica della durata e dell'efficienza di rigenerazione dei filtri e dell'efficacia di rigenerazione in funzione del tempo, oltre a valutare il comportamento dei supporti ceramici durante la rigenerazione. Sarà inoltre valutata l'efficacia di abbattimento di specifici inquinanti (particolato fine e monossido di carbonio) durante le condizioni di esercizio e durante la rigenerazione. Per quanto riguarda il particolato, si provvederà anche alla determinazione dei profili di emissione del particolato durante la rigenerazione.

L'Università di Salerno proseguirà le attività di studio, sviluppo, realizzazione e verifica sperimentale di filtri catalitici strutturati, approfondendo quanto già affrontato nelle precedenti annualità; con screening e la caratterizzazione dei supporti ceramici, 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 caratterizzazioni e sulle prestazioni dei dispositivi catalitici innovativi per la rimozione del particolato fine nelle emissioni gassose (UniSA)

Principali collaborazioni: Università di Salerno

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

d.1 Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali

Verranno svolte azioni di supporto tecnico-scientifico ai Ministeri per la definizione di un quadro nazionale di riferimento nel settore e proseguiranno le attività connesse con la presenza dell'ENEA sulle tematiche del presente progetto nella European Energy Research Alliance (EERA) e nell'Implementing Agreement dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) sulla Bioenergia, 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

L'ENEA organizzerà uno specifico workshop tematico sulle attività relative alla produzione di elettricità da biomasse svolte nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico e sui loro risultati. Nel corso dell'evento saranno illustrate anche le attività svolte durante le precedenti annualità della RdS e gli obiettivi di quelle in essere. Tutte le relazioni saranno sintetizzate e raccolte in un'apposita pubblicazione che sarà oggetto di diffusione tramite i canali ufficiali ed istituzionali dell'Agenzia, oltre ad essere inviata ai soggetti potenzialmente interessati. Le attività descritte nel PAR 2014 e svolte durante l'annualità, ed i relativi risultati, saranno inoltre 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. 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, sulle attività relative alla partecipazione a gruppi di lavoro internazionali in ambito EERA ed IEA Bioenergy Implementing Agreement
- Sintesi delle relazioni tenute in occasione del Workshop ENEA sulle attività relative alla produzione di elettricità da biomasse svolte nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

PARTE B: POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

E' prevista la prosecuzione delle attività sperimentali avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di trattamento del syngas prodotto, con cui si è potuto verificare la possibilità di utilizzare l'impianto di gassificazione up-draft, producendo un syngas con un buon potere calorifico e qualitativamente costante nel corso di tutta la sperimentazione. Tali indicazioni necessitano di ulteriori verifiche, che saranno effettuate con campagne sperimentali di lunga durata, previa realizzazione delle modifiche ed integrazioni impiantistiche individuate come necessarie nel corso delle sperimentazioni precedenti. Le attività saranno prevalentemente svolte presso Sotacarbo, con il supporto tecnico e scientifico dell'ENEA. L'obiettivo finale è lo sviluppo di tecnologie associate alla gassificazione delle biomasse per le quali è possibile utilizzare gli impianti di gassificazione del carbone.

Nel dettaglio, si procederà all'approfondimento dei processi di co-gassificazione delle biomasse finalizzati alla generazione elettrica, con particolare riferimento allo sviluppo di sistemi di misura/controllo e di componenti innovativi che assicurino un funzionamento stabile e continuo degli impianti. A tal fine si intende dar corso ad attività di caratterizzazione degli effluenti prodotti dagli impianti di gassificazione, con specifico riferimento allo sviluppo di nuovi componenti e metodi innovativi per la purificazione del syngas dal TAR.

In particolare, sarà necessario apportare modifiche e migliorie all'impianto di gassificazione costituito dal reattore a letto fisso up-draft da 5 MWt, presente presso il Centro Ricerche Sotacarbo, allo scopo di

renderlo adatto al funzionamento in continuo per la co-gassificazione delle biomasse (cippato di legna), per la produzione di un syngas utilizzabile anche per la generazione elettrica. In tale ambito sarà necessario ottimizzare i sistemi di analisi gas per determinare le concentrazioni di tar e polveri presenti nel syngas in modo da poter progettare una serie di modifiche per purificare il syngas dai principali contaminanti. Le attività si articoleranno in tre sottobiettivi.

a.1 Progetto e realizzazione delle modifiche dell’Impianto Dimostrativo SOTACARBO

Nell’ambito del presente task si prevede di apportare delle migliorie all’impianto dimostrativo per poter migliorare l’esercizio dell’impianto dimostrativo e ottimizzare la fase di sperimentazione. In particolare, in tale ambito si effettueranno le seguenti attività:

1. *Progettare, modificare ed ottimizzare il sistema di scarico delle ceneri.* Durante le attività di avviamento del gassificatore dimostrativo, avvenute nel precedente PAR, si sono riscontrati problemi alla griglia mobile di scarico delle ceneri. In particolare si è avuto lo sversamento di ceneri calde nell’alloggiamento dei cuscinetti della ralla con conseguente grippaggio del sistema di movimentazione della griglia. Pertanto si dovrà procedere alla riprogettazione del sistema con conseguente sostituzione e/o modifica di alcune parti della sezione di scarico delle ceneri.
2. *Modificare i sistemi di venting relativi al syngas.* L’obiettivo è quello di realizzare una linea addizionale di evacuazione syngas (vent) a valle del sistema di lavaggio (scrubber), per poter convogliare in atmosfera, in caso di malfunzionamento della torcia, un syngas meno impattante dal punto di vista ambientale rispetto alla situazione attuale che prevede un unico vent (che per ragioni di sicurezza è posizionato subito a valle del gassificatore) che in caso di utilizzo rilascia syngas grezzo direttamente in atmosfera.
3. *Progettare e realizzare un sistema di caricamento automatico del combustibile,* in sostituzione dell’attuale sistema manuale. I primi avviamenti dell’impianto dimostrativo sono avvenuti con il caricamento del combustibile attraverso un sistema manuale costituito da un paranco ed una tramoggia e tramite l’impiego di due operatori. Visti gli avviamenti previsti in questa annualità, al fine di ottimizzare la fase di caricamento del combustibile ed il livello di sicurezza per gli operatori, si sostituirà il sistema manuale con uno automatico, costituito da un sistema di accumulo e dosaggio (tramite bilance elettroniche) del combustibile e da un sistema di trasporto del materiale che verrà collegato al sistema esistente.
4. *Ottimizzare il sistema di adduzione aria processo al gassificatore.* Sarà necessario dotare l’impianto di una valvola regolatrice automatica dell’aria processo da inviare sottogriglia per migliorare il controllo delle portate d’aria da inviare al gassificatore e quindi ottimizzare il processo.
5. *Potenziare i 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.
6. *Progettare il sistema di abbattimento degli inquinanti presenti nel syngas.* A seguito di una prima fase di sperimentazioni, eseguite durante l’annualità precedente, verranno individuati i parametri necessari e si procederà al dimensionamento di un sistema di pulizia del syngas più adatto al trattamento del gas prodotto dalla gassificazione della biomassa testata.

E’ prevista una significativa partecipazione del personale ENEA per la fase di progettazione delle modifiche da effettuare e per quanto riguarda il commissioning dell’impianto a valle delle modifiche. In particolare, sulla base delle esperienze condotte nella passata annualità sia presso gli impianti Sotacarbo che sull’impianto pilota GESSYCA, ENEA collaborerà alla progettazione e sperimentazione sull’impianto di gassificazione Sotacarbo da 5 MWt. Avvalendosi anche dell’esperienza maturata nell’esercizio di impianti a biomassa presso il C.R. ENEA della Trisaia, si darà supporto alle attività di predisposizione delle procedure operative, sperimentazione ed elaborazione dei dati ed alla realizzazione delle modifiche impiantistiche. Nello specifico, ENEA curerà la progettazione delle modifiche della griglia mobile, del sistema di scarico ceneri e del sistema di monitoraggio termico (mediante l’installazione di termocoppie), al fine di renderla idonea all’esercizio del gassificatore con biomasse e consentirne il funzionamento in continuo.

La progettazione esecutiva delle modifiche da apportare all’impianto per adeguarlo al diverso tipo di combustibile sarà affidata ad una società esterna.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle modifiche e adeguamento dell'impianto dimostrativo di gassificazione di biomasse per la produzione elettrica

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2 Sperimentazione presso Impianto Dimostrativo SOTACARBO

Sulla base dell'esperienza maturata nella passata annualità, degli studi di processo e di una prima caratterizzazione del syngas, verranno predisposte 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 180 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 syngas e produzione di energia elettrica da immettere in rete.

E' prevista anche in quest'ambito una partecipazione di personale ENEA per la fase di sperimentazione, soprattutto nella definizione e predisposizione delle specifiche di prova, durante la fase sperimentale e nel campionamento e analisi delle ceneri e dei contaminanti tipici presenti nel syngas prodotto, in modo da pervenire ad una dettagliata caratterizzazione.

Per ottemperare alla normativa sul controllo delle emissioni si dovrà affidare ad un laboratorio esterno accreditato l'esecuzione di analisi sia per le emissioni gassose che la caratterizzazione degli altri effluenti presenti nell'impianto.

Si evidenzia che per poter effettuare campagne sperimentali continuative di lunga durata è 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.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla sperimentazione dell'impianto dimostrativo di gassificazione di biomasse per la produzione elettrica

Durata: gennaio 2014 - settembre 2015

a.3 Tecnologie avanzate di co-gassificazione e trattamento tar

In questa fase si prevede di continuare le attività sperimentali avviate nel precedente PAR, al fine di ottenere un più approfondito sviluppo e caratterizzazione del processo di co-gassificazione biomassa-carbone. L'attività sperimentale di gassificazione in oggetto sarà condotta presso l'impianto GESSYCA, messo a punto nel precedente PAR. Su di esso verranno testate differenti tipologie di biomasse, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso delle prove. Con l'obiettivo di purificare il syngas nel suo contenuto in TAR, verrà progettato, realizzato e caratterizzato con test di validazione, un sistema di abbattimento del tar e del particolato mediante un reattore secondario di reforming catalitico ossidativo che, collocato in serie al gassificatore, andrà a trattare il syngas prodotto, il quale verrà analizzato per determinarne la concentrazione di inquinanti e, in particolare, la composizione del tar residuo, al fine di verificarne la compatibilità con le specifiche di utilizzo in motori a combustione interna. Il processo di reforming ossidativo verrà studiato sia utilizzando un riempimento inerte che composti di tipo basico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto Tecnico sull'attività di sperimentazione dei processi di gassificazione e sperimentazione di un reattore di conversione del TAR tramite reforming ossidativo

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

Parte A: Attività 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	Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili									
	a.1 Processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano	1285	48	29	19	9	0	1	60	166
	a.2 Sistemi per la produzione di microalghe a valle del processo di DA	1200	45	27	8	4	0	0	25	109
	a.3 Gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW)	1530	57	34	1	11	0	1	20	124
	Subtotale obiettivo a	4015	150	90	28	24	0	2	105	399
b	Sviluppo di sistemi di upgrading di biocombustibili e riduzione dell'impatto ambientale									
	b.1 Processi chimico-fisici o biologici innovativi per l'abbattimento dell'acido solfidrico	2760	103	62	7	4	0	1	20	197
	b.2 Nuovi sistemi per la rimozione selettiva della CO ₂ dal biogas	1740	65	39	2	4	0	1	75	186
	b.3 Ottimizzazione del processo di produzione di biometano a partire da syngas	2060	77	46	2	7	0	1	55	188
	Subtotale obiettivo b	6560	245	147	11	15	0	3	150	571
c	Sviluppo di sistemi di produzione dell'energia elettrica e cogenerativi e riduzione dell'impatto ambientale									
	c.1 Caratterizzazione termo-fluidodinamica di miscele di sali fusi in funzione del loro utilizzo come vettori termici in caldaie innovative a biomasse	1340	50	30	0	0	0	0	0	80
	c.2 Modello per la valutazione energetica ed economica dei sistemi cogenerativi	920	34	20	0	6	0	1	0	61
	c.3 Sistemi di filtrazione ceramici per la rimozione del particolato fine nelle emissioni gassose	2380	89	53	7	11	0	1	25	186
	Subtotale obiettivo c	4640	173	103	7	17	0	2	25	327
d	Comunicazione e diffusione dei risultati									
	d.1 Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali	350	13	8	0	24	0	3	0	48
	d.2 Comunicazione e diffusione risultati	800	30	18	0	5	0	2	0	55
	Subtotale obiettivo d	1150	43	26	0	29	0	5	0	103
	TOTALE	16365	611	366	46	85	0	12	280	1400

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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.1.1 del PAR 2013), a pari a 37,3 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 22,4 €/h.

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore Personale	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 (U)	
a.1	Progetto e realizzazione delle modifiche dell'impianto dimostrativo Sotacarbo	215	8	5	0	0	0	4	225	242
a.2	Sperimentazione presso impianto dimostrativo Sotacarbo	270	10	6	0	0	0	9	175	200
a.3	Tecnologie avanzate di co-gassificazione e trattamento tar	800	30	18	0	8	0	2	0	58
Totale		1285	48	29	0	8	0	15	400	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, e le spese generali supplementari

(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) collaborazioni con SOTACARBO. Il dettaglio delle spese di Sotacarbo sono riportate nella tabella specifica sottostante

Ripartizione spese attività SOTACARBO

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore 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 delle modifiche dell'impianto dimostrativo Sotacarbo	2028	45	27	64	88	0	1	0	225
a.2	Sperimentazione presso impianto dimostrativo Sotacarbo	4496	95	56	0	24	0	0	0	175
Totale		6524	140	83	64	112	0	1	0	400

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

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Calcolatore Samsung con memoria esterna	1.032	344	Monitoraggio e acquisizione dati impianto pilota da laboratorio di DA a doppio stadio.
a.1	Misuratore portatile multiparametro e fotometro da banco Hanna	3.381	676	Caratterizzazione colture microbiche.
a.1	Bilancia ARW PCB 350-3 con pesiera classe M1	370	74	Peso substrati da trattare.
a.1	Frigoriferi e congelatori per scarti agrozootecnici	2.700	540	Conservazione substrati da caratterizzare e trattare.
a.1	Ossimetro HI 442 e accessori	3.520	700	Monitoraggio processi di digestione anaerobica
a.1	Sistema di lettura piastre Ecoplate	10.370	2.075	Caratterizzazione comunità microbiche
a.1	Pompa peristaltica	3.470	3.470	Impianto pilota da laboratorio di DA a doppio stadio.
a.1	Centralina a 2 canali per controllo pH/ORP/OD	3.019	3.019	Impianto pilota da laboratorio di DA a doppio stadio.
a.1	Regolatori di portata dei gas	5.254	5.254	Impianto pilota da laboratorio di DA a doppio stadio.
a.1	Reattore in vetro da 10 litri a 6 ingressi	3.172	3.172	Fermentatore per prove di digestione anaerobica di substrati non convenzionali

a.2	Armadio termostatico con lampade GroLux	7.466	7.466	Ambiente controllato per crescita e mantenimento colture microalgali.
a.2	Fotometro per colture microalgali	6.000	65	Caratterizzazione colture microalgali.
a.2	Misuratore ossigeno per analisi SOUR	4.000	110	Misura ossigeno colture microalgali.
a.3	Sistema di riscaldamento syngas in linea	10.000	550	Riscaldamento syngas da SCWG in linea – Pe=30 bar.
b.1	Motore elettrico per pompa digestore	103	21	Alimentazione impianto pilota DMM6000.
b.1	Stazione sottocappa e analizzatore gas ambientale	2.180	436	Apparato di sicurezza per linea trattamento biogas.
b.1	Motore elettrico protezione IP56 per trituratore	232	46	Macinazione substrato da alimentare al digestore.
b.1	Accessori per spettrofotometro Specular Reflectance	2.160	432	Abbattimento H ₂ S biologico anossigenico del biogas.
b.1	Analizzatore portatile biogas	11.345	2.270	Caratterizzazione biogas CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S.
b.1	Materiale inventariabile per linea biogas	7.120	1.425	Linea pulizia biogas.
b.1	Sistema in linea per refrigerazione biogas	5.500	301	Deumidificazione biogas.
b.1	Gasromatografo per analisi gas	65.000	1780	Caratterizzazione biogas
b.1	Muffola per calcinazione	2.000	82	Determinazione solidi in biomasse.
b.1	Forno per essiccazione	2.500	103	Determinazione contenuto idrico biomasse.
b.1	Misuratore di ossigeno	2.500	70	Determinazione ossigeno nel biogas.
b.1	Soffiante biogas	1.000	27	Alimentazione biogas a bioreattore.
b.1	Soffiante biogas per circuito upgrading con ammine	1.500	40	Alimentazione biogas a sezione upgrading.
b.2	Sistema di acquisizione dati STATION KL 122 a 16 canali	3.993	800	Linea upgrading biogas.
b.2	Scambiatore di calore liquido-liquido a piastre	1.500	120	Rigenerazione soluzione amminica di upgrading biogas.
b.2	Sistema compressione biogas ad alta pressione	15.000	820	Stoccaggio in bombole biogas trattato.
b.2	Analizzatore CH ₄ e CO ₂ on line a infrarosso	8.000	440	Caratterizzazione biogas.
b.2	PC per controllo processo e acquisizione dati	1.500	135	Gestione e controllo linea trattamento biogas.
b.3	Sistema compressione syngas a 30 bar	30.500	1.670	Sistema di compressione del syngas.
c.3	Strumento misura per emissioni di particolato+accessori	28.690	5.740	Misura particolato linea fumi.
c.3	Sistema riscaldamento filtro catalitico a microonde su linea fumi per abbattimento particolato	30.000	820	Rigenerazione filtri catalitici linea fumi.

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

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

SOTACARBO

Ob.	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Misuratore di pressione	2.000	2.000	Linea syngas impianto Sotacarbo
a.1	Misuratore di portata syngas	5.000	5.000	Linea syngas impianto Sotacarbo
a.1	Valvola regolazione sottogriglia	7.000	7.000	Linea alimentazione impianto Sotacarbo
a.1	Sistema alimentazione impianto	50.000	50.000	Linea alimentazione impianto Sotacarbo

(*) 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.1	Reattivi per analisi chimico-biologiche	2.000
a.1	Materiale per colture microbiologiche	3.000
a.1	Materiale di consumo per strumentazione analitica e sistema lettura piastre Ecoplate	4.000
a.2	Materiale di consumo per colture microalgali	4.000
a.3	Disco di rottura impianto SCWG	2.000
a.3	Catalizzatori commerciali Ni/Al	2.000

a.3	Misuratore di portata digitale in linea	2.000
a.3	Regolatore di pressione automatico	2.000
a.3	Scambiatore-condensatore	3.000
b.1	Ricambi e Reagenti chimici vari	4.000
b.2	Materiale piping, valvolame e misuratori di pressione, temperatura, ecc. per compressione biogas	4.000
b.3	Materiale piping e valvolame per impianto BIOSNG	3.000
b.3	Colonne cromatografiche, standard, gas tecnici	4.000
c.2	Estensione licenza software MATLAB	6.000
c.3	Fasce scaldanti, nastro adesivo in alluminio e raccorderia metallica varia	3.000
c.3	Fornitura gas tecnici e combustibile pellet	2.000
c.3	Materiale per tenuta filtri e per sistema di campionamento particolato e per linea fumi	6.000
d.1	IEA - Bioenergy Implementing Agreement	24.000
d.2	Iscrizione congressi	2.000
d.2	Organizzazione workshop tematico	3.000

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

SOTACARBO

Ob.	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Componenti meccaniche e strumentali per impianto dimostrativo	11.000
a.1	Nuova griglia	30.000
a.1	Modifica Sistema VENT	4.000
a.1	Irradiatori	3.000
a.1	Consumabili (azoto, gpl, biomasse ecc)	20.000
a.1	Progettazione sistema abbattimento inquinanti	20.000
a.2	Noleggio Muletto	4.000
a.2	Contratto laboratorio accreditato per analisi polveri, tar e fumi	10.000
a.2	Supporto alle sperimentazioni	10.000

ENEA

Ob.	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.3	Termocoppie	2.000
a.3	Allumina e cippato di legna e materiale per startup	2.000
a.3	Componentistica meccanica, valvole, raccordi, filtri, guarnizioni	4.000

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

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

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

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Cobeneficiario - Oggetto dell'accordo / Motivazioni della scelta	Importo (k€)
a.1	<p>Università di Napoli "Federico II", Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (DICEA) - Prove di fermentazione di biomassa lignocellulosica e sviluppo di un modello matematico riguardante la cinetica della digestione anaerobica di materiale lignocellulosico, in particolare con sistemi a secco.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Ing. Civile Edile ed Ambientale ed il prof. Fabbicino è da anni coinvolto in attività di ricerca e modellizzazione dei processi anaerobici per la produzione di biogas da varie matrici e di depurazione di acque reflue civili ed industriali.</p>	25

a.1	<p>Università della Tuscia, Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche - Studio e sviluppo di un processo fermentativo anaerobico di materiali ad alto contenuto in chitina e di acque di vegetazione.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche 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
a.2	<p>Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Chimica - Supporto alla realizzazione dei test ed alla caratterizzazione dei mezzi di coltura e della biomassa algale.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Prof. A. Bianco ed il Dipartimento di Chimica della Sapienza Università di Roma dispongono di apparecchiature e strumentazione analitica di ultima generazione e possiedono competenze elevate nel campo dell'analisi e caratterizzazione delle diverse componenti, principali e secondarie (biomolecole), di matrici di origine naturale, e collaborano da anni con ENEA per la caratterizzazione della biomassa prodotta dalle colture microalgali e dei relativi mezzi di coltura.</p>	25
a.3	<p>Università della Calabria, Dipartimento di Ing. per l'Ambiente e il Territorio e Ing. Chimica (DIATIC) - Attività di preparazione e caratterizzazioni dei catalizzatori, valutare la loro stabilità chimica e meccanica, individuare fenomeni irreversibili per la rigenerazione e l'implementazione del modello matematico.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il DIATIC ha un'ampia esperienza e dotazione sulla catalisi omogenea ed eterogenea, fondamentale per lo sviluppo la gassificazione di biomasse con acqua in condizioni supercritiche, con strumentazione e reattori per riprodurre le condizioni di acqua super-critica e testare su micro scala i catalizzatori.</p>	20
b.1	<p>Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Industriale</p> <p>Sviluppo e validazione delle tecnologie e dei processi a secco sull'abbattimento catalitico dell'H₂S, basato sull'utilizzo degli ossidi metallici.</p>	20
c.3	<p>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.</p> <p><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, lo sviluppo di catalizzatori e reattori fotocatalitici per la sintesi di intermedi in condizioni miti.</p>	25
b.2	<p>Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali, Ambiente (DICMA) - Validare ed ottimizzare il processo di separazione con AMP in solvente organico, continuando le prove a livello di laboratorio con gas simulati ed affiancando ENEA nella sperimentazione con biogas reale su un sistema progettato ad hoc.</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.</p>	30
b.2	<p>Università di Chieti-Pescara, Dipartimento di Farmacia - Validare ed ottimizzare il processo di separazione mediante formazione dei gas idrati mediante ulteriori prove sperimentali da effettuare sugli stessi apparati usati nella precedente annualità al fine di aumentare la conversione di acqua in idrato, migliorare la reologia della fase idrato, diminuire le pressioni ed aumentare le temperature di lavoro.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il dr. Di Profio ha avviato fin dal 2003 una linea di ricerca riguardante i clatrati idrati di gas e gli effetti di varie molecole organiche (tensioattivi, polimeri, ecc.) sulla loro formazione, in collaborazione con il dr. Arca, co-fondatore e amministratore con il dr. D'Alessandro della RDPOWER, società con cui effettua l'attività di ricerca nella scorsa e nella presente annualità.</p>	45
b.3	<p>Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari" - Verranno preparati quantitativi adeguati per la sperimentazione dei catalizzatori di metanazione del tipo Ni/Mg/Al in un rapporto ottimizzato. Su tutti i catalizzatori saranno condotte le caratterizzazioni chimiche e morfologiche, pre e post test (granulometria, porosimetria, SEM/EDX, analisi in temperatura programmata TPR/TPO, XRD, spettrometria Raman con microscopia).</p> <p><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 di gas prodotto da 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 ed hanno a disposizione uno strumento di spettrometria Raman con microscopia ottica e uno strumento esclusivo di microscopia elettronica a scansione equipaggiato con sonda Raman.</p>	30

b.3	<p>Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia - Produrrà nuovi quantitativi dei sorbenti risultati più promettenti nella scorsa annualità, preparati in pellet granulari e testati presso in laboratorio, quindi saranno forniti all'ENEA per la sperimentazione con il gas 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, pre e post test (SEM-EDX, XRF, XRD, FTIR, TGA-DTA, BET-BJH).</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> La attività di ricerca svolte 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 dal syngas prodotto da sistemi di gassificazione di biomasse lignocellulosiche. Sono stati affrontati 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>	25
-----	--	----

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Non sono previste attività da svolgersi con le Università.

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

Parte A: Attività ENEA

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 presenti nel Progetto.

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

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 presenti nel Progetto.

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Parte A: Attività ENEA

Ob.	Risultati ottenuti PAR 2013	Risultati attesi PAR 2014
a.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. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definizione delle caratteristiche dimensionali e modalità operative di un modulo impiantistico di pretrattamento biologico da inserire a monte di un impianto di DA; - Progettazione di un modulo per l'idrolisi e l'acidogenesi della biomassa da fermentare, da inserire a monte del digestore DMM6000.
a.2	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione di biomassa microalgale in sistemi "open pond" del volume di circa 1.500 litri. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sperimentazione colturale di nuovi ceppi di microalghe e prove di coltivazione in vasca aperta con immissione multipla di digestato liquido e immissione di CO₂ in modalità controllata.
a.3	<ul style="list-style-type: none"> - Verifica sperimentale della produzione di un syngas H₂/CH₄ adatto ad applicazioni energetiche mediante gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW) di biomasse ad elevato contenuto idrico; - Realizzazione e caratterizzazione di catalizzatori delle reazioni di reforming Ni/Al opportunamente modificati per il processo di SCWG. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione del processo di SCWG sull'impianto bench scale da circa 500 ml installato nel Centro ENEA della Trisaia, utilizzando come matrici le biomasse provenienti da colture di microalghe e digestato liquido da impianti di produzione del biogas; - Realizzazione e ottimizzazione delle prestazioni di nuovi catalizzatori di reforming.
b.1	<ul style="list-style-type: none"> - Dimostrazione sperimentale della possibilità di ossidare in modo selettivo l'H₂S, con conversioni superiori al 98% a 80 °C, a partire da una concentrazione iniziale di H₂S di 500 ppm, mediante catalizzatori a base di V₂O₅/CeO₂; - Verifica sperimentale dell'abbattimento biologico di H₂S mediante fotosintesi anoossigenica con un processo in continuo su scala laboratorio con efficienze medie del 95%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppo e di validazione su reattori in scala laboratorio di processi a secco per l'abbattimento catalitico dell'H₂S, basati sull'utilizzo degli ossidi metallici a temperature intorno ai 100 °C, utile soprattutto per trattare gli off-gas praticamente privi di ossigeno e ricchi in CO₂, ma contenenti ancora quantità di CH₄ che, pur limitate, non consentono lo scarico diretto in atmosfera; - Sviluppo del processo di fotossidazione biologica dell'H₂S in soluzione acquosa a temperatura ambiente, seguito da una fase di deumidificazione della corrente del biogas uscente e da un affinamento con carboni attivi funzionalizzati, mediante ulteriori test di laboratorio e sperimentazione pilota su un fotobioreattore inserito in un apposito circuito realizzato a valle del digestore DMM6000.

b.2	<ul style="list-style-type: none"> - Verifica sperimentale della rimozione selettiva della CO₂ dal biogas mediante l'impiego di ammine in solvente organico, ottimizzazione dei parametri operativi e definizione di uno schema di un processo di upgrading basato sull'assorbimento della CO₂ con AMP in soluzioni di glicol etilenico e propanolo, in modo da ottenere un gas con un contenuto di metano superiore al 97%, con un recupero del metano superiore al 98%; - Verifica sperimentale del possibile upgrading del biogas a biometano mediante un processo di formazione/ dissociazione di gas idrati in un reattore di scala superiore a quelli usati nella precedente annualità, evidenziato come la presenza di H₂S non influenzi la termodinamica del sistema, mentre ha un ruolo di promotore sulle cinetiche di formazione, ed abbassando le pressioni necessarie dagli 80 bar utilizzati nelle attività precedenti fino a 40 bar, con un possibile ulteriore abbassamento a 20-30 bar ottenuto con l'azione combinata dell'H₂S. 	<ul style="list-style-type: none"> - Validazione e ottimizzazione del processo, 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 100 NL/h di biogas, progettato ad hoc nella precedente annualità ed installato a valle del digestore pilota DMM6000. - Ottimizzazione del processo di upgrading mediante gas idrati con ulteriori attività sperimentali su reattori di laboratorio, in modo da diminuire le pressioni e aumentare le temperature di lavoro, e test di nuovi promotori naturali e inibitori della formazione di uno dei due componenti del biogas, al fine di migliorare la selettività della separazione. - Progettazione preliminare di un reattore pilota per la formazione di idrati. - Sviluppo e realizzazione di un sistema di analisi di CH₄ e CO₂ nel biogas a basso costo e del relativo software di gestione.
b.3	<ul style="list-style-type: none"> - Ottimizzazione, con test sperimentali su miscele simulanti il syngas, del processo di produzione di SNG, sia con l'aggiustamento della composizione del syngas mediante l'impiego di sorbenti idrotalcitici, sia preparando e caratterizzando specifici catalizzatori di metanazione del tipo Ni/Mg/Al. 	<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 pressione e temperatura, di un processo per la conversione in SNG di syngas reale prodotto da un impianto prototipale di gassificazione a letto fluidizzato riciccolante ossigeno/vapore.
c.1	<ul style="list-style-type: none"> - Determinazione delle principali caratteristiche termofisiche, quali l'effettiva temperatura limite superiore di utilizzo e la viscosità vicino al punto di congelamento, e verifica sperimentale del comportamento di tre miscele ternarie di sali fusi a base di nitrati alcalini, e verifica sperimentale del loro comportamento a diverse temperature. - Verifica sperimentale della corrosione di acciai a contatto con le miscele di sali fusi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Completamento dello studio della stabilità delle due miscele ternarie 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.
c.2	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppo di uno strumento di calcolo per l'analisi dei sistemi energetici alimentati a biomassa, che permette di calcolare le variabili di funzionamento (potenze, efficienze, temperature, portate, composizione dei fumi, ecc.) sia in condizioni di progetto sia a carichi parziali. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementazione dello strumento di calcolo mediante la creazione di nuove subroutine per l'analisi di assetti cogenerativi per il miglioramento delle prestazioni del sistema, con e senza il contributo dei preriscaldatori dell'aria di combustione, e validazione dello stesso sulla base di dati di esercizio reali di impianti ORC; - Implementazione di un'interfaccia grafica user-friendly dello strumento di calcolo e trasferimento dell'applicativo su piattaforma WEB, in modo tale da rendere lo strumento liberamente fruibile al pubblico.
c.3	<ul style="list-style-type: none"> - Studio, valutazione e confronto di differenti sistemi di abbattimento delle emissioni prodotte dalla combustione di biomassa solida mediante prove sperimentali su prototipi in scala di laboratorio di filtri catalitici tipo <i>wall flow</i>, con la dimostrazione di una elevata efficienza di abbattimento del particolato ad opera dei filtri catalitici in carburo di silicio e ferrite di rame. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verifica della possibile rigenerazione dei filtri tramite un sistema a microonde mediante la progettazione e l'allestimento di una nuova linea di derivazione fumi dedicata, con integrato un sistema di rigenerazione a microonde, e lo svolgimento di prove sperimentali per la valutazione della durata e dell'efficienza di rigenerazione dei filtri e dell'efficacia di rigenerazione in funzione del tempo e dell'efficacia di abbattimento di particolato fine e monossido di carbonio durante le condizioni di esercizio e durante la rigenerazione.

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

Si tratta di un nuovo progetto che sarà avviato nella presente annualità, per cui sono indicati solo i risultati attesi.

Ob.	Risultati ottenuti	Risultati attesi
a.1		Riprogettazione, modifica e ottimizzazione dell'impianto dimostrativo per la gestione in continuo dello stesso.
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 progettuali ed operativi dei sistemi di produzione e pulizia del syngas da co-gassificazione di biomassa e carbone
a.3		<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 - Definizione dei parametri operativi di co-gassificazione di biomassa e carbone e di pulizia del syngas da TAR

Il progetto è articolato in due differenti e distinte linee progettuali.

LINEA PROGETTUALE 1: RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Lo sviluppo di tecnologie fotovoltaiche innovative è ritenuto cruciale per combattere in maniera efficace i cambiamenti climatici e per garantire la sicurezza della fornitura di elettricità in Europa e nel mondo intero. Grazie agli indubbi vantaggi della tecnologia fotovoltaica (FV) si è assistito ad un evidente incremento del mercato di celle e moduli FV negli ultimi anni. Nel 2013 sono stati installati nuovi impianti fotovoltaici per una potenza pari a 39 GWp, portando a circa 139 GWp la capacità FV totale installata al mondo.

Per quanto riguarda i moduli FV presenti in commercio, più dell'85% della produzione corrente usa la consolidata tecnologia basata sui wafer di silicio cristallino. Tale tecnologia è oramai decisamente matura e non offre grandi possibilità in termini di miglioramento delle prestazioni e di competitività economica. Bisogna pertanto studiare soluzioni nuove che possano attrarre il mercato produttivo con prospettive di maggiore efficienza. L'attività che si propone ha, quindi, l'obiettivo di sviluppare celle innovative caratterizzate da prestazioni sensibilmente migliori rispetto a quelle dei prodotti attualmente disponibili sul mercato. Partendo dalle attività e dai prodotti sviluppati nelle scorse annualità, si propone di indagare ulteriormente alcune delle soluzioni esaminate e, sulla base dell'analisi dello stato dell'arte della tecnologia FV, valutare nuove soluzioni emergenti. 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 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 più alte del 30%, andando oltre la barriera del 33% di efficienza 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. L'attività di ricerca avrà quindi l'obiettivo di sviluppare celle a eterogiunzione a-Si/c-Si che possano essere utilizzate sia come dispositivo solare a se stante che 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.

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. Nel 2013 l'87% dei moduli è stato prodotto in Asia, con la Cina che da sola ne ha prodotto circa il 67%. Yingli e Trina Solar (entrambi cinesi) guidano la classifica mondiale dei produttori di moduli per l'anno 2013, inoltre cinesi risultano molti dei principali produttori con diverse industrie caratterizzate da capacità produttive ben al di sopra di 1GWp. Per quanto riguarda le caratteristiche dei principali prodotti disponibili, le efficienze dei moduli commerciali spaziano su un ampio intervallo che va da circa 12 al 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 anche in combinazione con celle ad alta efficienza in silicio cristallino è potenzialmente determinante per l'affermarsi di una innovativa tecnologia FV.

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. Questo valore ha finalmente superato il record di efficienza del 25% misurato nel 1998 su una cella classica in silicio cristallino in cui l'emitter era realizzato con processi di diffusione termica a temperature superiori a 800 °C. 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 (25 \$/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.

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 è pari al 21,7% ottenuto nel corso del 2014 nel Centre for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW) di Stoccarda. 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. Il record di efficienza per dispositivi in CZTS è del 9,2% ed è stato ottenuto con un minimodulo prodotto dalla compagnia giapponese Solar Frontier (maggiore produttore mondiale di moduli in CIGS con una capacità produttiva di 1 GW/anno) su aree di 15 cm² con tecnologie industriali (evaporazione + solforizzazione). A livello di laboratorio l'efficienza massima delle celle in CZTS è invece pari all' 8,8%, come riportato dalla Toyota al 40th IEEE PVSC (Denver, 2014). Il lavoro dimostra anche che variando opportunamente la conducibilità del CZTS lungo lo spessore si può aumentare la Voc del dispositivo fino a 780 mV. L'aumento della Voc è particolarmente interessante per la realizzazione di celle tandem ad alta efficienza. Usando un materiale con una gap minore ottenuto sostituendo parte dello zolfo con il selenio (Cu₂ZnSn(S,Se)₄ con Eg=1,12 eV), la IBM è riuscita nel 2013 ad arrivare ad una efficienza del 12,6%.

La tecnologia basata su celle a base di alogenuri organometallici perovskitici ha pesantemente attratto l'interesse del mondo della ricerca FV nell'ultimo anno. Le perovskiti sono materiali descritti dalla formula ABX₃, 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 (CH₃NH₃⁺), quello B dal piombo (Pb) e l'anione X è un alogeno, generalmente iodio, sebbene bromo e cloro sono anche comunemente utilizzati. Quindi il composto archetipale è CH₃NH₃PbI₃, con un interesse rivolto anche agli alogenuri misti CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x e CH₃NH₃PbI_{3-x}Br_x. Nel corso del 2013 il gruppo di Gratzel (EPFL, Svizzera) e di Snaith (Università di Oxford) hanno ottenuto efficienze superiori al 15%, utilizzando differenti architetture di cella e metodi di preparazione del materiale. Nel 2014 il gruppo del Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT) ha ottenuto un valore record certificato di efficienza sul dispositivo pari al 17,9%, mentre valori di efficienza di circa il 20%, sebbene non ancora confermati da laboratori di certificazione, sono stati mostrati in varie conferenze.

Altro aspetto rilevante della ricerca su celle a film sottile è lo sviluppo di "strategie di light-trapping" con

l'intento di ridurre al massimo lo spessore degli strati attivi, assorbendo al contempo efficacemente la radiazione solare. Uno dei metodi usati per diffondere efficacemente la luce in celle solari a film sottile è l'utilizzo di substrati con elettrodi frontali a base di ossidi trasparenti e conduttivi (TCO) testurizzati naturalmente o attraverso processi di etching. Sono stati utilizzati elettrodi frontali caratterizzati da morfologie superficiali a singola o a doppia tessitura (grani di piccole dimensioni sovrapposti a strati a più ampia rugosità). E' anche riportato l'uso di substrati con morfologie superficiali periodiche modulate. Più recentemente sono stati proposti vari metodi di testurizzazione del substrato di vetro quali sabbiatura, attacchi chimici, nanopatterning, Aluminium Induced Texture. I vari approcci proposti devono tener conto di sviluppare metodi di interesse per la produzione industriale.

Obiettivo finale dell'attività

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

- il miglioramento delle prestazioni di celle solari a eterogiunzione a-Si/c-Si per un'applicazione industriale nel breve-medio termine;
- lo sviluppo di dispositivi basati su film sottili innovativi ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ e perovskiti ibride a base di alogenuri organometallici) da utilizzare in accoppiamento al silicio per lo sviluppo di celle tandem ad altissima efficienza.

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 singola giunzione o a giunzione tandem, sviluppando opportune architetture di dispositivo.

L'attività di RSE è principalmente focalizzata sui processi realizzativi di celle a multigiunzione basate sugli elementi dei gruppi III e V per l'utilizzo nei sistemi a concentrazione.

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

L'approvvigionamento di energia rappresenta un fattore chiave per sostenere lo sviluppo dell'economia e, di conseguenza, il benessere della popolazione. In questo contesto lo sviluppo di tecnologie avanzate per la produzione di energia elettrica da solare fotovoltaico può offrire 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. Inoltre lo sviluppo di tecnologie fotovoltaiche ad alta efficienza può consentire la realizzazione di componenti specifici per l'integrazione del fotovoltaico in edilizia, permettendo all'utenza la possibilità di installare sistemi di produzione di energia elettrica con buona efficienza, lunga durata e costo competitivo anche in contesti sensibili.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

In questa sezione vengono descritte le attività che verranno svolte, alcune delle quali in continuità con le ricerche condotte in precedenza. Durante la scorsa annualità le attività erano state focalizzate sullo sviluppo di celle solari a film sottili inorganici a base di silicio e di film policristallini di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, sullo sviluppo di celle a eterogiunzione a-Si/c-Si e sullo sviluppo di celle FV organiche. In particolare per quanto riguarda il silicio, erano stati sviluppati materiali innovativi e appropriate architetture di dispositivo con lo scopo di migliorare le prestazioni attuali delle celle solari a film sottile di silicio. Inoltre era continuato lo sviluppo di celle a eterogiunzione a-Si/c-Si, ottenendo dispositivi caratterizzati da un'efficienza massima del 17,4% su area attiva. Le attività sullo sviluppo di celle solari a film sottile policristallino di CZTS erano state focalizzate sullo studio di vari parametri e step di processo al fine di migliorare la ripetibilità dei processi e aumentare l'efficienza delle celle fotovoltaiche (efficienza massima misurata pari a 5,7%). Era iniziato,

inoltre, uno studio di materiali per celle solari tandem CZTS/c-Si. Infine era proseguito lo sviluppo di celle solari organiche, studiando possibili strategie per ampliare lo spettro della radiazione solare efficacemente utilizzato dai dispositivi e per migliorare il trasporto elettrico delle cariche. Tali studi avevano consentito di ottenere dispositivi con efficienza di conversione di poco superiore all'8%.

La pianificazione annuale delle attività è operata considerando diversi fattori: 1) i risultati ottenuti nella scorsa annualità, 2) i commenti espressi dagli esperti nella relazione di verifica finale al Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2013, 3) le indicazioni definite dal Piano Operativo Annuale (POA) 2014. Nel POA 2014, infatti, si indica 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. Inoltre gli esperti incaricati di verificare le attività del PAR 2013 hanno sollecitato l'ENEA a concentrare le attività su non più di due tecnologie fra quelle proposte. Si è pertanto 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, e di sviluppare film sottili innovativi da utilizzare come materiali assorbitori della componente anteriore di celle tandem ad altissime efficienze (>30%) nelle quali la cella posteriore sia realizzata in silicio. I materiali a film sottile che si propone di indagare come possibili candidati per la realizzazione delle strutture tandem sono il CZTS (il cui studio è iniziato già nelle scorse annualità) e le perovskiti ibride. Quest'ultima classe di materiali, come già detto nella precedente sezione, ha pesantemente attratto l'attenzione del mondo della ricerca fotovoltaica grazie agli eclatanti risultati ottenuti nel giro di un paio di anni (efficienze attuali di conversione di circa il 20%). Si ritiene pertanto necessario indagare le perovskiti anche al fine di comprenderne le potenzialità in termini di ricadute industriali. Si decide 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. Si vuole precisare che la ricerca in tali ambiti continua nei laboratori ENEA, grazie anche a finanziamenti provenienti da progetti nazionali ed europei, in quanto ritenuta comunque strategicamente rilevante per il medio/lungo periodo.

Descrizione obiettivi

a. Celle solari ad eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer di tipo p

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 con emitter realizzato in $\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$. Si è in particolare sperimentata la deposizione via PECVD ad alta frequenza di strati sottili passivanti in silicio amorfo idrogenato (a-Si:H) ed in ossido di silicio amorfo idrogenato (a-SiO_x:H) ottenuti in vari regimi di crescita, variando sia la diluizione in idrogeno dei gas di processo che la frequenza di plasma; si è inoltre condotto uno studio sull'ottimizzazione del contatto frontale della cella in termini di TCO e griglia di raccolta. La passivazione è un aspetto cruciale di una struttura ad eterogiunzione in quanto è direttamente legata alla Voc del dispositivo e quindi alla relativa efficienza di conversione. Si sono ottenuti risultati soddisfacenti, sebbene l'introduzione dello strato passivante in strutture ad eterogiunzione non ha ancora fornito i risultati attesi risultando in un'efficienza di cella del 17,4% su area attiva con dispositivi di prova a contattatura non ottimizzata. Ciò è probabilmente dovuto sia ad una struttura non propriamente compatta, eventualmente porosa, del sottile strato passivante in silicio amorfo, sia allo strato drogato di silicio di tipo p+ depositato sul retro della cella in condizioni ancora da ottimizzare.

Si è quindi deciso di proseguire l'attività depositando lo strato passivante a varie diluizioni di idrogeno, ma con frequenza di plasma convenzionale (13,56 MHz): tale frequenza infatti grazie alle velocità di crescita dei materiali tipicamente più basse rispetto a quelle ottenibili nel caso delle alte frequenze può consentire un miglior controllo del processo di passivazione del wafer. Saranno in particolare sperimentate condizioni di crescita ottenute con alte diluizioni in idrogeno, in regime di crescita prossimo a quello microcristallino, oppure con basse diluizioni seguite da trattamenti di plasma di idrogeno. Si procederà inoltre alla sperimentazione dello strato passivante in a-SiO_x:H sul front della cella, materiale caratterizzato da un'energia di gap maggiore rispetto al a-Si:H e che quindi permette un maggior assorbimento della

radiazione ottica incidente sul dispositivo finale. Sarà infine ottimizzato lo strato drogato di tipo p+ sul retro della cella.

Un'ulteriore indagine verterà sull'ottimizzazione della griglia di contattatura frontale della cella in funzione del drogaggio e della conducibilità del materiale sottostante in modo da trovare il punto di equilibrio tra la minima ombreggiatura e la minima resistenza serie del dispositivo per massimizzare la corrente di emettitore.

Altro aspetto fondamentale in una eterogiunzione, nella forma assorbitore di tipo p ed emettitore di tipo n, è il valore della funzione lavoro del TCO; tale variabile deve avere un opportuno valore per il corretto allineamento delle bande di energia, poiché se esso non viene fissato opportunamente può agire da barriera contro l'estrazione di cariche elettriche generate all'interno del dispositivo. Precedentemente sono già stati studiati e messi a punto valori opportuni di questo parametro, ma necessita un'ulteriore indagine anche testando TCO depositati mediante tecniche soft quali ad esempio la LPCVD rispetto alle più energetiche tecniche di sputtering. Con i successivi esperimenti ed ottimizzazioni che si porteranno avanti nelle prossime annualità si arriverà ad efficienze tra il 18 ed il 20%.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di strati passivanti delle superfici dei wafer di silicio idonei alla realizzazione di celle solari con efficienze >18%. Rapporto tecnico sulle attività

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni)

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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

Il lavoro svolto durante l'ultimo anno di attività ha indagato l'influenza di parametri e step di processo e della stechiometria del CZTS sulle prestazioni delle celle solari, evidenziando che sono vari i fattori che concorrono a determinare tali prestazioni. Per esempio lo stress meccanico sembra fondamentale per determinare le proprietà d'interfaccia tra CZTS e substrato di vetro ricoperto di molibdeno. Questa interfaccia determina criticamente non solo l'adesione del film di CZTS, ma anche la sua morfologia microscopica e le proprietà elettriche del contatto posteriore. Si è cercato perciò di modificare questa interfaccia provando a depositare sul molibdeno, prima dei precursori, film nanometrici di altri materiali (ZnS , ZnO , MoO_x) con risultati soddisfacenti nel caso dello ZnO . Un altro approccio tentato è stato quello di aumentare la pressione di sputtering per ridurre lo stress meccanico nei precursori: questo ha risolto i problemi di adesione, ma sembra aver determinato una peggiore ricristallizzazione dei film di CZTS. Ovviamente anche la qualità dell'altra interfaccia (quella frontale su cui è localizzata l'eterogiunzione) risulta fondamentale. Parte dell'attività è stata quindi rivolta all'ottimizzazione del buffer layer di CdS in termini di riproducibilità, omogeneità e conducibilità. Durante tutti questi studi è inoltre emersa la necessità di un ulteriore aumento della riproducibilità dei processi di crescita del CZTS sia per quanto riguarda la deposizione del precursore che per quanto riguarda il processo di solforizzazione. A proposito di quest'ultimo aspetto è stata avviata la progettazione di un nuovo forno specifico per il trattamento termico dei precursori in atmosfera controllata di zolfo.

Parallelamente a questo filone che utilizza dei processi di deposizione sotto vuoto, la collaborazione con l'Università di Trento ha portato allo sviluppo di un processo di deposizione a pressione atmosferica basato sullo spin coating di inchiostri di nanoparticelle disperse in toluene. Le nanoparticelle vengono prodotte tramite una sintesi ad alta temperatura (hot-injection) utilizzando le condizioni e i materiali di partenza più semplici possibile, con l'obiettivo principale di ridurre la quantità di materiale organico residuo nei film sottili finali. Le caratteristiche morfologiche, strutturali, composizionali ed ottiche dei film risultanti sono già molto interessanti, ma le proprietà elettroniche del materiale devono ancora essere ottimizzate per dare dispositivi fotovoltaici accettabili.

Infine ci si è anche dedicati allo studio di materiali per dispositivi tandem CZTS/c-Si, valutando quali materiali possano essere utilizzati per la costruzione della giunzione tunnel necessaria a connettere le due celle.

Le attività della presente annualità hanno lo scopo di ottimizzare la qualità del CZTS e i processi di

realizzazione dei dispositivi con l'obiettivo finale poi di utilizzare tale materiale assorbitore in celle tandem CZTS/silicio. In particolare si intende migliorare la riproducibilità dei processi di crescita del CZTS grazie anche all'installazione del nuovo forno di solforizzazione.

Avendo riscontrato che le velocità di deposizione del CuS ed SnS subiscono delle lente ma progressive variazioni a causa dell'erosione e del cambiamento di stechiometria della superficie dei target, si è deciso anche di provare a preparare i precursori partendo da target di ZnS e di Cu ed Sn metallici utilizzati però insieme ad una sorgente per l'evaporazione dello zolfo. Si provvederà perciò ad acquistare o a far costruire una sorgente di questo tipo da aggiungere all'impianto di co-sputtering. Allo scopo di poter verificare sistematicamente la composizione chimica di tutti i campioni prodotti, sarebbe utilissimo poter disporre in laboratorio di uno spettrometro per la "X-Ray Fluorescence" (XRF) che consente di misurarla rapidamente e con buona precisione.

Si metterà a punto almeno una tecnica per la misura dello stress meccanico dei film di CZTS su silicio e Molibdeno per valutare l'impatto di questo parametro e per ottimizzarne il valore.

Si effettueranno delle simulazioni numeriche delle caratteristiche delle celle in CZTS per identificare i fattori che ne limitano l'efficienza ed in particolare per capire se la Voc è limitata dai difetti di interfaccia o di bulk. Questa analisi teorica verrà affiancata dalle attività sperimentali condotte in collaborazione con l'Università di Roma (per lo studio dei difetti di bulk tramite misure di fotoluminescenza e di micro-fotoluminescenza) e con l'Università di Milano Bicocca (per lo studio di alcuni buffer alternativi al CdS).

Parallelamente si porterà avanti la valutazione sperimentale delle possibilità connesse all'uso di tecniche di deposizione non utilizzando il vuoto come lo spin coating di opportune soluzioni o sospensioni (inchiostri). Queste tecniche di deposizione devono essere ancora migliorate specie dal punto di vista della morfologia e delle proprietà elettroniche del film finale e devono essere messe alla prova nei dispositivi completi.

Infine, per quanto riguarda più direttamente le celle tandem, si continuerà a lavorare sulla ottimizzazione dei materiali utilizzabili per la costruzione della giunzione tunnel necessaria a connettere la cella in CZTS alla cella in silicio. Tutte e tre le possibilità esplorate nello scorso anno (drogaggio con Argento, MoO₃ e NiO) sono ancora in campo e andranno valutate più approfonditamente.

Risultati/Deliverable:

- Ottimizzazione dei processi di deposizione del CZTS tramite co-sputtering e dei vari step di processo necessari alla realizzazione delle celle solari; studio di materiali per la realizzazione di giunzioni tunnel in dispositivi tandem CZTS/c-Si. Rapporto tecnico sulle attività

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

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. Materiali e architetture di dispositivo per celle solari a film sottile a base di perovskite

L'attività ha l'obiettivo di sviluppare nuovi materiali assorbitori a base di alogenuri organometallici perovskitici utili alla fabbricazione di dispositivi fotovoltaici ad alta efficienza (subtask c.1). Lo sviluppo di questi materiali è ritenuto interessante sia per la realizzazione di celle a film sottile a singola giunzione che per la realizzazione di celle tandem in combinazione col c-Si. Nell'architettura a film sottile risultano poi importanti strategie di intrappolamento della radiazione solare che possano consentire di ridurre al minimo la quantità di materiale utilizzato. Tali strategie sono oggetto della ricerca sviluppata nel subtask c.2.

c.1 Sviluppo di celle solari innovative a singola giunzione a base di perovskite

La ricerca sulle celle a base di alogenuri organometallici perovskitici trova motivazione negli interessanti risultati in termini di efficienza di dispositivo ottenuti in particolare nell'ultimo anno da importanti gruppi di ricerca internazionali. L'ampio spettro di approcci proposti per la fabbricazione del materiale e i differenti concetti di dispositivo utilizzati suggeriscono che le attuali prestazioni dei dispositivi a base di perovskiti possono essere ulteriormente ottimizzate. Questa classe di materiali presenta quindi grandi potenzialità per la fabbricazione di dispositivi sia in configurazione a singola giunzione che nell'architettura di cella tandem. L'attività sarà inizialmente dedicata alla preparazione del materiale con tecniche di deposizione da

soluzione. Saranno realizzati film di $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ e $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$, entrambi ritenuti interessanti per l'applicazione fotovoltaica. I materiali saranno depositati sia su vetro che sui substrati generalmente utilizzati per la fabbricazione del dispositivo, tenendo conto che sia la qualità del materiale che soprattutto il ricoprimento del substrato dipendono fortemente dalle caratteristiche dello stesso substrato. Le deposizioni su vetro serviranno per studiare le proprietà del materiale e in particolare per eseguirne una caratterizzazione ottica allo scopo di valutare uno dei parametri ritenuti chiave per le prestazioni delle celle a base di perovskite, il forte assorbimento ottico. Saranno poi realizzati dispositivi utilizzando inizialmente l'architettura di cella più semplice possibile e utilizzando dei substrati di tipo commerciale ottimizzati per l'applicazione. Saranno quindi acquisiti substrati di vetro ricoperti da uno strato di SnO_2 , da un blocking layer realizzato in TiO_2 e da uno strato mesoporoso di TiO_2 . Su tali substrati verrà poi depositato uno strato di perovskite e successivamente il dispositivo sarà completato con un contatto metallico. Il substrato di tipo mesoporoso è il più ampiamente utilizzato e ha consentito al momento di ottenere i record di efficienza. Questa prima sperimentazione eseguita su substrati mesoporosi ha lo scopo di consentire una valutazione preliminare della qualità del materiale assorbitore per la cella solare. Dal punto di vista della produzione industriale, tuttavia, la realizzazione di un'architettura di cella planare, non utilizzante cioè uno strato mesoporoso, è sicuramente più interessante e potrebbe facilitare l'utilizzo della perovskite in accoppiamento al silicio, utilizzando eventualmente anche film sottili di silicio, per la realizzazione di una cella tandem ad alta efficienza. Una volta quindi messe a punto in linea di massima le condizioni di preparazione del materiale, esso sarà testato su substrati flat, realizzati cioè da un TCO con un blocking layer per le lacune eventualmente ottenuto con materiali differenti rispetto a quello standard in TiO_2 . Un passo ulteriore sarà l'implementazione nell'architettura di cella di uno strato trasportatore di lacune posto tra l'assorbitore e il contatto metallico posteriore per migliorare la raccolta delle cariche fotogenerate. Le attività avranno quindi l'obiettivo di mettere a punto le tecniche di crescita del nuovo materiale assorbitore e di definire le architetture di dispositivo potenzialmente migliori sia dal punto di vista di efficienza di conversione che dal punto di vista dell'applicazione industriale.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di strati assorbitori per celle solari a base di film sottile di perovskite. Realizzazione di celle solari per valutare le potenzialità del materiale e definire le architetture più promettenti di dispositivo. Rapporto tecnico sulle attività

Principali collaborazioni: Università Federico II di Napoli - Dipartimento di Chimica

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c.2 Sviluppo di substrati con elevate proprietà di scattering della radiazione solare

Il confinamento ottico della radiazione solare all'interno di un dispositivo a film sottile è un elemento cruciale per ottimizzare l'assorbimento della radiazione solare utilizzando bassissimi spessori di materiale. Nelle scorse annualità sono stati sviluppati ossidi trasparenti e conduttivi a base di ZnO naturalmente testurizzati da utilizzare come elettrodi frontali e/o come back-reflector in celle solari a film sottile e substrati di vetro con superficie di adeguata rugosità. In particolare per quanto riguarda lo sviluppo di substrati di vetro rugosi, sono stati sviluppati metodi di trattamento delle superfici di vetro sia mediante metodo Aluminium Induced Texture (AIT) che mediante attacco chimico da soluzioni con l'obiettivo di migliorare l'intrappolamento della radiazione all'interno del dispositivo e contemporaneamente di sviluppare processi facilmente scalabili su larga area utilizzando i substrati comunemente utilizzati dall'industria fotovoltaica.

Seguendo le indicazioni derivanti dai risultati conseguiti nelle precedenti annualità, si lavorerà per migliorare complessivamente le prestazioni degli ossidi trasparenti e conduttivi, si valuterà l'efficacia dei trattamenti di testurizzazione del substrato ai fini del miglioramento del confinamento ottico nel dispositivo e si svilupperanno processi di testurizzazione che esibiscano, rispetto alle procedure attualmente in uso, caratteristiche di semplicità realizzativa e, al contempo, di economicità del processo complessivo.

Nella presente annualità verranno sviluppati trattamenti chimico-fisici associati a trattamenti chimici di substrati di vetro. La combinazione di processi di wet etching con trattamenti in plasma reattivo di opportuni gas ha l'obiettivo di controllare sia la velocità di etching che la micro-struttura della superficie. L'utilizzo di tecniche ibride di trattamento mira a coniugare in modo sinergico i vantaggi inerenti a ciascun

processo: i processi per via umida hanno il grande vantaggio di consentire controllo accurato del processo di rimozione e uniformità di trattamento delle superfici a costi contenuti, mentre i processi di etching in plasma reattivo consentono trattamenti anisotropi con elevato grado di controllabilità. Verranno ottimizzati i parametri di processo: composizione degli acidi o di miscele di acidi, tempi e modalità di attacco, effetto della temperatura, pressione e potenza di processo, tipo di gas di processo, al fine di perseguire un controllo efficiente della velocità di rimozione e di ottenere un attacco uniforme e riproducibile del substrato anche in relazione alla composizione chimica del substrato stesso. Come substrati verranno utilizzati sia vetro Corning del tipo Eagle XG, che vetri commerciali, quali il soda-lime o i borosilicati, comunemente impiegati nella produzione industriale di moduli, al fine di testare l'influenza della tipologia del substrato sull'applicabilità dei trattamenti testurizzanti e sulle caratteristiche di rugosità superficiali ottenibili.

Verrà condotto un lavoro di caratterizzazione delle proprietà di scattering attraverso l'analisi delle dimensioni laterali e verticali dei particolari morfologici superficiali (dimensioni, profondità, forma, angolo di scattering preferenziale delle cavità). L'ottimizzazione delle dimensioni dei particolari morfologici di superfici con testurizzazione random sarà condotta attraverso analisi comparate di rugosità quadratica media (RMS), densità di potenza spettrale (PSD) e scattering angolare (ARS). Infine verrà studiata la relazione tra le geometrie di testurizzazione e le proprietà di scattering anche attraverso simulazione ottica. Sui vetri trattati che presenteranno le più promettenti caratteristiche di rugosità superficiale verranno depositati, con tecnica di sputtering, ossidi trasparenti e conduttivi con proprietà ottiche ed elettriche ottimizzate, valutando anche lo spessore ottimale che garantisca efficacemente le suddette proprietà. Inoltre, sui vetri trattati, si procederà anche alla deposizione di ZnO mediante tecnica MOCVD con l'obiettivo di sviluppare strutture ad alto grado di testurizzazione per l'ottenimento di alta efficienza di scattering in un ampio range di lunghezze d'onda. L'effetto di differenti geometrie di testurizzazione sulle proprietà di scattering e l'efficacia dei trattamenti di testurizzazione del substrato ai fini del miglioramento del confinamento ottico nel dispositivo verranno valutate su celle a film sottile.

In definitiva, l'obiettivo è quello di ottenere substrati di vetro testurizzati in grado di determinare un efficiente effetto di light-trapping in dispositivi a film sottile.

Accanto allo sviluppo di substrati con morfologia di testurizzazione superficiale random, verranno anche considerate strutture costituite da cristalli fotonici in configurazione periodica e aperiodica. Saranno ulteriormente implementati i modelli numerici sviluppati nelle precedenti annualità per il calcolo dell'assorbimento delle celle in modo da progettare substrati idonei all'ottimizzazione dell'intrappolamento della radiazione. Tali strutture saranno poi testate mediante la fabbricazione di celle solari convenzionali a film sottile di silicio.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di processi ibridi di testurizzazione di substrati di vetro con metodi chimico-fisici di etching da plasma reattivo e chimici di wet etching. Ottimizzazione delle proprietà di scattering delle superfici. Rapporto tecnico sulle attività.
- Rapporto tecnico sulle potenzialità di miglioramento dell'intrappolamento della luce mediante lo sviluppo di substrati con strutture periodiche e aperiodiche.

Principali collaborazioni: Università Federico II di Napoli (Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale), Università del Sannio (Dipartimento di Ingegneria).

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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. Sarà inoltre organizzato un workshop tematico con lo scopo di presentare le attività svolte, di contestualizzare il progetto nell'ambito dello stato dell'arte scientifico ed industriale e di aprire gli scenari futuri della ricerca nel settore.

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
- Organizzazione di un workshop tematico

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

LINEA PROGETTUALE 2: SOLARE TERMODINAMICO

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Nell'ambito dei sistemi di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, il solare termodinamico può dare, in una prospettiva di medio termine, un contributo allo sviluppo di un sistema di produzione dell'energia elettrica sostenibile.

La ricerca ha come obiettivo principale la riduzione dei costi per rendere questi impianti sempre più competitivi rispetto alla produzione elettrica con i tradizionali combustibili fossili. Questo può essere realizzato sia attraverso il miglioramento dell'efficienza dei principali componenti e sistemi che con la semplificazione impiantistica ed il miglioramento delle procedure di gestione e manutenzione.

Nell'ambito dell'attività di ricerca, sono stati presi in esame alcuni aspetti della tecnologia come la raccolta e assorbimento della radiazione solare e lo stoccaggio dell'energia termica, inoltre l'attenzione è stata posta anche ai sistemi di piccola e media taglia per la produzione combinata di energia elettrica e termica, eventualmente ibridizzati con un'altra fonte energetica. In particolare l'attività di ricerca sarà finalizzata:

- al miglioramento delle prestazioni del principale componente del campo solare: il tubo ricevitore, attraverso lo sviluppo di nuovi coating ad alta efficienza di conversione foto-termica;
- allo studio, nell'ambito della tecnologia dei collettori parabolici lineari, di differenti configurazioni impiantistiche per migliorare l'efficienza, la produttività e ridurre i costi di realizzazione e di esercizio.
- allo sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia sfruttando l'energia termica immagazzinata nel sistema di accumulo.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Il ricevitore è l'elemento fondamentale di un impianto solare termodinamico, e svolge la funzione di assorbimento della radiazione solare concentrata e trasferimento del calore al fluido di processo. In particolare esso deve assorbire la maggiore quantità possibile di radiazione solare su di esso concentrata e, allo stesso tempo, deve disperdere verso l'ambiente esterno la minore quantità possibile del calore immagazzinato. Per quanto riguarda il rivestimento selettivo del tubo ricevitore, la tecnologia attualmente utilizzata è quella del coating a base di strati "cermet" (nano-compositi ceramico-metallici) del tipo "graded" (contenuto metallico a decrescere con lo spessore). Con l'obiettivo di rendere più efficienti e competitivi gli impianti termodinamici a collettori parabolici lineari, ENEA ha messo in campo e condotto con successo un approccio innovativo che mette insieme fluidi di scambio adatti all'alta temperatura (sali fusi) con la possibilità di accumulo del calore. Questa sfida tecnologica ha fatto da traino all'attività di sviluppo di nuovi coating solari efficienti e stabili alle alte temperature. Attraverso un miglioramento della tecnologia del tipo "cermet" e degli impianti del tipo sputtering, ENEA ha sviluppato soluzioni originali ed ha depositato brevetti su coating solari in grado di garantire ottime prestazioni nelle condizioni di funzionamento fino a 550 °C. I suoi brevetti sono attualmente utilizzati (concessione di licenza) per la produzione del tubo ricevitore dalla società Archimede Solar Energy (gruppo Angelantoni). Questo tubo è

l'unico sul mercato per l'utilizzo con i sali fusi ad alta temperatura.

Nella maggior parte degli attuali impianti solari termodinamici viene utilizzato un olio diatermico come fluido di scambio termico nel campo solare. La sostituzione di questo fluido con una miscela di sali fusi consente di incrementare la temperatura massima operativa dell'impianto fino a 550 °C, rispetto ai 390 °C dell'olio, con un notevole miglioramento dell'efficienza di conversione termoelettrica. I sali fusi hanno però la caratteristica sfavorevole dell'elevata temperatura di solidificazione che penalizza alcuni aspetti relativi alla gestione e manutenzione dell'impianto. Per mitigare questi aspetti si stanno studiando miscele alternative di sali fusi che presentano temperature di solidificazione notevolmente inferiori. Per risolvere completamente questi problemi è necessario ricorrere a fluidi alternativi come acqua o gas, interessanti per i potenziali vantaggi che questa tecnologia può dare specialmente dal punto di vista della semplificazione impiantistica e facilità di gestione e controllo.

Negli impianti solari termodinamici inoltre, per sopperire alla naturale variabilità della fonte primaria di energia, è quasi sempre presente un sistema di accumulo termico, che rappresenta uno degli elementi base per ottenere una riduzione del costo dell'energia prodotta, poiché consente di migliorare il funzionamento dell'impianto, aumentare non solo la sua capacità operativa ma anche di dispacciamento con una migliore integrazione con la rete elettrica.

Il sistema di accumulo migliore dal punto di vista dell'efficienza e dei costi, ad oggi individuato è quello a calore sensibile ad alta temperatura mediante impiego di sali fusi come mezzo di accumulo. Tale tecnologia è stata adottata anche da ENEA all'interno del Progetto Solare Termodinamico e sviluppata negli ultimi dieci anni. L'accumulo termico a sali fusi ha trovato applicazione nell'impianto dimostrativo "Archimede" realizzato da ENEA presso Priolo Gargallo (SR).

I sistemi integrati di generazione elettrica a supporto di impianti solari a concentrazione di piccola taglia potrebbero sostituire, per quanto riguarda i generatori di emergenza, i gruppi di continuità (UPS) che forniscono alimentazione elettrica quando l'alimentazione di rete viene a mancare. La possibilità di alimentare i sistemi elettrici di emergenza e di sopravvivenza di un impianto con l'enorme quantità di energia del sistema di accumulo termico, rende questi sistemi particolarmente affidabili e idonei anche a consentire l'installazione stand alone degli impianti solari termodinamici.

Per migliorare l'efficienza del tubo ricevitore, il materiale di rivestimento deve presentare un comportamento quanto più prossimo a quello ideale cioè: riflettanza nulla (assorbanza unitaria) nella regione del visibile, e riflettanza unitaria (assorbanza ed emissività nulla) nella regione dell'infrarosso termico, con un passaggio a gradino tra le due regioni. Per ottenere un simile comportamento ottico, i materiali di rivestimento presentano generalmente strutture complesse che prevedono più strati sottili opportunamente selezionati di materiali diversi ciascuno con proprietà ottiche differenti. Tali strutture multistrato tipicamente comprendono:

- uno strato metallico con alta riflettività nella regione dell'infrarosso atto ad assicurare un basso valore di emittanza;
- uno strato "Cermet" a profilo variabile, cioè con contenuto metallico decrescente al crescere dello spessore, per assorbire al meglio la radiazione solare incidente sul tubo ricevitore;
- uno strato anti-riflesso per minimizzare le perdite causate dalla riflessione della radiazione solare.

Per ottenere queste strutture multistrato la tecnologia utilizzata è un particolare metodo di deposizione in vuoto dei materiali che va sotto il nome di sputtering. Esistono molteplici tecniche di sputtering, le quali sono state sperimentate presso il C.R. ENEA di Portici per la messa a punto di film sottili per impiego nel campo dei coating solari. La soluzione finora sviluppata, e trasferita all'industria, ha consentito di ottenere ottime prestazioni del tubo ricevitore (95,5% di assorbanza solare e 9% di emissività termica a 400 °C). L'aumento di tali prestazioni può avere un impatto significativo sull'efficienza complessiva del campo solare e può essere perseguito mediante l'impiego di coating solari a base di strati ceramici e metallici ad alta compattezza e densità, ottenibili mediante modifiche significative della tecnica di deposizione del tipo sputtering. La tecnica ritenuta più idonea alla realizzazione di tali strati compatti è quella dello sputtering assistito da una cannone ionico ad alta energia (Ion Beam Assisted Deposition, IBAD).

Nell'ambito della tecnologia dei collettori parabolici lineari, l'attuale configurazione impiantistica di riferimento prevede impianti con doppio fluido termico: olio nel campo solare e sali fusi nel sistema di

accumulo. Il sistema di accumulo è quindi di tipo indiretto ed è presente uno scambiatore per il trasferimento del calore dall'olio ai sali nella fase di caricamento e viceversa in fase di scaricamento. Tale soluzione non consente di sfruttare tutte le potenzialità dei sali in quanto la temperatura massima dell'accumulo, 380 °C, è condizionata dalle caratteristiche dell'olio. La tecnologia a sali fusi sviluppata da ENEA, oltre a migliorare il rendimento di conversione elettrica, consente di realizzare sistemi diretti di accumulo termico, in cui lo stesso fluido è utilizzato sia nel campo solare che nel sistema di accumulo.

La più elevata temperatura permette di ottenere una capacità di accumulo sensibilmente più elevata, passando da 70 kWh/m³ nel caso di utilizzo dell'olio a 190 kWh/m³ con i sali fusi, e quindi a pari energia termica accumulata in un impianto ad olio la dimensione dell'accumulo aumenta del 175%. Per ridurre il costo e le dimensioni del sistema di accumulo sono state proposte diverse soluzioni; quelle che sembrano essere le più promettenti sono connesse all'uso di materiali solidi a basso costo, come ad esempio cementi speciali, materiali inerti, oppure sfruttando il calore latente (materiali a cambiamento di fase). Le principali problematiche connesse a queste soluzioni, e che sino ad oggi ne hanno ridotto le potenzialità, sono spesso correlate alla ridotta capacità di trasporto del calore (diffusività termica). La possibilità dell'uso di materiali a cambiamento di fase, miscelati con una opportuna quantità di nano particelle sembrerebbe, sulla base di alcuni recenti studi, poter incrementare sia la capacità termica del mezzo che la sua diffusività.

Nell'ambito delle applicazioni del solare termodinamico a sistemi co-generativi di piccola e media taglia, l'ENEA ha sviluppato una tecnologia modulare TREBIOS (TRigenerazione con Energie rinnovabili: BIOmasse e Solare termodinamico), con integrazione di biomasse e di altre componenti rinnovabili.

Rappresenta un'evoluzione della tecnologia ENEA, in cui il classico sistema di accumulo a doppio serbatoio è sostituito da un unico serbatoio con il generatore di vapore integrato al suo interno. L'integrazione dei due componenti dovrebbe fornire un servizio efficiente, affidabile ed economico adatto specialmente in applicazioni di piccola e media taglia.

Obiettivo finale dell'attività

Nell'ambito del solare termodinamico l'obiettivo finale dell'attività riguarderà:

- lo sviluppo di nuovi coating solari del tubo ricevitore caratterizzati da una eccellente efficienza di conversione foto-termica attraverso la sostituzione della consolidata tecnologia del coating a base di strati "cermet" del tipo "graded" con la più innovativa tecnologia di filtri ottici del tipo interferenziali a partire da stratificazioni di film sottili ceramici e metallici;
- lo studio di configurazioni impiantistiche alternative a quelle attuali, per individuare quelle più promettenti sia dal punto di vista dell'efficienza e produttività che dei costi di realizzazione e di esercizio;
- lo sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti solari termodinamici di piccola e media taglia, multi-generativi, sfruttando l'accoppiamento diretto con il sistema di accumulo termico a sali fusi ad alta temperatura.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Non sono state svolte attività operative di coordinamento con RSE e CNR perché le attività di questo progetto sono esclusive di ENEA.

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

Gli impianti solari termodinamici possono dare, in una prospettiva di medio termine, un contributo significativo allo sviluppo di un sistema di produzione dell'energia elettrica sostenibile attraverso l'ampliamento dell'utilizzo delle fonti rinnovabili e la riduzione dell'uso dei combustibili fossili importati e delle emissioni relative. Ad esempio, la realizzazione di un impianto da 30 MWe, nel sud dell'Italia, consentirebbe annualmente l'immissione in rete di circa 100 GWh, di ridurre di circa 19000 tep l'impiego di energia primaria e di evitare l'immissione in atmosfera di circa 56000 t di CO₂. La capacità di accumulo di questi sistemi contribuisce inoltre alla riduzione dei problemi connessi con l'inserimento in rete della

produzione da rinnovabili intermittenti.

Lo sviluppo di questa tecnologia comporta inoltre il consolidamento di una capacità produttiva nazionale dei principali componenti solari (quali tubo ricevitore, collettori, pannelli riflettenti) che possono quindi essere in grado di accedere al più ampio mercato europeo e mondiale.

Per quanto riguarda lo sviluppo di sistemi cogenerativi di piccola e media taglia, i benefici attesi consistono nella proposta sul mercato di sistemi innovativi, a costi contenuti, basati principalmente sulla componente solare ma integrati con una componente ibrida (in genere caratteristica del territorio di insediamento, per esempio biomasse), che garantiscono l'assoluta continuità di esercizio e con manutenzione ridotta.

Nel caso dei generatori di emergenza le soluzioni proposte influiranno grandemente sulla semplificazione e sulla riduzione dei costi dei servizi di emergenza delle centrali solari CSP, aumentandone al contempo l'affidabilità di esercizio e la capacità di diffusione anche in situazioni stand-alone e off-grid.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione obiettivi

a. Sviluppo di strati sottili ceramici e metallici ad alta compattezza e densità

a.1 Ottimizzazione di strati sottili metallici adatti alla realizzazione di filtri solari del tipo interferenziale

Nei filtri interferenziali a multi-stratificazione dielettrico-metallo per la realizzazione di coating selettivi solari, grande importanza sull'efficacia della selettività spettrale va ad assumere la qualità morfo-strutturale e, conseguentemente, ottica dei singoli strati sottili metallici. Molto si è lavorato nelle due precedenti annualità sull'obiettivo di densificare lo strato metallico depositato mediante tecnica di sputtering. In particolare, nella precedente annualità è stato condotto un lungo lavoro sistematico sul Tungsteno come interessante materiale metallico in quanto, nella forma bulk, esso presenta valori di n e k bassi nella regione del visibile e valori di k sufficientemente alti nella regione NIR-IR. Nella forma di film molto sottile, tuttavia, il tungsteno ottenuto per sputtering non ha mostrato una salita ripida del k nella regione dell'infrarosso. Per questo motivo è stata sperimentata la tecnica sputtering + IBAD come metodo promettente per densificare il film sottile di tungsteno. La sperimentazione è stata lunga e complessa, comportando la variazione di differenti parametri di processo e la scelta di due differenti configurazioni del sistema sputtering + IBAD. Constatato sperimentalmente che la fase nucleativa di crescita del Tungsteno mal si presta, sotto l'effetto di ioni energizzanti, ad incrementi sostanziali della "surface mobility" degli "adatoms" e sempre volendo perseguire l'obiettivo di migliorare le proprietà metalliche di film molto sottili di metallo mediante la tecnica IBAD, in questa annualità si prenderà in considerazione la possibilità di testare la suddetta tecnica su un metallo dal peso molecolare molto più basso di quello del Tungsteno (titanio, molibdeno, niobio). In questo caso, dovendo gli ioni del cannone IBAD agire su particelle di minor peso atomico, è probabile che l'energia fornita dagli ioni nella configurazione confocale sia sufficiente ad incrementare la "surface mobility" con un conseguente miglioramento delle proprietà metalliche. In definitiva, la finalità sarà sempre quella di valutare se la tecnica IBAD abbinata alla tecnica del magnetron sputtering sia in grado di densificare film metallici depositati con spessori molto sottili.

La densificazione del film metallico molto sottile potrebbe essere fortemente favorita operando a pressioni di sputtering decisamente più basse (0,1-0,3 μ Bar) rispetto a quelle comunemente impiegate (> 2 μ bar), obiettivo che potrebbe essere raggiunto sia operando in modalità combinata sputtering + IBAD sia limitandosi ad operare in normale modalità sputtering. Questa opzione del processo di deposizione a bassa pressione, pur presentandosi molto interessante, deve tener conto del limite tecnologico degli attuali catodi magnetron presenti sul nostro impianto di deposizione, catodi progettati e realizzati per operare a pressioni di processo medio-alte (tra 2 e 15 μ bar). Pertanto, sarà condotta una ricerca di mercato al fine di verificare la disponibilità di aziende del settore a progettare e realizzare catodi magnetron che possano lavorare bene a pressioni di processo molto basse. Laddove la risposta dovesse essere positiva, sarà acquistato un catodo e, probabilmente, un generatore ad hoc da accoppiare ad esso. Questa soluzione tecnologica sarà successivamente sperimentata sul nostro impianto di sputtering.

Inoltre, nella precedente annualità molto si è prodotto sperimentalmente sulla co-deposizione di due metalli, uno con caratteristiche di bassa riflettanza nella regione del visibile (tungsteno) e l'altro di alta riflettanza nella regione del NIR-IR (alluminio). Viste le risultanze del nostro lavoro sperimentale che mostrano chiaramente le interessanti potenzialità espresse dai materiali metallici compositi nel mediare e modulare le proprietà ottiche risultanti, in questa ultima annualità si procederà con lo sperimentare altre coppie di metalli (molibdeno-argento, niobio-argento, etc.) opportunamente scelte con la finalità di modificare ulteriormente l'andamento spettrale della riflettanza di film metallici molto sottili.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla fabbricazione e caratterizzazione di strati sottili metallici per la realizzazione di filtri solari del tipo interferenziale

Durata: ottobre 2014 - aprile 2015

a.2 Ottimizzazione, realizzazione e caratterizzazione di filtri solari del tipo interferenziale

E' opportuno qui ricordare che l'obiettivo finale di questa attività consiste nello sviluppo di nuovi coating solari del tubo ricevitore caratterizzati da un'alta efficienza di conversione foto-termica (alta assorbanza solare e bassa di emissività termica) con la sostituzione della consolidata tecnologia del coating a base di strati "cermet" (nano-compositi ceramico-metallici) del tipo "graded" (contenuto metallico a decrescere con lo spessore) con la più innovativa tecnologia di filtri ottici del tipo interferenziale a partire da stratificazioni di film sottili ceramici e metallici.

Per quanto riguarda gli strati ceramici in forma di film molto sottile, nelle due annualità precedenti è stato condotto un lungo e complesso lavoro sperimentale durante il quale sono stati depositati, ottimizzati e caratterizzati strati ceramici sia di tipo ossido sia di tipo nitruro. Inoltre, tali strati sono stati fabbricati con successo utilizzando sia la consolidata tecnologia dello sputtering in gas reattivo sia la più innovativa tecnologia a due step sequenziali Sputtering + Oxidation Glow (metodo MetaMode).

Per quanto riguarda gli strati metallici in forma di film molto sottile, anche in questo caso è stato condotto, nelle due annualità precedenti, un complesso lavoro sperimentale dove diverse soluzioni tecnologiche sono state impiegate con l'obiettivo di densificare il metallo già nella sua fase nucleativa. Tuttavia, allo stato attuale, i risultati in termini di indici ottici spettrali non sono ancora in linea con quelli attesi. Come descritto nell'obiettivo a.1, un ulteriore miglioramento dovrà essere ottenuto nella prima parte di questa annualità.

A partire dalle considerazioni su esposte, è plausibile prevedere che a partire da marzo 2015 tutta l'attività sperimentale condotta consentirà di poter maneggiare una ricca biblioteca di dati ottici efficaci, cioè di dati ottici relativi a materiali realizzati in forma di film molto sottili. La biblioteca di dati ottici riguarderà sia differenti materiali ceramici sia differenti materiali metallici, tutti potenziali candidati per la realizzazione di coating solari del tipo interferenziale a partire da stratificazioni alternate di film sottili ceramici e metallici. I dati ottici spettrali, derivati da misure sperimentali, saranno utilizzati come dati di input per l'attività di simulazione ottica delle stratificazioni interferenziali. Un software ad hoc (McLeod) sarà utilizzato per la valutazione della riflettanza spettrale delle differenti stratificazioni interferenziali, variando gli spessori dei singoli strati ed il numero degli strati utilizzati nella progettazione ottica. Attraverso il lavoro di simulazione ottica sarà condotto un processo di ottimizzazione con l'obiettivo di individuare le stratificazioni che accoppino il più alto valore di assorbanza solare con il più basso valore di emissività. Le "ricette" delle stratificazioni interferenziali otticamente più interessanti saranno trasferite sull'impianto di sputtering per la fabbricazione dei corrispettivi coating solari. Nell'esecuzione della "ricetta", gli strati ceramici (ossidi o nitrucci) saranno depositati sia utilizzando la consolidata tecnologia dello sputtering in gas reattivo sia la tecnologia a due step sequenziali Sputtering + Oxidation Glow. Piccoli aggiustamenti di ricetta potranno rendersi necessari laddove risultasse una qualche discordanza tra la riflettanza spettrale simulata e quella determinata sperimentalmente.

I coating solari fabbricati secondo "ricette" ottimizzate saranno caratterizzati otticamente e ne saranno valutate le prestazioni foto-termiche (assorbanza solare ed emissività). Un confronto significativo sarà esaminato e discusso tra il migliore coating interferenziale realizzato in questa fase ed un tipico coating solare a base di strati cermet realizzato da noi in passato.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla simulazione, ottimizzazione, realizzazione e caratterizzazione di coating solari del tipo interferenziale

Durata: marzo 2014 - settembre 2014

b. Studio di sistemi alternativi di accumulo termico

b.1 Sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso

Le attività previste nell'ambito del PAR 2014 saranno finalizzate alla definizione delle caratteristiche dei principali componenti di un prototipo di impianto solare a concentrazione alimentato con fluido gassoso e accumulo con materiale solido. Saranno inoltre definite e messe a punto attività sperimentali di laboratorio, che riguardano la fluidodinamica e lo scambio termico di aria a pressione atmosferica immessa in un modulo in scala dell'elemento di accumulo.

Le principali attività riguarderanno in particolare una semplificazione del modello di calcolo del transitorio di carico e recupero dell'energia termica, sviluppato nel corso del PAR 2013, necessario per definire la lunghezza ottimale dell'elemento di accumulo sulla base della curva di radiazione solare per un sito di riferimento. Inoltre, base dei risultati dell'attività di ricerca sviluppata nelle precedenti annualità, verranno definite le caratteristiche dei principali componenti di un impianto solare di piccola taglia con ciclo di Brayton e sistema di accumulo termico con materiale ceramico. Queste sono alla base di una progettazione preliminare dell'impianto solare, che potrebbe essere di riferimento per un impianto sperimentale su cui mettere a punto la tecnologia. L'attività di ricerca comprenderà:

- la verifica delle condizioni di esercizio della linea di tubi ricevitori che alimentano il sistema di accumulo termico e del blocco di surriscaldamento dell'aria a bassa pressione;
- il dimensionamento di un elemento del sistema di accumulo termico per condizioni di esercizio di 80 bar e 550 °C.

In parallelo verranno messe a punto delle prove sperimentali del funzionamento di un elemento di accumulo in scala ridotta. Questa attività ha l'obiettivo di verificare sperimentalmente le correlazioni di scambio termico e perdite di carico che sono state utilizzate nella metodologia sviluppata per il dimensionamento del sistema di accumulo. La sezione di prova sarà costituita da una tubazione strumentata con termocoppie inserite in posizioni predefinite, in cui saranno stivate le pellet di allumina in modo da avere il più alto grado di riempimento possibile. L'aria calda che attraversa la sezione di prova, rispettivamente a 550 °C durante la fase di accumulo di energia termica e a 120 °C durante la fase di recupero del calore accumulato, sarà fornita da un phon industriale che ha una potenza termica di circa 3,7 kW e una portata massima di aria di 550 L/min. Le sezioni di ingresso e uscita dell'aria dalla tubazione, saranno collegate a uno strumento che misura la portata del fluido e la differenza di pressione tra le due sezioni.

Risultati/Deliverable:

- Definizione delle principali caratteristiche di un impianto solare alimentato con aria compressa e accumulo termico con materiale ceramico
- Risultati dei test di laboratorio realizzati su un elemento in scala ridotta di accumulo termico con materiale ceramico

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

b.2 Selezione e caratterizzazione di una miscela di materiali a cambiamento di fase e nanoparticelle per lo sviluppo di sistemi di accumulo termico a media temperatura

Le attività previste in questo ambito si svilupperanno secondo le seguenti due linee:

1. Analisi della durabilità di miscele di PCM e nanoparticelle e simulazione del comportamento di nitrati fusi e loro interazione con le nanoparticelle

In questa attività, dovrà essere valutata la capacità della miscela PCM e nanoparticelle di mantenere nel

tempo le sue caratteristiche termiche principali (capacità, diffusività, ...) quando soggetta a numerosi cicli di cambiamento di fase solido-liquido. Una delle proprietà principali e più difficile da misurare è la diffusività termica. A tal fine, sarà effettuata un'analisi modellistica-computazionale per determinare la diffusività termica del PCM e la sua dipendenza dalla temperatura a partire da dati sperimentalmente ottenuti tramite il metodo Hot-Wire.

Inoltre, il comportamento di nitrati fusi (PCM) e la loro interazione con le nanoparticelle sarà valutata e prevista anche attraverso simulazioni numeriche "ab-initio". I metodi ab-initio permettono di simulare a livello atomico il comportamento di materiali per ricavare le diverse proprietà fisiche e chimiche senza introdurre parametri empirici nelle simulazioni. Essi richiedono però ingenti risorse di calcolo. Le risorse computazionali sono disponibili in ENEA, che dispone del sistema di calcolo CRESCO HPC, il quale verrà usato per le simulazioni. Nell'ambito dello studio dei nitrati come fluido termovettore e della possibile aggiunta di nanoparticelle, si propone lo studio ab-initio delle proprietà fisiche e chimiche di nitrati fusi, microscopiche (pair distribution function, mobilità degli ioni, presenza di strutture locali) e macroscopiche (densità, stabilità chimica, calore specifico); scopo dell'attività è ottenere un modello atomico affidabile dei sali per la simulazione di miscele o altri tipi di nitrati. In seguito sarà considerata l'interazione con nanoparticelle di ossidi metallici inserite nei sali, con particolare attenzione alla stabilità della nanoparticella e ai cambiamenti strutturali indotti dalla presenza dei sali.

2. Studio di nuovi materiali avanzati di accumulo termico a cambiamento di fase con proprietà termiche incrementate.

L'Università di Perugia, sulla base dell'esperienza maturata nei PAR 2012 e 2013 nello sviluppo di miscele PCM e nanoparticelle, proseguirà con lo studio di nuove tipologie di materiali di accumulo termico a calore latente a media temperatura (circa 220°C) in grado di evidenziare delle proprietà termiche maggiorate sia in termini di capacità che di diffusività. In una prima fase si analizzerà il nanoPCM sviluppato nel PAR 2013 (sali solari e nanoparticelle di silice/allumina) sostituendo le nanoparticelle utilizzate con altre di tipo metallico o con nanotubi al fine di aumentare la diffusività termica del mezzo.

Sarà inoltre studiata la possibilità di confinamento dei materiali PCM all'interno di microcapsule, con particolare attenzione al loro metodo di produzione. Le microcapsule contenenti PCM possono essere utilizzate all'interno di opportuni materiali cementizi per incrementarne la capacità di accumulo.

Risultati/Deliverable:

- Analisi della durabilità di miscele nitrati fusi-nanoparticelle e simulazione del comportamento di nitrati fusi e loro interazione con le nanoparticelle
- Studio di nuovi materiali avanzati di accumulo termico a cambiamento di fase con proprietà termiche incrementate

Principali collaborazioni: Università di Perugia

Durata: ottobre 2014 - maggio 2015

b.3 Prove sperimentali e simulazione del comportamento termo-dinamico di un sistema di accumulo termico a calore latente

Le attività previste in questo ambito si svilupperanno sulle seguenti due linee:

1. *Analisi sperimentale e numerica del comportamento termodinamico di sistemi elementari di accumulo a calore latente, LHTES (Latent Heat Thermal Energy Storage)*

Durante il PAR 2013 è stato realizzato un impianto sperimentale, nominato **ATES (Advanced Thermal Energy Storage)**, dedicato alla caratterizzazione termica di sistemi elementari di accumulo termico a calore latente. Tale impianto sarà, in questa fase, messo a punto ed automatizzato al fine di eseguire una serie di prove sperimentali su detti elementi con la relativa acquisizione dei dati. In particolare saranno provati elementi di accumulo con tubi lisci ed alettati, e con PCM base e con nanoPCM. I dati acquisiti saranno analizzati, elaborati e messi a confronto con risultati di prove condotte su tipi di accumulo differente. Contemporaneamente, saranno sviluppati dei modelli numerici, sia complessi 2D FEM e/o CFD che semplificati, validati attraverso un confronto con i risultati sperimentali.

2. Studio di fattibilità di un sistema LHTES di media taglia e della sua integrazione in impianti di piccola taglia

Sarà effettuato uno studio di fattibilità di un prototipo di sistema di accumulo termico a calore latente, con capacità tra 15 e 30 MWh da poter utilizzare in un impianto solare di piccola taglia. A tal fine saranno applicati i modelli precedentemente sviluppati. Inoltre, saranno valutate le modalità di integrazione di questo sistema all'interno dell'impianto CSP e gli eventuali vantaggi e svantaggi rispetto a tipologie diverse di accumulo.

Risultati/Deliverable:

- Analisi sperimentale e numerica del comportamento termodinamico di sistemi elementari di accumulo a calore latente
- Studio di fattibilità di un sistema LHTES di piccola taglia e della sua integrazione in un impianto solare termodinamico

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b.4 Prove sperimentali e simulazione del comportamento termodinamico di un sistema di accumulo termico a calore sensibile in cemento

Nell'ambito del PAR 2013 è stata condotta una campagna di ricerca su semplici elementi di accumulo in calcestruzzo a scala di laboratorio. Utilizzando i risultati ottenuti, si svilupperà e testerà un nuovo prototipo di modulo di accumulo di calore di maggiori dimensioni e con struttura simile a quella prevista per applicazioni industriali. In particolare verranno realizzati due moduli impiegando per ciascuno mix differenti di calcestruzzo, uno sviluppato autonomamente dall'Italcementi in precedenti proprie attività di ricerca, l'altro sviluppato dall'Università di Trento (UNITN) nell'ambito del PAR 2013. I due moduli avranno stesse dimensioni geometriche ed identico layout del piping inserito all'interno della matrice cementizia che funge da scambiatore per il trasferimento del calore nella fase di caricamento e per la sua asportazione nella fase di scaricamento. Il piping convoglierà un fluido termovettore con caratteristiche ecocompatibili ed adatto a temperature di esercizio fino a 300 °C. Per la sperimentazione verrà realizzato un circuito apposito in grado di operare alle temperature attese, completo dei sistemi necessari alla circolazione, al riscaldamento ed alla refrigerazione del fluido termo-vettore con potenza termica massima di circa 25 kW. Tutta l'attività sperimentale sarà effettuata dai tecnici ENEA presso i laboratori del C.R. Casaccia.

La sperimentazione sarà affiancata da un'attività di simulazione numerica, svolta prevalentemente dall'Università di Padova, mediante la quale verranno messi a punto opportuni modelli di calcolo al fine non solo di analizzare il comportamento termico del modulo, ma anche di evidenziare eventuali criticità e degrado funzionale e/o strutturale dei moduli stessi.

Risultati/Deliverable:

- Analisi sperimentale e numerica del comportamento termodinamico di sistemi di accumulo a calore sensibile in materiali cementizi
- Realizzazione e caratterizzazione di un modulo di accumulo basata su mescola sviluppata da UNITN
- Realizzazione e caratterizzazione di un modulo di accumulo realizzato su mescola sviluppata da Italcementi
- Progettazione termomeccanica del modulo di accumulo. Simulazioni ed analisi dei dati sperimentali

Principali collaborazioni: Università di Trento, Università di Padova

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia

Nell'ambito del PAR 2013 le attività hanno riguardato il completamento della caratterizzazione del serbatoio di accumulo a sali fusi dell'impianto sperimentale PCS nelle varie condizioni di esercizio, la progettazione completa di un sistema di cogenerazione con microturbina da 1,5 kWe ed il progetto preliminare di un generatore di vapore di tipo innovativo riscaldato da sali fusi per la produzione del vapore necessario ad alimentare la microturbina (12 bar e 60 kg/h), senza la necessità di preriscaldamento della

acqua di alimento.

In questa annualità le attività proseguiranno con la realizzazione del nuovo generatore di vapore e la sua qualifica, la realizzazione del circuito vapore completo (pompa di alimentazione, piping, valvole di sicurezza e regolazione, condensatore) e l'installazione e collegamento della microturbina e l'esecuzione delle prove sperimentali del sistema completo.

Installazione e prove preliminari di caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo con microturbina a vapore

▪ *Progettazione definitiva e realizzazione di un generatore di vapore innovativo "a pozzo"*

Sulla base della progettazione di massima effettuata nell'ambito del PAR 2013, l'attività procederà con la progettazione definitiva del generatore di vapore "a pozzo" di nuova concezione, che verrà integrato nel serbatoio di accumulo dell'Impianto PCS. La progettazione costruttiva, la fabbricazione e l'applicazione della strumentazione di controllo del generatore di vapore saranno affidati a Ditta esterna specializzata.

▪ *Realizzazione circuito di prova a vapore e installazione della microturbina con generatore elettrico*

La progettazione del circuito vapore e la predisposizione degli ordini per l'acquisto dei relativi materiali, componenti e strumenti necessari alla sua realizzazione sono stati già effettuati nell'ambito del PAR 2013. I lavori di realizzazione saranno affidati a Ditta esterna specializzata sotto la costante supervisione dei tecnici ENEA. Le modifiche all'Impianto PCS comprenderanno le realizzazioni di:

- basamento di posizionamento della nuova turbina da 1,5 kWe;
- linea di vapore pressurizzato in ingresso alla turbina, con valvole, raccordi, coibentazione;
- linea di vapore in uscita dalla turbina, con valvole, raccordi, coibentazione;
- basamento di posizionamento dello scambiatore di calore/condensatore ad aria necessario alla condensazione del vapore in uscita dalla turbina, con valvole, raccordi, valvola di sicurezza;
- linea di ritorno del condensato al serbatoio dell'acqua di alimento, con valvole, raccordi, coibentazione;
- montaggio e collegamento pompa di alimento al generatore di vapore
- installazione e collegamenti meccanici, elettrici e della strumentazione della nuova turbina da 1,5 kWe;
- impianto elettrico per il controllo e la regolazione dell'impianto, con realizzazione di un quadro elettrico per il collegamento generatore elettrico - utenza elettrica di prova;
- ampliamento del sistema di acquisizione dati già esistente sull'Impianto PCS con l'acquisto delle schede necessarie per l'acquisizione di tutti i nuovi dati sperimentali prodotti.

▪ *Prove di collaudo del circuito di prova , definizione della matrice sperimentale delle prove, esecuzione delle prove sperimentali, analisi e valutazione dati raccolti*

Le prove preliminari di avviamento del nuovo circuito e della turbina a vapore saranno effettuate utilizzando il vapore prodotto dal GV di nuova concezione integrato nel serbatoio di accumulo dell'Impianto PCS. Tali prove serviranno alla messa a punto di tutti i nuovi componenti e della nuova strumentazione e a definire le procedure operative e il campo di funzionamento del nuovo circuito di prova. Contemporaneamente verrà elaborata la matrice delle prove sperimentali da svolgere necessarie alla caratterizzazione completa del sistema in esame.

I dati sperimentali raccolti verranno quindi analizzati e valutati per la definizione delle caratteristiche complete del sistema in esame, la sua qualifica e l'analisi critica delle sue potenzialità e applicazioni future.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di un circuito sperimentale a produzione di vapore surriscaldato con generatore di vapore di nuova concezione per prove su piccole turbine a vapore
- Completa caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo composto da una microturbina a vapore e da un generatore di vapore integrato in serbatoio a sali fusi

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

d. Comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali

I risultati delle attività svolte nell'ambito del progetto saranno diffusi a diverse tipologie di utilizzatori e con modalità diverse, alla comunità scientifica tramite pubblicazioni su riviste scientifiche e partecipazioni a convegni nazionali ed internazionali; questo canale consentirà di confrontarsi con altri esperti del settore e di tenersi aggiornati sugli sviluppi più recenti delle tecnologie considerate; ai Ministeri competenti, alle pubbliche amministrazioni e all'industria nazionale tramite i documenti ufficiali prodotti e resi disponibili sul sito web ENEA.

Verrà organizzato uno specifico workshop sulle attività di ricerca relative alla produzione di elettricità da solare termodinamico sviluppate nell'ambito dell'Accordo di Programma. All'evento parteciperanno tutti i soggetti coinvolti direttamente nello svolgimento delle attività, e saranno invitati i vari interlocutori del settore sia in ambito scientifico che industriale. L'obiettivo è quello di fare il punto sullo stato dell'arte del settore ed evidenziare possibili aree specifiche di interesse. Nel corso dell'evento saranno illustrate le principali attività svolte anche durante le precedenti annualità e gli obiettivi di quelle attualmente previste. Tutte le relazioni saranno sintetizzate e raccolte in un'apposita pubblicazione che sarà oggetto di diffusione tramite i canali ufficiali ed istituzionali dell'ENEA. Tutti i documenti che descrivono in dettaglio le attività svolte ed i risultati ottenuti saranno resi pubblici tramite il sito web ENEA nella sezione dedicata alla Ricerca di Sistema Elettrico.

ENEA svolgerà inoltre azioni di supporto tecnico-scientifico ai Ministeri per la definizione di un quadro nazionale di riferimento, che guidi gli operatori coinvolti nel settore del solare termodinamico, in linea con quanto previsto dalla Strategia Energetica Nazionale, che individua questa tecnologia come una delle più promettenti per sviluppi industriali nel medio termine. ENEA parteciperà inoltre alle collaborazioni in corso nel settore, sia a livello europeo che internazionale, essenziali per indirizzare le attività di ricerca, stabilire sinergie con i principali attori non nazionali e acquisire risorse nell'ambito dei progetti europei. In particolare, tale partecipazione riguarderà i gruppi di lavoro dell'European Energy Research Alliance (EERA), l'Implementing Agreement dell'IEA SolarPACES e la European Solar Thermal Electricity Association (ESTELA).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulle attività di supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali
- Sintesi delle relazioni tenute in occasione del Workshop ENEA sulle attività relative alla produzione di elettricità da solare termodinamico svolte nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico.

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
LP1. RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE													
a	Celle solari ad eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer di tipo p												
b	Celle solari a base di Cu ₂ ZnSnS ₄ (CZTS)												
c	Materiali e architetture di dispositivo per celle solari a film sottile a base di perovskite												
	<i>c.1 Sviluppo di celle solari innovative a singola giunzione a base di perovskite</i>												
	<i>c.2 Sviluppo di substrati con elevate proprietà di scattering della radiazione solare</i>												
d	Comunicazione e diffusione dei risultati												
LP2. SOLARE TERMODINAMICO													
a	Sviluppo e realizzazione di coating solari del tipo interferenziale												
	<i>a.1 Ottimizzazione di strati sottili metallici adatti alla realizzazione di filtri solari del tipo interferenziale</i>												
	<i>a.2 Ottimizzazione, realizzazione e caratterizzazione di filtri solari del tipo interferenziale</i>												
b	Studio di sistemi alternativi di accumulo termico												
	<i>b.1 Sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso</i>												
	<i>b.2 Selezione e caratterizzazione di una miscela di materiali a cambiamento di fase e nanoparticelle per lo sviluppo di sistemi di accumulo termico a media temperatura</i>												
	<i>b.3 Prove sperimentali e simulazione del comportamento termo-dinamico di un sistema di accumulo termico a calore latente</i>												
	<i>b.4 Prove sperimentali e simulazione del comportamento termo-dinamico di un sistema di accumulo termico a calore sensibile in cemento</i>												
c	Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia												
d	Comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali												

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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.13 del PAR 2013), a pari a 35,1 €/h per la linea LP1 e 39,7 €/h per la linea LP2. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 21,0 €/h per la linea LP1 e 23,8 €/h per la linea LP2.

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)	
LP1. RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE										
a	Celle solari ad eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer di tipo p	3100	109	65	31	12	0	3	30	250
b	Celle solari a base di Cu ₂ ZnSnS ₄ .	3100	109	65	22	10	0	3	80	289
c	Materiali e architetture di dispositivo per celle solari a film sottile a base di perovskite									
	c.1 Sviluppo di celle solari innovative a singola giunzione a base di perovskite	2500	88	53	12	12	0	2	30	197
	c.2 Sviluppo di substrati con elevate proprietà di scattering della radiazione solare	2100	73	44	15	11	0	2	90	235
	Subtotale Ob. c	4600	161	97	27	23	0	4	120	432
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	350	12	7	0	5	0	5	0	29
	Totale LP1	11150	391	234	80	50	0	15	230	1000
LP2. SOLARE TERMODINAMICO										
a	Sviluppo e realizzazione di coating solari del tipo interferenziale									
	a.1 Ottimizzazione di strati sottili metallici adatti alla realizzazione di filtri solari del tipo interferenziale	1010	40	24	15	5	0	1	0	85
	a.2 Ottimizzazione, realizzazione e caratterizzazione di filtri solari del tipo interferenziale	1130	45	27	16	5	0	2	0	95
	Subtotale Ob. a	2140	85	51	31	10	0	3	0	180
b	Studio di sistemi alternativi di accumulo termico									
	b.1 Sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso	600	24	15	1	5	0	0	0	45
	b.2 Selezione e caratterizzazione di una miscela di materiali a cambiamento di fase e nanoparticelle per lo sviluppo di sistemi di accumulo termico a media temperatura	200	8	5	0	5	0	0	25	43
	b.3 Prove sperimentali e simulazione del comportamento termo-dinamico di un sistema di accumulo termico a calore latente	350	14	9	7	5	0	0	0	35
	b.4 Prove sperimentali e simulazione del comportamento termo-dinamico di un sistema di accumulo termico a calore sensibile in cemento	780	32	18	4	5	0	2	40	101
	Subtotale Ob. b	1930	78	47	12	20	0	2	65	224
c	Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia	960	38	22	7	7	0	0	0	74
d	Comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali	150	6	3	0	10	0	3	0	22
	Totale LP2	5180	207	123	50	47	0	8	65	500
	TOTALE	16330	598	357	130	97	0	23	295	1500

* 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

Linea Progettuale 1. Ricerca su celle fotovoltaiche innovative

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

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a	Acquisto generatore ad alta frequenza.	16.821	3.364	Deposizione strati passivanti per celle a eterogiunzione
a	Pompa turbo molecolare con controllore	7.924	1.585	Fabbricazione di dispositivi in regimi particolarmente polverosi che comportano rotture frequenti delle pompe stesse
a	acquisto sistema per la misura della risposta spettrale	72.600	14052	Caratterizzazione celle solari
c.1	Acquisto UV ozon cleaner	20.570	4.114	Sistema per il trattamento dei substrati
c.2	Forno "rapid thermal annealing"	60.878	12.175	Trattamento termico nel processo di testurizzazione vetri
a	Spettrofotometro FTIR	48.787	9.757	Caratterizzazione della microstruttura strati passivanti
c.1	Glove box	39.967	7.993	Caratterizzazione in glove box dei dispositivi
b	Fotoluminescenza	40.000	4.000	Analisi dispositivi e materiali
b	Forno di solforizzazione	40.000	3.000	Realizzazione celle in CZTS
c.2	Sistema di acquisizione immagini SEM	8.543	1.708	Analisi delle morfologie superficiali dei substrati
b	Modifiche impianto di sputtering e adeguamento sistema di controllo	72.712	14.542	Implementazione di un catodo per deposizione ITO o metallo e aggiunta di una camera di caricamento
a	Stufa da vuoto per trattamenti termici	5.160	1.032	Trattamenti termici delle celle a eterogiunzione
c.2	Acquisto banco ottico ed accessori	8.000	1000	Caratterizzazione ottica dei substrati testurizzati
a	Scanning Kelvin Probe systems	70.000	1000	Misura della funzione di lavoro di film sottili
b	Implementazione del sistema di sputtering con sorgente di zolfo	30.000	500	Deposizione CZTS utilizzando target tali da richiedere la presenza di una sorgente di zolfo.
b	Spettrometro per la "X-Ray Fluorescence" (XRF)	80.000	500	Studio della composizione chimica dei film di CZTS

(*) 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/c.2	Acquisto gas	5.000
c.2	Acquisto ricambi per microscopio SEM	5.000
c	Acquisto materiali e substrati per la fabbricazione di dispositivi	12.000
a	Acquisto wafer	7.000
a-b-c.2	Acquisto materiale per impianti da vuoto (flussimetri, baratron, valvole, tubi elettropuliti, etc)	8.000
b	Acquisto target di sputtering	4.000
d	Implementing agreement photovoltaic power systems – anno 2013	5.000
a/b/c/d	Iscrizioni a Conferenze	4.000

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	<p>Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione Elettronica e Telecomunicazioni - Sviluppo di strati sottili di ossido trasparente e conduttivo per applicazione alle celle ad eterogiunzione silicio amorfo/silicio cristallino</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, tra cui gli ossidi trasparenti e conduttivi, 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>	30
b	<p>Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Fisica - Caratterizzazione ottica di film sottili per dispositivi fotovoltaici basati su semiconduttori $Cu_2-II-IV-VI_4$</p> <p><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
b	<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 semiconduttori $Cu_2-II-IV-VI_4$</p> <p><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>	35
b	<p>Università di Milano Bicocca – Sviluppo di strati buffer per celle a base di CZTS</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo è l'unico in Italia ad occuparsi di cella 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>	10
c.1	<p>Università di Napoli "Federico II", Dipartimento di Scienze Chimiche - Sviluppo di copolimeri a blocchi per la realizzazione di matrici di ossidi metallici di tipo n</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Chimica dell'Università di Napoli "Federico II" è leader a livello nazionale e mondiale sullo sviluppo di copolimeri a blocchi che formano spontaneamente nanostrutture grazie al fenomeno di self-assembly ed è da considerarsi scelta unica per la tematica, come può essere evinto anche dalla qualità e quantità di pubblicazioni.</p>	30
c.2	<p>Università del Sannio - Dipartimento di Ingegneria - Cristalli fotonici ibridi metallo-dielettrici come strati riflettori posteriori di celle fotovoltaiche a film sottile per migliorare l'intrappolamento della radiazione solare</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>	48
c.2	<p>Università di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale - Sviluppo di processi di testurizzazione di substrati di vetro con metodi chimici</p> <p><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 allo stato amorfo (vetri speciali, vetroceramici nano-strutturati, nano-compositi porosi).</p>	42
TOTALE		230

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 (Attività affini al PAR 2014)
Fast Track - Accelerated development and prototyping of nano-technology based high-efficiency thin-film silicon solar modules (mar 2012 – feb 2015)	Le attività ENEA sono finalizzate all'ottimizzazione del riflettore posteriore di una cella tandem micromorfa con lo sviluppo di strati a base di silicio innovativi e il confronto tra i diversi riflettori attualmente utilizzati.
SOPHIA - PhotoVoltaic European Research Infrastructure (feb 2011- gen 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 (48 mesi – inizio gen 2014)	Le attività ENEA sono focalizzate sulle strategie di light trapping per le celle a film sottile di silicio, utilizzando nanostrutturazioni eseguite col Focused Ion Beam.

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob.	Risultati PAR 2013	Risultati attesi PAR 2014
a. Celle a eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer di silicio p		
	Ottimizzazione dello strato di ZnO e sviluppo della passivazione delle superfici dei wafer c-Si mediante film di silicio amorfo o ossido di silicio. Realizzazione di celle con efficienza massima di 17.4%.	Ottimizzazione della passivazione delle superfici dei wafer di silicio cristallino per la realizzazione di celle solari con efficienze >18%.
b. Celle a base di film policristallini a base di Cu_2ZnSnS_4		
	Ottimizzazione della stechiometria del CZTS e analisi dell'influenza di vari step di processo sulle prestazioni dei dispositivi. I risultati ottenuti hanno consentito di individuare i problemi più importanti su cui concentrare le future sperimentazioni e consolidare le attuali efficienze massime (5.7%) su un consistente numero di campioni. Studio di materiali per la realizzazione di giunzioni tunnel in dispositivi tandem CZTS/c-Si. Sono state indagate alcune possibilità: il drogaggio di tipo p del CZTS, l'utilizzo di uno strato di MoO_3 o di uno strato di NiO.	Ottimizzazione dei processi di deposizione del CZTS tramite co-sputtering e dei vari step di processo necessari alla realizzazione delle celle solari; studio di materiali per la realizzazione di giunzioni tunnel in dispositivi tandem CZTS/c-Si. Studio di materiali per la realizzazione di giunzioni tunnel in dispositivi tandem CZTS/c-Si.
c. Materiali e architetture di dispositivo per celle a film sottile a base di perovskite		
<i>c.1 Sviluppo di celle innovative a singola giunzione a base di perovskite</i>		
		Sviluppo di strati assorbitori per celle solari a base di film sottile di perovskite. Realizzazione di celle solari per valutare le potenzialità del materiale e definire le architetture più promettenti di dispositivo
<i>c.2 Sviluppo di substrati con elevate proprietà di scattering della radiazione solare</i>		
	Ottimizzazione della tecnica AIT e inizio di una sperimentazione sullo sviluppo di testurizzazione dei vetri mediante attacco chimico (wet etching). Sui substrati ottenuti mediante tecnica AIT sono stati realizzati dispositivi caratterizzati da efficienza quantica esterna simile, a quella ottenuta con substrati di tipo commerciale. Sviluppo di un modello numerico per la progettazione di riflettori posteriori e test di tale modello con substrati opportunamente realizzati.	Sviluppo di processi ibridi di testurizzazione di substrati di vetro con metodi chimico-fisici di etching da plasma reattivo e chimici di wet etching. Ottimizzazione delle proprietà di scattering delle superfici. Implementazione dei modelli numerici utilizzati per il calcolo dell'assorbimento in strutture costituite da cristalli fotonici in configurazione periodica e aperiodica. Realizzazione di prototipi di substrato per il test della progettazione.

Linea Progettuale 2. Solare termodinamico

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

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€) *	Uso attrezzatura
a.2	Attrezzature ed accessori per spettrofotometri	20.000	1.000	Caratterizzazioni ottiche materiali singoli strati e stratificazioni solari interferenziali complete
a.2	Componenti e strumentazione di controllo e misura per impianto di sputtering	10.000	500	Sviluppo stratificazioni solari interferenziali e messa a punto processi di fabbricazione su impianto di sputtering ENEA
a.1	Attrezzatura per plasma impianto di sputtering	20.000	500	R&S strati metallici sottili e messa a punto processi di fabbricazione su impianto di sputtering ENEA
a.2			500	Sviluppo stratificazioni solari interferenziali e messa a punto processi di fabbricazione su impianto di sputtering ENEA
b.1	Riscaldatore industriale e strumentazione	5.000	500	Test su elemento di accumulo a gas
b.4	Realizzazione impianto ad olio diatermico completo di strumentazione e controllo	55.000	5.500	Test su elementi di accumulo in calcestruzzo
c.1	Valvole varie per impianto cogenerativo	24.144	3.200	Componenti per realizzazione impianto cogenerativo
c.1	Schede di interfaccia per sistema di acquisizione	6.000	650	Sistema di acquisizione impianto cogenerativo
c.1	Pompa acqua alimento GV	3.000	330	Componenti per realizzazione impianto cogenerativo
c.1	GV completo di strumentazione	10.000	750	Componenti per realizzazione impianto cogenerativo

(*) 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	Componentistica da vuoto	1.500
a.2		1.500
a.1	Target per impianto di sputtering	3.000
a.2		3.000
a.1	Bombole gas di processo	1.000
a.2		1.000
b.1	Materiale ceramico, termocoppie, cavi elettrici, isolante, schede acquisizione	5.000
b.2	Costo CPU calcolo parallelo, immagini SEM	5.000
b.3	Raccorderia, materiale isolante, materiale elettronico	4.000
b.4	Materiale di isolamento, termocoppie, raccorderia, tubi di acciaio, materiale elettrico, olio diatermico	6.000
b.1	Aggiornamento licenza EES	1.500
b.4		1.500
c.1	Raccordi e tubazioni	3.000
c.1	Cavi elettrici di potenza e di segnale	2.000
c.1	Carpenteria varia e coibentazione	2.000

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€)
b.2	<p>Università di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Studio di nuovi materiali avanzati di accumulo termico a cambiamento di fase con proprietà termiche incrementate</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Per la loro comprovata esperienza sulla sintesi dei nuovi materiali nanocaricati. Sono all'interno del centro di eccellenza NANOFUN-POLY ("Nanostructured and Functional Polymer-based materials and nanocomposites) della commissione europea. Ha già partecipato allo svolgimento dei PAR 2012 e 2013, dimostrando grande professionalità e competenza.</p>	25
b.4	<p>Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Progettazione termomeccanica del modulo di accumulo. Realizzazione e caratterizzazione di un modulo di accumulo realizzato su mescola sviluppata da ITALCEMENTI. Simulazioni ed analisi dei dati sperimentali</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Perché collabora da 20 anni con ENEA sul comportamento del calcestruzzo ad alta temperatura all'interno di progetti nazionali e comunitari. E' una continuazione delle attività del PAR 2013 che sono state condotte con professionalità ed ottimi risultati.</p>	25
b.4	<p>Università di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica - Studio e caratterizzazione di calcestruzzi per l'accumulo di calore sensibile. Produzione di un modulo di accumulo di media dimensione con mescola sviluppata nell'ambito del PAR 2013.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Per la collaborazione con ENEA su progetti analoghi a livello nazionale. E' una continuazione delle attività del PAR 2013, che ha dimostrato la loro notevole competenza nel campo.</p>	15
TOTALE		65

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 Per quanto riguarda le attività relative

Per quanto riguarda le attività relative all'obiettivo c, "Sviluppo di sistemi integrati in impianti di piccolo taglia", l'ENEA partecipa a due progetti europei con tematiche generali simili:

MATS: Multipurpose Application by Thermodynamic Solar

Un "Collaborative Project" nell'ambito del 7th Framework Programme, Energy, "Demonstration of innovative multipurpose solar plants (topic 2.9-1). L'ENEA è il coordinatore del progetto che prevede la realizzazione di un impianto solare a collettori parabolici lineari con sistema di accumulo costituito da un unico serbatoio con generatore di vapore integrato, per la produzione di energia elettrica (1 MWe), acqua dissalata (250 m³/giorno) e raffreddamento. Il progetto è attualmente sospeso in attesa dell'entrata di nuovi partner in sostituzione alcuni che sono usciti.

OPTS: OPTimization of a Thermal energy Storage system

Un "Collaborative Project" nell'ambito del 7th Framework Programme, Energy, "Thermal energy storage for CSP plants" (topic 2.5-1). L'ENEA è il coordinatore del progetto che prevede lo sviluppo di un nuovo sistema di accumulo basato su un unico serbatoio a sali fusi con generatore integrato per la nuova generazione di impianti a collettori parabolici lineari o a torre. E' prevista la progettazione e realizzazione di un modulo da 12.5 MWt che verrà installato e provato all'interno di un impianto CSP a collettori parabolici lineari ad olio con accumulo a sali fusi della società spagnola COBRA.

Il progetto è stato chiuso lo scorso giugno per l'uscita di alcuni partner.

6. Risultati ottenuti nella annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Obiettivo	Risultati conseguiti PAR 2013	Risultati previsti PAR 2014
a. Sviluppo e realizzazione di coating solari del tipo interferenziale		
a.1	Fabbricazione e caratterizzazione di filtri interferenziali del tipo a stratificazione metallo/ossido da utilizzare come coating solari	Ottimizzazione di strati sottili metallici adatti alla realizzazione di filtri solari del tipo interferenziale
a.2	Sperimentazione di tecnica MetaMode mediante l'utilizzo della sorgente IBAD per la produzione di film di ossidi metallici di alta qualità ottica.	Ottimizzazione, realizzazione e caratterizzazione di filtri solari del tipo interferenziale
b. Studio di sistemi alternativi di accumulo termico		
b.1	Sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso	Sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso
b.2	Selezione e caratterizzazione di una miscela di materiali a cambiamento di fase e nanoparticelle per lo sviluppo di un sistema di accumulo termico nell'intervallo di temperatura 200-250°C.	Selezione e caratterizzazione di una miscela di materiali a cambiamento di fase e nanoparticelle per lo sviluppo di sistemi di accumulo termico a media temperatura
b.3	Simulazione del comportamento termo-dinamico di elementi base di accumulo sia a calore latente che a calore sensibile in calcestruzzo	Simulazione del comportamento termo-dinamico di elementi base di accumulo sia a calore latente che a calore sensibile in calcestruzzo
b.3	Sviluppo di tecniche di modellazione di moduli di accumulo in calcestruzzo contenente micro capsule di materiale a cambiamento di fase	Prove sperimentali e simulazione del comportamento termo-dinamico di un sistema di accumulo termico a calore latente
b.4	Prove sperimentali del comportamento termico di elementi base di accumulo sia a calore latente che a calore sensibile in calcestruzzo.	Prove sperimentali e simulazione del comportamento termo-dinamico di un sistema di accumulo termico a calore sensibile in cemento
c. Studio di sistemi alternativi di accumulo termico		
c.1	Caratterizzazione termica del serbatoio di accumulo a sali fusi dell'Impianto Sperimentale PCS in condizioni reali di esercizio del sistema, sia in stazionario che in transitorio	Installazione e prove preliminari di caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo con microturbina a vapore.
c.2	Progettazione, installazione e prove preliminari di caratterizzazione di un sistema cogenerativo con microturbina a vapore da installare sull'impianto PCS.	
d. Comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali		
	Partecipazione alla missione imprenditoriale in Arabia Saudita all'Italian Cleantech Showcase su invito del ministero dello sviluppo economico e dell'agenzia per il commercio estero. L'ENEA ha presentato la tecnologia italiana sul CSP ed il ruolo dell'ENEA nel suo sviluppo. Partecipazione alla conferenza SolarPaACES 2014	Partecipazione alla conferenza SolarPaACES 2015

AREA	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
Tema di Ricerca	STUDI E SPERIMENTAZIONI SUI POTENZIALI SVILUPPI DELLE ENERGIE RINNOVABILI - ENERGIA DAL MARE
Progetto B.1.4	STUDI E VALUTAZIONI SULLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DALLE CORRENTI MARINE E DAL MOTO ONDOSI

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Come dimostrato di recente dagli studi ENEA condotti nell'ambito dei precedenti PAR, i mari italiani possiedono un importante livello di energia associata al moto ondoso paragonabile a quello presente sulle coste baltiche del nord Europa. L'Italia, con i suoi 8000 km di costa, si colloca quindi tra i Paesi euro-mediterranei che possono trarre i maggiori benefici dallo sfruttamento di questa forma di potenziale energetico marino. I vantaggi che si possono ricavare dallo sfruttamento del moto ondoso sono enormi:

- una maggiore diffusione e densità di energia rispetto ad altre fonti rinnovabili come il vento, le maree;
- la variabilità oraria e giornaliera minore rispetto a quelle di altre risorse rinnovabili, come il vento, il sole o le correnti oceaniche;
- la favorevole variazione stagionale che segue il trend del consumo di energia elettrica nell'Europa occidentale;
- la grande affidabilità con la quale i livelli ondosi, in una specifica località, possano essere previsti con largo anticipo;
- la possibilità di sfruttare ampie superfici oceaniche di molti chilometri quadrati;
- la possibile integrazione all'energia eolica, in quanto in presenza di vento si ha la contemporanea azione delle turbine eoliche e della generazione delle onde marine sulla superficie libera. Inoltre l'onda generata da una raffica di vento dura più a lungo nel tempo rispetto alla raffica di vento stessa;
- il basso impatto ambientale e visivo che ha la maggior parte dei dispositivi per la trasformazione di energia da onda rispetto ad esempio alle turbine eoliche; infatti dispositivi di conversione di energia ondosa sono quasi invisibili sopra la linea dell'orizzonte, a differenza delle turbine eoliche che, sviluppandosi in altezza, hanno un impatto visivo più marcato.

In conseguenza di quanto sopra detto, le attività di ricerca e sviluppo del presente progetto possono essere divise in due linee di attività: una prima linea dedicata alla risorsa e una seconda linea dedicata allo sviluppo di dispositivi di conversione del moto ondoso. La prima linea di attività (obiettivi a, b) ha come scopo quello di descrivere nel modo più completo possibile la risorsa presente in alcuni punti particolarmente promettenti delle coste italiane, anche in termini di impatto ambientale. Per tale motivo, l'obiettivo b sarà dedicato allo sviluppo di una metodologia basata su dati osservati da satellite a supporto della determinazione dell'estensione della posidonia oceanica e più in generale a supporto delle stime dei potenziali impatti ambientali creati dai dispositivi di conversione. La seconda linea di attività (obiettivi c, d, e, f) è interamente dedicata a due tipi di convertitori particolarmente promettenti, uno di tipo *near-shore* e uno *off-shore*. Nello specifico gli obiettivi c, d, e sono dedicati al convertitore di tipo OWC (*Oscillating Water Column, near-shore*) già progettato e installato nel corso del precedente PAR presso il laboratorio NOEL dell'Università di Reggio Calabria sito. Il dispositivo in scala 1:8 è del tipo REWEC3 a geometria variabile (REWEC3-GV). Gli obiettivi c, d riguardano l'analisi delle prestazioni del prototipo sia attraverso esperimenti condotti in mare, presso il laboratorio NOEL, che numerici condotti con un modello di tipo CFD da implementare nel corso del presente progetto. Infine l'obiettivo e si occupa di studiare un nuovo tipo di *power take-off* da applicare al REWEC3-GV in sostituzione delle classiche turbine *Wells*. Nello specifico, si studieranno delle soluzioni ad hoc da applicare al REWEC3-GV basate sugli elastomeri elettroattivi.

L'obiettivo f è dedicato alla progettazione e validazione, attraverso test da condurre nella vasca navale di

Roma (appartenente al CNR-INSEAN), del prototipo PEWEC, già costruito in scala 1:45 nel corso della precedente annualità. Come previsto dal protocollo europeo EQUIMAR, che stabilisce i criteri da seguire durante la fase di progettazione dei convertitori dell'energia marina da semplici *concept* fino alla fase di prototipo in scala 1:1, nel corso del presente progetto sarà progettato e costruito il prototipo PEWEC in una scala compresa tra 1:15 a 1:10 (da stabilirsi nel corso delle prime fasi progettuali) sulla base dei risultati acquisiti attraverso le sperimentazioni effettuate sul prototipo in scala 1:45 progettato e realizzato nella precedente annualità.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Lo sviluppo delle tecnologie per la conversione delle onde e delle maree in energia elettrica ha compiuto notevoli progressi negli ultimi anni soprattutto nell'area europea. L'industria che affianca lo sviluppo di questa energia rinnovabile è attualmente impegnata alla sperimentazione di prototipi per valutarne il funzionamento in ambiente reale e l'affidabilità su scale di tempo medio-lunghe. Tra i Paesi maggiormente impegnati nell'area mediterranea nella ricerca e sviluppo di prototipi per la conversione del moto ondoso in energia elettrica l'Italia riveste un ruolo di primaria importanza. L'ENEA, in collaborazione con le principali realtà accademiche nazionali, si colloca tra i principali attori sulla scena nazionale per la valutazione della risorsa e lo sviluppo di prototipi innovativi particolarmente adatti ai mari italiani. L'ENEA, in collaborazione con l'Università Mediterranea di Reggio Calabria (UniRC) e il Politecnico di Torino sta seguendo la realizzazione di due dispositivi di conversione: uno di tipo costiero e uno di tipo *off-shore*. Il dispositivo costiero è realizzato in collaborazione con l'Università di Reggio Calabria, ed è del tipo a colonna d'acqua oscillante (OWC). Il dispositivo è molto simile al prototipo REWEC3, ma con alcune differenze negli elementi geometrici che ne costituiscono l'ossatura interna (REWEV3-GV). Il dispositivo REWEC3-GV è stato progettato, realizzato in scala 1:8, e installato su una diga in cemento armato presente nello stretto di Messina presso il laboratorio NOEL di UniRC. Il REWEC3-GV sarà testato attraverso una serie di sperimentazioni in situ atte a verificarne il funzionamento in ambiente reale nel corso del seguente progetto.

Nel panorama dei WEC i dispositivi di tipo *point-absorber* rivestono un'importanza particolare per le loro interessanti peculiarità. Un *point-absorber* è un WEC con ridotte dimensioni rispetto all'onda in ingresso ma, grazie alle azioni di radiazione, in grado di assorbire energia da un fronte d'onda ben più ampio della sua larghezza fisica. Per questa caratteristica solitamente hanno un impatto ambientale ridotto a fronte di una capacità notevole di assorbire potenza. Se il *point absorber* inoltre è dotato di sistemi di conversione dell'energia di tipo inerziale (giroscopio, massa rotante/traslante, ...) la sua affidabilità aumenta notevolmente in quanto grazie a tali sistemi è possibile contenere all'interno dello scafo tutti gli organi in movimento necessari alla produzione di energia elettrica. Tali organi sono quindi protetti dall'ambiente marino aggressivo e oltre ad avere una vita operativa maggiore anche la loro manutenzione ne è facilitata.

Tipicamente i *point absorber* inerziali hanno ancoraggi poco invasivi sul fondale marino, non necessitando di scambiare azioni rilevanti con il fondale per la produzione di energia elettrica. Inoltre la dispersione di inquinanti nell'ambiente a causa di possibili guasti è molto improbabile, essendo tutto l'apparato di potenza protetto all'interno dello scafo. Queste caratteristiche ne riducono ulteriormente l'impatto ambientale. Il dispositivo PEWEC che ENEA sta studiando in collaborazione con il Politecnico di Torino è un tipico esempio di *point absorber* dotato di sistemi di conversione dell'energia di tipo inerziale. Le sue caratteristiche costruttive lo rendono particolarmente versatile (di semplice generalizzazione a qualunque stato di mare), e di semplice installazione e manutenzione. Nel corso della precedente annualità PEWEC è stato realizzato in scala 1:45, mentre nel corso del presente progetto, grazie ai dati acquisiti durante le sperimentazioni condotte la scorsa annualità, PEWEC sarà progettato e realizzato in una scala compresa tra 1:10 e 1:15.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale dell'attività di ricerca è di favorire l'accelerazione dello sviluppo commerciale dei sistemi di conversione del moto ondoso, e qualificare le aziende italiane nei confronti di un prossimo futuro mercato internazionale, attraverso un programma di attività articolato sui diversi aspetti, sia oceanografici

che ingegneristici, della produzione di energia elettrica dal mare. Tra questi aspetti ricordiamo la valutazione del clima d'onda presente nelle regioni di massimo interesse, lo sviluppo di sistemi di previsione dell'energia associata ai diversi stati del mare, la valutazione degli estremi climatici, la progettazione e ottimizzazione di dispositivi di conversione e di sistemi di connessione alla rete elettrica a terra a basso costo e bassa dissipazione. La prospettiva di più lungo periodo potrebbe riguardare lo sviluppo di una filiera tecnologica innovativa, come punto di raccordo tra le numerose attività in corso a livello industriale e accademico, in analogia con l'esperienza del solare termodinamico, in cui l'ENEA, attraverso lo sviluppo di una filiera tecnologica innovativa, ha favorito la crescita di aziende nazionali specializzate nel settore e la loro proiezione a livello internazionale.

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 seguente PAR, saranno utilizzate le infrastrutture presenti in INSEAN; in particolare saranno condotte le prove sperimentali del prototipo in scala PEWEC presso la vasca navale. Le infrastrutture saranno rese disponibili da parte di INSEAN a fronte di un regolare contratto che sarà stipulato tra ENEA e CNR-INSEAN.

Al fine di garantire la massima sinergia all'interno del programma e la migliore distribuzione delle risorse, ENEA e RSE hanno operato in maniera coordinata al fine di assicurare lo scambio dei dati prodotti e pianificare le rispettive attività in modo organico. Nel corso di riunioni periodiche che si tengono tra personale RSE e personale ENEA coinvolto nel progetto, il coordinamento delle attività svolte viene sistematicamente perfezionato.

RSE ed ENEA hanno concordato sulla necessità di dare evidenza ed ampia diffusione ai risultati ottenuti all'interno del progetto predisponendo la realizzazione di una newsletter dedicata al tema dell'energia dal mare e le attività condotte per la "Ricerca di sistema elettrico" in particolare. La newsletter sarà a carattere nazionale e sarà spedita a tutti i soggetti interessati al tema dell'energia dal mare (Università, Centri di Ricerca sia pubblici che privati, ENEL, Terna, CCSE, Ministero Sviluppo Economico, Fincantieri, Distretti Tecnologici, RINA, piccolo e medie imprese, etc).

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

L'obiettivo di produrre energia mediante lo sfruttamento delle fonti rinnovabili è diventato un target ormai consolidato e rientra nei programmi di ricerca ed industriali di quasi tutte le strategie politiche nazionali ed internazionali. I sistemi di conversione di queste forme di energia sono però caratterizzati da dimensioni considerevoli se rapportate alla produttività dell'impianto: questo a causa della bassa densità di potenza delle fonti stesse. In tale ottica è impensabile, soprattutto in zone ad elevata densità di popolazione come l'Europa, considerare solo soluzioni installabili su terra. Risulta quindi importante diversificare sia la tipologia di fonte energetica da sfruttare sia la localizzazione degli impianti, rivolgendosi anche ad applicazioni localizzabili *offshore*, puntando allo sfruttamento dell'energia del mare. Lo sfruttamento dell'energia del moto ondoso risulta poco invasivo in quanto non necessita, almeno per quanto riguarda le soluzioni proposte dal progetto B.1.5, di strutture fisse sul fondale e non genera danni significativi alla morfologia e all'habitat.

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.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione degli obiettivi

a. Analisi climatologica dell'energia nelle diverse componenti del moto ondoso e previsioni operative

Una precisa valutazione della risorsa è fondamentale per identificare i siti idonei all'installazione di impianti di conversione dell'energia da moto ondoso e per stimarne la produttività. Nel corso dell'annualità precedente è stata realizzata una climatologia dell'energia associata al moto ondoso per il bacino Mediterraneo, basata su una simulazione numerica relativa al periodo 1980-2004. Oltre ai valori delle grandezze integrate per l'intero bacino, sono stati memorizzati per 20 siti i valori degli spettri bidimensionali dell'energia, funzione cioè di frequenza e direzione, per tutta la durata della simulazione. E' stata quindi calcolata la curva di produzione annua in funzione della potenza installata, ottenuta ipotizzando specifici intervalli di funzionamento dell'impianto, in termini di frequenza dell'onda e di direzione di propagazione. La progettazione di impianti di conversione di energia ondosa richiede una informazione dettagliata sulle caratteristiche delle onde in termini di frequenza e direzione di propagazione. In generale le onde in un punto sono determinate dalla combinazione di onde generate localmente dal vento e di onde che si sono propagate da regioni lontane. Una tecnica che viene utilizzata per la separazione delle varie componenti del moto ondoso, è quella del *partizionamento*. Questa tecnica, derivata dalle metodologie per l'individuazione dei bacini idrologici, consiste nell'identificare i picchi nello spettro bidimensionale di energia e separarli in diverse partizioni tenendo conto delle pendenze dello spettro. Le partizioni possono essere poi aggregate secondo differenti criteri, ad esempio sulla base della velocità di fase delle onde e dell'angolo formato rispetto al vento locale, in modo da identificare i picchi generati da vento locale e quelli derivati da eventi lontani. Per definire con maggiore accuratezza le statistiche relative alle varie componenti d'onda, nel corso di questa annualità verrà quindi approfondito lo studio degli spettri d'onda utilizzando la tecnica del *partizionamento* dello spettro. I parametri caratteristici delle diverse partizioni saranno quindi utilizzati per calcolare sia statistiche stagionali che interannuali, di fondamentale importanza ai fini della caratterizzazione dei siti e della scelta e del dimensionamento di un opportuno convertitore di energia.

Un'altra attività che verrà effettuata nel corso della presente annualità consiste nell'ampliamento del sistema operativo di previsione dello stato del mare. Il sistema attualmente prevede infatti oltre alla simulazione relativa all'intero bacino Mediterraneo effettuata con il modello WAM alla risoluzione di $1/32^\circ$, anche 10 sottobacini per i quali la simulazione viene effettuata con il modello SWAN ad una risoluzione quattro volte maggiore. Nel corso di questa annualità verrà introdotta la simulazione ad alta risoluzione relativa ad un ulteriore sottobacino realizzato per includere la zona dello stretto di Messina. Questa attività avrà lo scopo di fornire previsioni accurate utili nella fase di sperimentazione in campo di sistemi di conversione di energia da onde che verrà effettuata congiuntamente tra l'ENEA e il personale dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria nel laboratorio situato sul lungomare di Reggio Calabria.

Il modello delle onde per il mar Mediterraneo messo a punto nel corso delle annualità precedenti è in funzione in modalità operativa a partire dal giugno 2013. I dati relativi alle previsioni giornaliere coprono ormai un intervallo di tempo maggiore di un anno, nel corso di questa annualità verrà quindi effettuata una verifica sistematica dei risultati, utilizzando per il confronto i dati delle boe della rete Ondametrica Nazionale (RON) ed i dati di altezza d'onda ricavati dai satelliti.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo all'analisi degli spettri bidimensionali con analisi statistiche stagionali e interannuali relative alle diverse partizioni

- Rapporto tecnico relativo alla validazione del sistema operativo di previsione del moto ondoso

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b. Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare

Le attività di questo obiettivo mirano all'implementazione di metodologie integrate basate sulle tecnologie di telerilevamento aerospaziale più recenti per il monitoraggio e la mappatura della vegetazione dei bassi fondali, in particolare la Posidonia Oceanica, e dei suoi parametri biofisici in differenti zone costiere italiane potenzialmente interessate all'installazione di infrastrutture per la produzione energetica dal mare. In particolare ci si propone di sviluppare applicazioni avanzate mirate a soddisfare le esigenze di valutazione dell'impatto ambientale su questi ecosistemi derivanti dall'installazione sulle coste degli impianti per lo sfruttamento dell'energia del moto ondoso e correnti di marea integrando differenti tecnologie ed informazioni per produrre mappe di distribuzione dei parametri d'interesse con livello di accuratezza compatibile con l'utilizzo delle varie tecniche di remote sensing più recenti per i rilievi sulle zone d'interesse.

L'interesse è focalizzato sulle eventuali metodologie da mettere a punto per valutare i cambiamenti intercorsi nelle distribuzioni in relazione agli interventi costieri utilizzando sia le serie storiche satellitari disponibili a partire dagli anni '80, sia le banche-dati a livello nazionale ove adeguatamente aggiornate, sull'intera costa italiana. Tali metodologie dovrebbero assicurare una mappatura di dettaglio delle distribuzioni dei vari parametri biofisici d'interesse relativi agli ecosistemi vegetali costieri, in particolare la posidonia oceanica, ottimizzando e minimizzando i dispendiosi rilievi puntuali in situ. Sulla base dei risultati precedenti ottenuti in varie zone della costa Tirrenica, la proposta di attività del prossimo anno mira alla messa a punto di una metodologia per monitorare adeguatamente l'ecosistema costiero, in particolare la Posidonia, nei siti d'interesse del progetto utilizzando un approccio integrato basato sulle tecniche di telerilevamento e GIS (Geographical Information System) più avanzate accoppiate con i più recenti risultati precedentemente ottenuti tramite metodi innovativi per misure in situ dedicate alla calibrazione dei dati telerilevati. In particolare sui siti selezionati, da caratterizzare preventivamente sulla base d'informazioni preesistenti, saranno acquisite immagini multispettrali telerilevate da satellite in coincidenza con situazioni di trasparenza dell'acqua adeguata e stato fenologico della PO più propizio. Si prevede di utilizzare inizialmente i dati multispettrali acquisiti dal nuovo sensore satellitare Landsat 8 OLI, in sette bande spettrali nel visibile ed infrarosso (Vis, NIR, SWIR) con risoluzione di 30 m. a terra e radiometria adeguata. Tale sensore, implementato e gestito dalla NASA, ha una copertura temporale di circa 20 giorni alle nostre latitudini, con acquisizione sistematica delle immagini che ricoprono un'area di circa 200x200 Km. In tal modo sarà possibile selezionare le immagini maggiormente utilizzabili sull'area d'interesse tenendo conto della copertura nuvolosa e delle condizioni di trasparenza dell'acqua per la quale potranno essere sfruttate anche le stime prodotte nell'ambito delle missioni focalizzate sul rilievo dei parametri di qualità dell'acqua (SeaWifs, MODIS,...). Oltre ai dati Landsat 8 OLI potranno essere utilizzati quelli di altri sensori dalle caratteristiche adeguate disponibili su base open access (Chris-Proba, ALOS, Sentinel 2) e/o commerciale (Rapid-Eye, IKONOS, Quick-Bird, WorldView 2). Sulle aree d'interesse da selezionare verranno reperite e selezionate preliminarmente informazioni, prodotti tematici e misurazioni preesistenti relative ai vari rilevamenti in situ effettuati in precedenza, da utilizzare poi per le attività di calibrazione dei prodotti ottenuti dai dati satellitari, dopo eventuale preelaborazione ed omogeneizzazione. Tali misure potranno riguardare vari parametri biofisici della prateria di posidonia, tra cui la densità e le caratteristiche fogliari da cui derivare il LAI (Leaf Area Index), correlato alla produttività, inoltre verranno considerati eventuali parametri disponibili derivati dalle varie analisi di laboratorio (dry/wet weight, chl, pigmenti, genetica,...) legati ai vari fattori di stress delle piante ed alla pressione ambientale esistente nell'area costiera selezionata. L'obiettivo del lavoro è quello di utilizzare i dati multispettrali telerilevati, debitamente corretti e calibrati, per stima delle distribuzioni dei seguenti parametri della posidonia sotto forma di mappe tematiche quali: estensione, tipologie, ed eventualmente densità e parametri biofisici (LAI, GIRAUD,...). A tal fine sarà necessario preventivamente procedere a rimuovere gli effetti di rumore introdotti dall'atmosfera e della colonna d'acqua sulla frazione della radiazione utile proveniente dalle praterie di posidonia sui bassi fondali, tramite procedura da mettere a punto appositamente per i vari siti. Tali dati

preprocessati saranno quindi elaborati con tecniche di clustering basate su algoritmi di classificazione avanzate e data mining per ottenere delle mappe tematiche da validare poi in termini di accuratezza utilizzando le misure in situ disponibili. I tematismi prodotti saranno infine ulteriormente processati per omogeneizzarli e renderli compatibili con gli altri strati informativi in modo da poterli inserire nel geodatabase del progetto e gestirli adeguatamente tramite il relativo Web-GIS appositamente sviluppato nel corso delle due annualità precedenti.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sul processamento dei dati telerilevati e acquisiti nel corso delle campagne di misure in situ.
- Stima della distribuzione della posidonia e relativi parametri biofisici nei siti di misura

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. Esecuzione di prove sperimentali e numeriche CFD su prototipo in scala 1:8 del dispositivo a colonna d'acqua oscillante REWEC3-GV

Nel corso delle attività condotte nella precedente annualità è stato realizzato un cassone in acciaio di tipo REWEC3 caratterizzato dall'elevata modularità delle sue parti attive, ovvero condotto verticale e camera di assorbimento (di seguito chiamato semplicemente REWEC-GV). Esso, infatti, è dotato di 2 setti interni rimovibili, che permettono di partizionare della camera pneumatica di assorbimento in sezioni differenti. Il cassone è stato costruito ed è già installato presso il laboratorio NOEL dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Il nuovo cassone REWEC3-GV sarà, principalmente, oggetto di prove che verteranno su analisi per l'ottimizzazione delle performance idrodinamiche dell'impianto. Per quanto concerne gli aspetti idrodinamici, questi rivestono un ruolo primario nella progettazione di un impianto REWEC3, sia per la valutazione delle stime di assorbimento di energia ondosa di un REWEC sia per tutti gli aspetti di stabilità della struttura, tra cui anche l'analisi dei carichi massimi agenti sulla stessa. A tal scopo il cassone REWEC3 dovrà essere adeguatamente equipaggiato con idonea strumentazione per il monitoraggio delle grandezze idrodinamiche fondamentali. Tale strumentazione dovrà essere composta da sonde ultrasoniche e trasduttori di pressione, che hanno, rispettivamente, il compito di fornire misure istantanee della quota delle superfici libere e del carico di pressione in determinati punti. Nello specifico, si prevede di installare i seguenti strumenti di misura: 1-3 ultrasuoni; 23 trasduttori di pressione. Gli ultrasuoni saranno ubicati in cima alle camere di assorbimento. Essi permetteranno di monitorare costantemente le quote della superficie libera all'interno del cassone metallico in tre punti distinti. Tre gruppi di 3 trasduttori saranno localizzati all'interno delle colonne d'acqua al di sotto delle sonde ultrasoniche. In particolare, la cella centrale sarà fornita di 10 trasduttori, mentre le limitrofe di 5 trasduttori ciascuna. Il loro compito è quello di fornire misurazioni del carico di pressione. Inoltre, essi permettono una misura indiretta della quota della superficie libera della colonna d'acqua oscillante, e delle condizioni di carico agenti sui setti interni dell'impianto. Tre trasduttori di pressione saranno installati nelle bocche esterne del cassone, lato mare. Tali strumenti permettono di valutare l'entità della forzante sul sistema e quindi di condurre delle opportune analisi dinamiche. Inoltre, essi sono fondamentali per la valutazione della frazione di energia ondosa assorbita dal REWEC3-GV. Tre ulteriori trasduttori di pressione saranno installati nella camera d'aria. A differenza di quelli impiegati nella colonna d'acqua, questi strumenti sono in grado di lavorare in condizione di depressione. Come detto in precedenza, il nuovo cassone a geometria variabile REWEC3-GV è stato realizzato con un'elevata modularità al fine di consentire prove differenti con l'obiettivo di identificare la configurazione ottimale di un REWEC3 analizzando configurazioni con differenti larghezze della camera di assorbimento. In dettaglio, i 2 setti interni, consentiranno di effettuare diverse sperimentazioni di campo in tre 3 configurazioni differenti:

- 1) REWEC3-GV con 3 celle indipendenti (le celle sono tra loro non comunicanti);
- 2) REWEC3-GV con 2 celle indipendenti;
- 3) REWEC3-GV a cella singola.

Il comune denominatore delle 3 fasi sperimentali è legato alla valutazione delle condizioni di lavoro ottimali (in termini di assorbimento) dell'impianto. Pertanto, nelle tre fasi si valuterà l'energia assorbita dall'impianto e la relativa energia incidente, il cui rapporto è il parametro principale per valutare l'efficienza

del REWEC3-GV. In parallelo, si condurrà un'attività di interesse strettamente strutturale. In particolare, si effettuerà una valutazione delle sollecitazioni agenti sui setti interni dell'impianto. Tali sollecitazioni saranno valutate per mezzo delle misurazioni fornite dai trasduttori posti all'interno dell'impianto. Parallelamente a tali analisi, saranno condotte prove sulla stima delle sollecitazioni agenti sulla struttura sulle pareti esterne soggette all'azione delle onde incidenti in condizioni estreme. Inoltre, allo scopo di effettuare analisi più complete sul comportamento idrodinamico di un impianto REWEC3-GV al variare delle configurazioni di progetto, è possibile prevedere l'installazione di riduttori per il tubo di sfiato, atti a determinare un'eventuale parzializzazione della sezione di sbocco, nonché eventuali pezzi speciali relativi alla regolazione della quota della profondità dell'imboccatura.

Nel corso della presente annualità saranno inoltre effettuate una serie di prove numeriche al fine di studiare ed ottimizzarne le performance idrodinamiche in differenti configurazioni geometriche e con differenti condizioni del moto ondoso del REWEC3-GV. Nel dettaglio, nel corso del seguente obiettivo, verrà implementato un nuovo modello CFD del sistema in oggetto effettuando un'analisi di sensibilità della griglia ed ottimizzando il modello dal punto di vista computazionale (tempo di calcolo). Per tale attività di calcolo verranno utilizzate forzanti di tipo sinusoidale semplice. Il modello CFD verrà realizzato con due differenti griglie di calcolo che terranno conto delle possibili modifiche nella geometria del cassone (eventuale inserimento di una o più paratia all'interno del cassone), per poter analizzare la risposta del sistema in presenza di differenti configurazioni geometriche (camera di compressione più stretta). Inoltre verranno effettuate delle prove sulle due differenti geometrie utilizzando forzanti sinusoidali incidenti sul cassone con differenti angolazioni in modo da poter simulare delle onde provenienti da diverse direzioni. Contemporaneamente in collaborazione con l'Università di Reggio Calabria, verranno definite nel dettaglio (tipo di esperimenti, strumentazione, punti di misura, grandezze da misurare, ecc.) una serie di prove sperimentali che saranno realizzate presso il laboratorio NOEL dell'Università stessa, i cui risultati verranno utilizzati per la validazione del modello. Successivamente allo sviluppo ed ottimizzazione del modello fluidodinamico, alle prove sperimentali ed in base ai dati sperimentali che saranno disponibili, verranno confrontati i dati sperimentali ed i risultati numerici ottenuti dal calcolo fluidodinamico utilizzando le condizioni di lavoro reali registrate durante le prove sperimentali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sugli esperimenti condotti in situ sul prototipo OWC in scala 1:8.
- Report sulle attività di modellazione e simulazione CFD di un cassone di tipo REWEC3-GV

Principali collaborazioni: Università Mediterranea di Reggio Calabria

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

d. Studio di un sistema PTO per OWC del tipo REWEC-GV basato su elastomeri elettroattivi

Il presente obiettivo ha come principale scopo lo sviluppo di uno studio e di un progetto preliminare di un sistema di Power Take Off (PTO) polimerico basato su Generatori ad Elastomero Dielettrico (DEG) adatto all'applicazione e integrazione con il Wave Energy Converter a geometria variabile realizzato nel corso della scorsa annualità e installato presso il Laboratorio NOEL dell'Università di Reggio Calabria (di seguito chiamato semplicemente REWEC-GV). Il programma di lavoro prevede le seguenti attività: l'analisi idrodinamica del sistema, lo sviluppo di un banco di prova, i test sperimentali ed analisi dei risultati ed infine il progetto preliminare del sistema in scala reale. Il corretto dimensionamento del sistema PTO polimerico necessita di uno studio elettro-elasto-idrodinamico accoppiato. In questo caso, verranno utilizzati i modelli già sviluppati nell'ambito del progetto Europeo PolyWEC che sono in grado di descrivere il comportamento elettro-iperelastico dei PTO polimerici sollecitati meccanicamente da carichi fluidodinamici. Tali modelli verranno istanziati per descrivere nel dettaglio il comportamento del sistema REWEC-GV equipaggiato con PTO ad elastomero dielettrico. Grazie alla scalabilità dei PTO basati su elastomero dielettrico è possibile realizzarne un prototipo di ridotte dimensioni che, tuttavia, presenta efficienza e risposta dinamica altamente correlabile con l'equivalente in scale reale. Per tale motivo verrà realizzato un prototipo in un scala compresa tra 1:5 e 1:10 per la realizzazione di un banco di prova. Tale banco sarà in grado di replicare i campi di pressione e le condizioni di sollecitazione del PTO misurati sul dispositivo reale REWEC-GV. Facendo uso del suddetto banco di prova, verrà condotta una campagna

sperimentale in cui saranno testati sia differenti materiali dielettrici sia diverse strategie di controllo. Le sollecitazioni imposte durante questa campagna di prova saranno direttamente correlate alle misure effettuate sul dispositivo in scala reale REWEC-GV. In base ai risultati delle analisi degli esperimenti condotti verrà progettato in via preliminare il PTO in scala reale adatto ad essere integrato nel prototipo esistente del REWEC-GV.

Risultati/Deliverable:

- Relazione conclusiva sul modello idrodinamico accoppiato al modello di PTO.
- Relazione conclusiva sui test svolti e sul dimensionamento del sistema PTO ad elastomero dielettrico.

Principali collaborazioni: Scuola Superiore Sant'Anna, Università di Bologna

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

e. Progettazione ed esecuzione delle prove su di un prototipo in scala di dispositivo point absorber "passivo" per il recupero di energia da moto ondoso

La tematica di questo obiettivo riguarda la prosecuzione delle attività teoriche e sperimentali sul sistema di conversione dell'energia "passivo" denominato PEWEC (PEndulum Wave Energy Converter) iniziate nella scorsa annualità. Nel corso dell'accordo di programma PAR 2014 è stato analizzato, modellato e realizzato un prototipo in scala 1:45 del sistema PEWEC. Tale prototipo è stato sottoposto a test sperimentali in vasca presso il Politecnico di Torino atte a valutare le principali modalità di funzionamento. Le onde regolari fornite in ingresso al convertitore sono rappresentative del clima ondoso reale dell'Isola di Pantelleria. Tali attività hanno portato alla valutazione delle caratteristiche di potenza del convertitore e alla validazione preliminare del modello numerico ponendo quindi le basi per lo sviluppo del convertitore verso scale maggiori. Con riferimento alla *roadmap* proposta dal Protocollo Equimar per lo sviluppo di un WEC, il passo successivo riguarda la modellazione a media scala, passo intermedio prima delle prove in ambiente reale. Il valore definitivo del fattore di scalatura per il prototipo a scala intermedia sarà deciso in fase di progettazione, ma comunque nell'intervallo 1:10-1:15.

La prima fase delle attività riguarderà l'utilizzo del prototipo in scala 1:45 per test sperimentali in onda irregolare. Infatti dato che la sperimentazione sul prototipo a media scala presuppone l'utilizzo di onde irregolari, al fine di ridurre le incertezze di progettazione, si ritiene opportuno utilizzare nuovamente il modello in scala 1:45 per effettuare prove con tali condizioni ondose presso il canale del Politecnico di Torino. Le prove inoltre saranno svolte adattando il prototipo con tecnologia di telemetria, necessaria per le prove in scala media e per il sistema full scale, usando ulteriormente il modello 1:45 come banco prova per i prototipi a scala superiore.

La seconda fase delle attività riguarderà la progettazione e la realizzazione del prototipo a scala intermedia. Per tali attività saranno usati modelli matematici precedentemente validati nei test in vasca 1:45. La fase di progettazione inizierà con la valutazione delle geometrie di scafo maggiormente risonanti nelle onde di progetto (il riferimento reale sarà l'Isola di Pantelleria) e procederà con l'analisi parametrica del sistema oscillante interno e del generatore elettrico. Le attività seguiranno con la scelta di una linea di ancoraggio a minimo impatto sulla dinamica e la valutazione delle strategie di controllo del generatore atte a massimizzare la produzione di energia per le condizioni ondosa di riferimento. La configurazione finale verrà quindi consolidata e il progetto esecutivo prodotto. Le attività precedentemente descritte saranno svolte in collaborazione con i fornitori dei componenti al fine di minimizzare i costi, assicurare le tempistiche di progetto, e di porre le basi per future produzioni in serie di dispositivi commerciali. I fornitori saranno selezionati sulla base della qualità dell'offerta, dei tempi di realizzazione e degli aspetti logistici. Sarà inoltre elaborato un piano per il ciclo di vita del prototipo, con definizione di trasporti, stoccaggi, riutilizzo e smaltimento finale. Le strategie di controllo del generatore e i sistemi di telemetria saranno implementati parallelamente alle attività di realizzazione meccanica del prototipo. La fase di realizzazione sarà completata dalla verifica finale della funzionalità del sistema.

Le attività sperimentali seguenti la realizzazione del prototipo riguarderanno la validazione della stabilità del convertitore, la valutazione delle prestazioni con le onde di progetto e la valutazione preliminare delle procedure di sicurezza per le onde estreme. Le attività sperimentali saranno condotte presso la vasca

navale del CNR-INSEAN di Roma. Si ricorda che la vasca navale di Roma rappresenta l'unica realtà nazionale in grado di realizzare i test sopra indicati. Nel corso del progetto saranno curate le fasi di trasporto del prototipo dallo stabilimento di produzione alla vasca navale, l'assemblaggio, il montaggio della strumentazione di controllo, il varo in vasca, le verifiche dei dispositivi e dei cablaggi, l'assistenza allo svolgimento delle prove, l'alaggio, lo smontaggio della strumentazione e il disassemblaggio al termine delle prove, nonché il trasporto e lo stoccaggio presso il luogo di destinazione. Durante le attività sperimentali saranno acquisite le onde fornite al convertitore e quelle a valle del convertitore al fine di valutarne l'impatto idrodinamico. Inoltre saranno acquisiti i moti dello scafo, quelli del pendolo, i parametri di funzionamento del generatore e quelli del controllo. L'obiettivo principale della fase di sperimentazione è la validazione accurata del modello "wave to wire" necessario per la stima accurata delle prestazioni del sistema full-scale.

Risultati/Deliverable:

- Report di sintesi sulla metodologia progettuale del sistema di conversione "passivo"
- Progettazione e costruzione del sistema di conversione in scala intermedia
- Report di sintesi delle attività sperimentali

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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 avanzate acquisite al termine 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 condurre l'ampliamento delle funzionalità del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS, *Decision Support System*) di tipo GIS-based (DSS-WebGIS), implementato nel corso della precedente annualità, denominato "Waves Energy" (<http://utmea.enea.it/energiadalmare/>). Il DSS-WebGIS continuerà, innanzitutto, a svolgere il suo ruolo nodale di applicazione finalizzata alla rappresentazione dei dati e delle informazioni territoriali, mediante la loro condivisione via web con utenti a vario livello di competenza, grazie all'interfaccia applicativa appositamente sviluppata. Tale interfaccia verrà ulteriormente arricchita con nuovi strumenti di consultazione/navigazione (tipici, appunto, delle applicazioni WebGIS), quali *widget* idoneamente realizzati e configurabili, che permetteranno la gestione di funzionalità aggiuntive alle classiche funzionalità del WebGIS. Il DSS-WebGIS è strutturato per archiviare e gestire dati geografici e territoriali relativi alle aree marine e costiere del Mediterraneo, con particolare riguardo a quelle Italiane. I dati geospaziali di base e le mappe elaborate sono archiviati e gestiti in un apposito *repository* rappresentato da un database geospaziale (Geodatabase) strutturato ad hoc. Inoltre, nel WebGIS confluiscono informazioni geografiche e territoriali archiviate in *repository* GIS esterni (come, ad esempio il Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare), attingendole via appositi *webservices* (e.g. WMS, secondo gli standard OGC). Ai dati già esistenti e strutturati nel presente *repository*, quindi, si andranno ad aggiungere ed integrare quelli risultanti dalle elaborazioni ed analisi previste nel corso delle nuove attività progettuali, come - ad esempio - quelli riguardanti il monitoraggio e la mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare (Obiettivo b). Tra le nuove funzionalità del DSS-WebGIS che verranno implementate, rientrano quelle connesse più strettamente alle fasi pianificatorie e decisionali. A tal fine, l'obiettivo sarà quello di sviluppare uno strumento interattivo atto a fornire supporto nella pianificazione delle nuove installazioni, nonché al sistema previsionale ed alla gestione delle infrastrutture esistenti. Per

rispondere alle suddette esigenze, si farà ricorso a procedure ed algoritmi GIS di analisi spaziale (*geoprocessing*), finalizzati alla elaborazione geo-statistica ed alla visualizzazione spaziale per realizzare una serie di specifiche funzionalità quali - ad esempio - quelle che permetteranno l'individuazione e la mappatura delle aree potenzialmente eleggibili per la realizzazione di nuovi impianti, secondo regole e criteri definiti (e.g., distanza dalla costa, vicinanza ai principali porti, potenziale energetico sfruttabile, condizioni meteomarine tipiche, etc.). Tali funzionalità richiederanno una gestione avanzata ed integrata dei dati geo-spaziali di base necessari alla caratterizzazione del territorio marino e costiero di interesse (nelle varie componenti naturali ed infrastrutturali), nonché dei dati geo-spaziali appositamente elaborati nelle due principali componenti di previsione ("Forecasting") e di serie storiche ("Climatology"), in quanto rappresentativi di varie grandezze fisiche significative (Energia delle onde; Altezza, direzione e periodo delle onde; etc.). Tali nuove funzionalità di analisi spaziale saranno implementate per essere utilizzate in modalità *runtime* durante la consultazione del DSS-WebGIS, quale supporto alla gestione e pianificazione. In una visione complessiva, pertanto, l'applicazione WebGIS costituirà la naturale interfaccia geografica del sistema DSS, mediante un collaudato approccio che permetta che tutte le informazioni territoriali di base e le mappe elaborate (quelle già strutturate e quelle realizzate nel corso delle nuove attività) possano essere visualizzate ed interrogate tramite un *map viewer* integrato in un comune browser internet o tramite dispositivi mobili (e.g., Tablet). Infine, grazie al DSS-WebGIS, i principali risultati prodotti nel corso delle attività progettuali saranno resi fruibili in maniera *open* e accessibili *on-line* ad una vasta ed articolata platea di utenti. In sintesi, gli obiettivi specifici del Sistema integrato DSS-WebGIS saranno:

- Condivisione di dati, mappe e informazioni mediante il portale WebGIS dedicato: "Waves Energy";
- Delineare e caratterizzare il territorio marino e costiero oggetto di studio ed analisi;
- Supportare l'analisi integrata delle aree di interesse, congiuntamente all'individuazione di specifici indicatori ambientali e territoriali;
- Fornire supporto nelle fasi di progettazione e pianificazione di nuovi impianti.

Come concordato tra ENEA e RSE, al fine di dare ampia diffusione ai risultati ottenuti all'interno del progetto, verrà realizzata una news-letter quadrimestrale sul tema dell'energia dal mare in Italia e dei risultati ottenuti in ambito "Ricerca di sistema elettrico". Sarà inoltre pubblicato da ENEA un numero speciale sull'energia dal mare all'interno della rivista scientifica bimestrale dell'ENEA, "Energia, Ambiente e Innovazione" - EAI (<http://www.enea.it/en/publications/eai-energia-ambiente-e-innovazione>). Lo speciale sarà essenzialmente composto da articoli basati sugli argomenti presentati durante il workshop organizzato da ENEA nel corso della precedente annualità.

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:

- Rapporto Tecnico relativo alla descrizione delle attività svolte per l'upgrade dell'applicazione WebGIS ("Waves Energy" v.2)
- Numero speciale all'interno della rivista scientifica bimestrale dell'ENEA, "Energia, Ambiente e Innovazione"
- Rilascio della news-letter sull'energia dal mare
- Workshop per la divulgazione dei risultati

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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	Analisi climatologica dell'energia nelle diverse componenti del moto ondoso e previsioni operative												
b	Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare												
c	Esecuzione di prove sperimentali e numeriche CFD su prototipo in scala 1:8 del dispositivo a colonna d'acqua oscillante REWEC3-GV												
d	Studio di un sistema PTO per ReWEC basato su elastomeri elettroattivi												
e	Progettazione ed esecuzione delle prove su di un prototipo in scala di dispositivo point absorber "passivo" per il recupero 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	Analisi climatologica dell'energia nelle diverse componenti del moto ondoso e previsioni operative	600	23	13	26	0	0	1	0	63
b	Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare	390	15	9	0	0	0	1	0	25
c	Esecuzione di prove sperimentali e numeriche CFD su prototipo in scala 1:8 del dispositivo a colonna d'acqua oscillante REWEC3-GV	940	36	22	15	0	0	4	30	107
d	Studio di un sistema PTO per REWEC-GV basato su elastomeri elettroattivi	500	19	11	0	0	0	1	20	51
e	Progettazione ed esecuzione delle prove su di un prototipo in scala di dispositivo point absorber "passivo" per il recupero di energia da moto ondoso	760	29	18	60	75	0	1	50	233
f	Comunicazione e diffusione dei risultati	240	9	6	0	4	0	2	0	21
TOTALE		3430	131	79	101	79	0	10	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

(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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.1.4 del PAR 2013), pari a 38,2 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 22,9 €/h.

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

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a	Upgrade del sistema di storage acquistato nei PAR precedenti	37.000	4.000	Storage dei dati prodotti nel corso dei precedenti PAR e della presente annualità
c	Laser e sensori di pressione	15.000	15.000	Monitoraggio della pressione e livello del mare all'interno del cassone REWEC-GV
d	Prototipo (PEWEC) in scala 1:15-1:10	60.000	60.000	Costruzione del prototipo

(*) 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 (€)
e	Prove di funzionamento (4 settimane) del prototipo in scala PEWEC (Ob. d) presso vasca navale del CNR-INSEAN	75.000
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€)
c	<p>Università 'Mediterranea' di Reggio Calabria, Dipartimento Ingegneria Civile, Energia, Ambiente - Attività sperimentale su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC.</p> <p><i>Contenuti della ricerca:</i> Oggetto del contratto è l'esecuzione di attività sperimentali di campo su un modello in scala ridotta di un dispositivo a colonna d'acqua oscillante del tipo REWEC3 a geometria variabile, ottimizzato per la conversione dell'energia ondosa incidente e per la produzione di energia elettrica. Le prove sperimentali saranno eseguite presso il laboratorio NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory) dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, che è un centro avanzato di ingegneria marittima per la sperimentazione in mare, grazie ad alcune eccezionali peculiarità del mare di Reggio Calabria (v. www.noel.unirc.it).</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), e al seguente URL è possibile ottenere informazioni dettagliate e aggiornate sulle caratteristiche e strumentazioni possedute dal laboratorio: URL www.noel.unirc.it.</p> <p>Il Dipartimento di Meccanica e Materiali gestisce dal 2009 il laboratorio NOEL sito sul lungomare della città di Reggio Calabria, all'altezza delle mura greche, ed utilizza un'area demaniale di 1200m² e lo specchio acqueo antistante di 4500m². La struttura in cemento armato che ospita il laboratorio ha una superficie di 250 m² ospita una stazioni elettroniche di acquisizione dei dati rilevati dagli strumenti dislocati nel tratto di mare antistante il laboratorio e una piccola officina per la manutenzione degli strumenti.</p> <p>Il laboratorio NOEL, per le sue caratteristiche rappresenta un punto di riferimento nazionale per gli esperimenti da condurre in ambiente naturale su dispositivi di conversione del moto ondoso in energia elettrica.</p> <p>Considerato che parte delle attività condotte nel presente PAR saranno dedicate alla verifica di funzionamento di un cassone OWC in scala 1:8 in ambiente reale, la scelta dell'Università di Reggio Calabria appare di fatto l'unica possibile.</p>	30

d	<p>Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Bologna <i>Motivazioni della scelta:</i> Tra i primi in Italia, il Gruppo di Robotica del DIN è attivo nell'ambito della ricerca sui trasduttori ad elastomeri dielettrici dal 2003, specializzandosi sui seguenti aspetti: caratterizzazione sperimentale, modellazione e simulazione numerica di materiali e di dispositivi. Queste attività di ricerca, nate da un progetto congiunto con la Stanford University (dal 2003 al 2005), sono condotte principalmente dal Prof. Rocco Vertechy e sono orientate all'impiego di tali trasduttori polimerici sia come attuatori compatti e leggeri per dispositivi robotici/meccatronici sia come generatori ad alta efficienza e a basso costo per la produzione di elettricità da fonte rinnovabile (attività svolta in collaborazione col Dott. M. Fontana della Scuola Superiore Sant'Anna). I risultati di queste ricerche sono stati riconosciuti dalla comunità scientifica internazionale attraverso richieste di presentazioni invitate presso le più importanti conferenze internazionali di settore (ASME-SMASIS e SPIE-EAPAD) e di lezioni su invito ad importanti eventi internazionali e summer-schools.</p> <p>Centro SEES, Istituto TeCIP, Scuola Superiore Sant'Anna <i>Motivazioni della scelta:</i> Il Centro SEES dell'Istituto TeCIP è un laboratorio nato nel 2010 con lo scopo di applicare la decennale esperienza nell'ambito della ricerca su sistemi meccatronici presente presso il Laboratorio PERCRO, su temi inerenti a tematiche di energia rinnovabile, efficienza e sostenibilità energetica. In particolare, dal 2011 il Centro SEES conduce attività di ricerca nell'ambito di conversione dell'energia da moto ondoso. In questo ambito, il Dott. Marco Fontana (responsabile del Centro SEES) è coordinatore del Progetto Europeo FET-Energy PolyWEC (www.polywec.org) focalizzato sullo studio dei generatori ad elastomero dielettrico per la conversione diretta dell'energia del moto ondoso. Il Centro SEES unitamente al DIN dell'Università di Bologna sono attualmente tra i laboratori più attivi al mondo su questo tema. Il Centro presenta, infatti, una recente produzione di numerose pubblicazioni scientifiche, interventi invitati a numerosi convegni dedicati alla tecnologia dei materiali e alle tecnologie di conversione di energia rinnovabile.</p> <p>Ruolo dei proponenti Nell'ambito del progetto DIN si occuperà del problema della modellazione idrodinamica del ReWEC accoppiata a un modello elettro-iperelastico del PTO basato elastomero dielettrico. Tale modellazione sarà propedeutica alla costruzione/dimensionamento del prototipo da banco dedicato. Il Centro SEES si occuperà invece dell'approntamento del banco di prova, dell'implementazione dei controllori, dello svolgimento dei test e dell'analisi dei risultati.</p>	20
e	<p>Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale - Progettazione ed esecuzione delle prove su di un prototipo in scala di dispositivo point absorber "passivo" per il recupero di energia da moto ondoso <i>Contenuti della ricerca:</i> Le attività di ricerca condotte prevedono, a prosecuzione dei precedenti accordi di collaborazione, la realizzazione in scala 1:10-1:15 del sistema di conversione dell'energia ondosa già realizzato, nel corso della precedente annualità, in scala 1:45. 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 c.</p>	50
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 partecipa 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.

L'Istituto Superiore Santa Anna di Pisa partecipa al progetto FP7 PoliWEC (Polymers for Wave Energy Conversion).

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Le attività di ricerca condotte nel PAR 2013 hanno avuto come finalità la costruzione e verifica di funzionamento di due prototipi di convertitori del moto ondoso, specificatamente progettati per lavorare in condizioni di mare tipiche della costa italiana. Il primo prototipo realizzato è costituito da un sistema galleggiante che opera in condizioni di risonanza basato su un sistema oscillante passivo. E' stata inizialmente realizzata una modellazione matematica del sistema passivo di conversione dell'energia delle onde ricercando i parametri progettuali e di regolazione per massimizzarne la produttività. Sulla base dei risultati ottenuti è stato realizzato un prototipo in scala 1:45 le cui prestazioni sono state successivamente testate attraverso specifiche campagne di misure condotte presso la vasca navale del Politecnico di Torino. Il secondo prototipo realizzato è del tipo a colonna d'acqua oscillante. Il prototipo è stato realizzato in scala 1:8 ed è stato progettato e installato in mare aperto presso il laboratorio NOEL dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Il prototipo è formato da una parte attiva, costituita da un cassone metallico, per l'assorbimento dell'energia del moto ondoso, e una parte fissa in cemento armato, poggiata sul fondo, che rappresenta il supporto necessario alla camera di assorbimento. Il cassone metallico è stato realizzato in modo da conferirgli un'elevata modularità: il cassone è infatti dotato di setti mobili che consentono di modificare la geometria interna del cassone. Contemporaneamente alla realizzazione del cassone modulare, sono state condotte attività sperimentali su un modello in scala 1/8 di un cassone non modulare, già disponibile presso il laboratorio NOEL dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Le attività sperimentali sono state affiancate da un'attività di modellistica numerica volta alla realizzazione di modelli CFD per lo studio fluidodinamico del sistema aria-acqua all'interno del cassone di un dispositivo U-OWC iniziato nel corso dell'annualità 2012.

Parallelamente all'attività di progettazione e valutazione del funzionamento dei due prototipi, l'attività di ricerca è stata integrata con la produzione degli spettri bidimensionali climatologici ricavati da modelli numerici, su una serie di punti selezionati. I parametri solitamente forniti dai modelli su tutto il dominio di calcolo sono rappresentati da valori integrati, ricavati dallo spettro di energia delle onde. Con questi dati è quindi possibile produrre stime delle grandezze medie e in particolare dell'energia disponibile. La valutazione dell'energia prodotta da un convertitore richiede invece l'utilizzo dell'intero spettro bidimensionale (funzione della frequenza e della direzione) di energia, insieme alle caratteristiche specifiche del convertitore. La capacità nominale installata rappresenta il limite superiore dell'energia che un convertitore può produrre e corrisponde alla quantità totale di energia che produrrebbe se operativo in condizioni ottimali per tutto il tempo. La potenza prodotta da un generatore è funzione della capacità nominale installata e delle condizioni del sito. La produzione di energia è limitata da un numero elevato di parametri di funzionamento, quali ad esempio l'intensità minima delle onde necessaria alla produzione di energia ed il valore massimo utilizzabile, oltre il quale il generatore viene disattivato per evitarne la rottura. Queste limitazioni nella produzione di energia sono definibili in termini di intervalli di frequenza, energia e direzione.

Sintetizzando, le attività di ricerca del progetto B.1.5 sono state suddivise in cinque obiettivi (a, b, c, d, e).

Obiettivo	Descrizione
a	Realizzazione di una nuova climatologia ad alta risoluzione spaziale dell'energia associate al moto ondoso nel bacino mediterraneo, e 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.
b	Per l'obiettivo b sono state svolte due attività distinte. La prima attività è stata focalizzata su una campagna di misure sperimentali di campo realizzate su un convertitore OWC in scala ridotta. La seconda attività svolta ha riguardato la progettazione, costruzione e installazione di un OWC prototipale in scala 1:8 a geometria variabile.
c	Le attività relative all'obiettivo (c) sono state suddivise in due fasi distinte. La prima fase è stata dedicata alla messa a punto del modello di calcolo CFD sulla base della geometria definitiva dell'apparato U-OWC sperimentale utilizzato già nell'obiettivo b, mentre la seconda fase è stata concentrata al confronto tra risultati numerici ottenuti e i risultati sperimentali derivati dalla campagna di misure condotte nell'obiettivo b.
d	L'obiettivo (d) è stato focalizzato allo studio, realizzazione, e test in vasca di un convertitore WEC in scala 1:45 di tipo point absorber con PTO passivo. L'obiettivo (d) ha riguardato inoltre lo studio delle metodologie per l'installazione di sistemi WEC point absorber con PTO attivi in scala 1:1.
e	L'obiettivo (e) include tutte le iniziative intraprese nel progetto volte a comunicare e diffondere i risultati ottenuti negli obiettivi precedenti (Workshop, Presentazioni a convegni, Articolo scientifici e Diffusione dei dati via Web-GIS).

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

La transizione verso un'economia non più basata sul carbonio, caratterizzata dal massiccio ricorso a fonti rinnovabili, sarà un processo graduale che vedrà ancora, nel breve-medio termine, l'utilizzo di combustibili fossili.

La Roadmap Europea dell'energia al 2050 pone come target la riduzione entro il 2030 delle emissioni di gas serra del 40% rispetto ai valori del 1990, e in prospettiva una riduzione dell'80-95% entro il 2050, in linea con l'obiettivo, concordato a livello internazionale, di limitare il riscaldamento globale a 2 °C. Essa prevede, tra l'altro, il ricorso massiccio a efficienza energetica e fonti rinnovabili e l'adozione di tecnologie di cattura e stoccaggio della CO₂ per gli impianti a fossili. In particolare, lo sviluppo sostenibile in campo energetico, consiste nella sintesi tra sostenibilità ambientale, sicurezza degli approvvigionamenti energetici e competitività economico-industriale. Le attività di ricerca devono dunque tradursi nello sviluppo di tecnologie per la riduzione delle emissioni in atmosfera, riduzione del consumo di energia, sviluppo delle rinnovabili, e diversificazione delle fonti di energia, senza sottovalutare i problemi di stabilità delle reti e quelli legati alla variabilità di energia prodotta da rinnovabili.

Sul fronte nazionale, il documento di Strategia Energetica Nazionale (SEN), definisce gli obiettivi nel breve-medio periodo in coerenza con le indicazioni della UE, delineando una serie di azioni da portare a termine entro il 2020 e le direttrici per gli anni successivi, con una attenzione non marginale alle attività di ricerca che riguardano il prossimo decennio. In essa continua a ritenersi strategico lo sviluppo delle tecnologie di cattura e sequestro della CO₂, e tuttavia, i profondi cambiamenti intervenuti sul fronte della produzione elettrica, allontanando la prospettiva di un'applicazione industriale nel breve periodo di tali tecnologie, motivano l'opportunità di concentrare gli sforzi su attività di ricerca relative a tecnologie più avanzate e meno mature, ove non interamente nuove, che possano portare ad un miglioramento dell'efficienza del processo di cattura, che risultino meno energivore delle attuali e con una netta riduzione dei costi.

In questo contesto, per dare inoltre risposte adeguate alla crisi industriale dell'area sud occidentale della Sardegna è stato lanciato il Piano Sulcis – frutto di un accordo fra Regione Sardegna e alcuni ministeri del Governo nazionale - nel cui ambito è prevista la realizzazione di un Polo Tecnologico per lo sviluppo di energie *zero emission*, che faccia ovviamente riferimento al carbone, ma guardi anche alle rinnovabili ed alla loro integrazione con impianti a combustibili fossili. Il sistema energetico, infatti, si caratterizza sempre più come un sistema integrato, dove si fa strada la logica della *"poligenerazione"* – generazione combinata di elettricità, nuovi combustibili e *chemicals* – e l'impiego sinergico di fonti primarie diverse, non trascurando sistemi di accumulo basati sulla conversione di elettricità in altri vettori energetici (idrogeno, gas naturale sintetico, metano).

Per rendere possibili gli obiettivi strategici citati, è necessario dunque un grande sforzo di ricerca. A tal riguardo, il Progetto ha per finalità lo sviluppo, la validazione teorica e sperimentale e la dimostrazione su scala significativa di un ventaglio di tecnologie innovative per l'impiego sostenibile di combustibili fossili, sia per la produzione di energia elettrica, che di combustibili liquidi o gassosi. Elemento comune per la sostenibilità ambientale, è rappresentato, oltreché dall'incremento di efficienza, dalla contestuale separazione della CO₂ e il suo successivo stoccaggio o riutilizzo (tecnologie CCUS: Carbon Capture Utilization and Storage). L'obiettivo che ci si pone è quello di rendere utilizzabili industrialmente le CCUS a partire dal 2030, per questo occorrono molta ricerca e sviluppo, ma anche impianti dimostrativi di scala significativa.

Le tecnologie oggetto di studio sono ovviamente focalizzate all'applicazione al settore termoelettrico, ma con importanti ed auspicabili ricadute in settori industriali, specie quelli che adottano processi fortemente

energivori (siderurgico, petrolchimico, cementiero, industria del vetro, ...). In quest'ottica, oltre ovviamente agli impianti alimentati a carbone, maggiori emettitori di CO₂, vanno considerati anche quelli alimentati a gas naturale il cui utilizzo si prevede in crescita sia in Italia che nel mondo, anche a seguito dello sfruttamento economicamente compatibile di giacimenti "non convenzionali". Nel dettaglio, il Progetto riguarda:

- Lo sviluppo di metodi di cattura della CO₂ basati sull'uso di sorbenti solidi in applicazioni legate alla produzione di energia ma anche a settori industriali particolarmente energivori;
- Lo sviluppo di cicli energetici turbo-gas a CO₂ basati su tecnologie EGR nella prospettiva di cicli a CO₂ supercritica;
- Lo sviluppo di bruciatori innovativi caratterizzati da alta "Load & Fuel Flexibility"
- La produzione di combustibili da CO₂ e di SNG da carbone
- Il test si scala significativa e l'up-grade di tecnologie di gassificazione e cattura della CO₂
- l'efficientamento del processo di combustione in ossigeno sia di carbone che di gas;
- lo sviluppo e la validazione di metodi alternativi allo stoccaggio geologico della CO₂, per la produzione di combustibili o nell'industria siderurgica e del cemento;
- la dimostrazione che è possibile garantire il confinamento stabile e sicuro di CO₂, a fronte di rigorosi studi di caratterizzazione del sito;
- la realizzazione, 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

Nel settore della R&S, vi è un forte impegno internazionale rivolto da una parte alla dimostrazione e quindi alla rapida applicabilità delle tecnologie CCS, dall'altra alla messa a punto di nuove tecniche che consentano di ottenere risultati prestazionali, in termini di efficienza e di costo, migliori di quelli ottenibili con tecnologie più mature. L'obiettivo che ci si pone è quello di rendere utilizzabili industrialmente le CCUS a partire dal 2030. Per questo occorrono non solo molta ricerca e sviluppo, ma anche impianti dimostrativi di scala significativa.

Le tecnologie più innovative, volte ad una applicazione nel medio termine, saranno concentrate, nel Progetto, sulla Piattaforma Sperimentale Zecomix, finalizzata allo studio di processi più innovativi di decarbonatazione con sorbenti solidi e trattamento gas, in linea con le più avanzate ricerche internazionali, sulla Piattaforma AGATUR, realizzata per lo studio di cicli termodinamici basati su tecnologia EGR e in prospettiva sull'uso di CO₂ supercritica, e su un'importante facility in corso di progettazione, presso Sotacarbo, relativa alla cattura in ossi-combustione presurizzata.

Altro aspetto di grande interesse è quello relativo alla utilizzazione della CO₂ per la produzione di nuovi combustibili o per lo sviluppo di tecnologie fortemente integrabili con le rinnovabili. In chiave nazionale, una adeguata attività di R&S, svolta sotto il coordinamento del sistema della ricerca pubblica, permetterà al sistema industriale nazionale di competere in campo internazionale nel prossimo futuro.

Obiettivo finale dell'attività

Il programma è articolato in linee progettuali che hanno come obiettivi finali: lo sviluppo di tecnologie CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) su scala laboratorio e pilota, l'integrazione di processi e il supporto ad attività di dimostrazione, l'efficienza energetica nello sfruttamento del combustibile.

Le attività saranno focalizzate allo sviluppo e messa a punto di tecnologie per la riduzione delle emissioni di CO₂ nel settore termoelettrico, con importanti possibili ricadute in settori industriali che adottano processi fortemente energivori.

Gli obiettivi finali delle attività di ricerca risultano:

- la validazione di metodi innovativi e più efficienti per la cattura della CO₂, caratterizzati da minore impatto ambientale e/o minori penalizzazioni energetiche, applicabili anche a settori della produzione industriale fortemente energivori;

- lo sviluppo di tecnologie per la produzione di combustibili alternativi (SNG) o di *chemicals* da carboni anche di basso rango;
- lo sviluppo e progettazione di dispositivi a combustione efficienti, scarsamente inquinanti, caratterizzati da alta la flessibilità di carico e di combustibile di alimentazione;
- la sperimentazione di cicli EGR (Exhaust Gas Recirculation), quale soluzione a breve-medio termine per massimizzarne l'efficienza in turbogas, riducendo le emissioni, e rendendo economicamente più vantaggiosa la CCS sul gas, con la prospettiva, nel medio-lungo periodo, del ricorso a CO₂ supercritica come risposta alle esigenze di aumentare la flessibilità di carico e l'efficienza, intrinsecamente predisposti per la cattura e il sequestro della CO₂, nonché come soluzione meno invasiva per lo shale-gas;
- l'efficientamento del processo di combustione in ossigeno sia di carbone che di gas;
- lo sviluppo e la validazione di metodi alternativi allo stoccaggio geologico della CO₂, per la produzione di combustibili o nell'industria siderurgica e del cemento;
- la dimostrazione che è possibile garantire il confinamento stabile e sicuro di CO₂, a fronte di rigorosi studi di caratterizzazione del sito;
- la realizzazione, 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.
- la comunicazione e diffusione dei risultati

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Non sono previste attività di coordinamento con RSE e CNR perché le attività afferenti al tema CCS sono, nel PT 2012-2014 e nel POA 2014 approvati, ad esclusiva responsabilità ENEA.

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

Il Progetto ha ricadute utili alla collettività degli utenti del sistema elettrico nazionale che possono essere sintetizzate in:

- esplorazione di metodi innovativi e più efficienti per la cattura della CO₂, caratterizzati da minore impatto ambientale e/o minor penalizzazioni energetica, applicabili anche a settori industriali fortemente energivori;
- lo sviluppo di tecnologie innovative per la produzione di combustibili e chemicals direttamente dal carbone o dalla CO₂ separata (Carbon Capture and Utilization);
- lo sviluppo di sistemi a combustione più efficienti, scarsamente inquinanti, e tesi a incrementare, in maniera significativa, la flessibilità di carico e di combustibile;
- lo sviluppo di cicli turbogas basati sul ricircolo di CO₂ (Exhaust Gas Recirculation), fino ad arrivare alla combustione in CO₂ supercritica quale soluzione strategica in grado di assicurare: integrabilità con rinnovabili, elevate flessibilità di carico ed efficienza, intrinseca predisposizione alla cattura della CO₂ e al suo sequestro, nonché soluzione non invasiva per lo shale-gas;
- la dimostrazione, anche in termini di *public acceptance*, del confinamento stabile e sicuro della CO₂ catturata;
- la realizzazione, di strutture sperimentali di valenza internazionale, per un uso sostenibile dei combustibili fossili.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Il Progetto si articola in due parti:

- una prima parte (Parte A), che ha come organo esecutore ENEA , il cui ammontare economico è pari a 0,5 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).

Il Progetto, pur nella sua complessa articolazione, è caratterizzato dalla profonda integrazione di diverse tecnologie e dalla condivisione degli obiettivi finali.

Descrizione degli obiettivi

PARTE A: ATTIVITÀ ENEA

a. Cattura della CO₂ con sorbenti solidi tramite “calcium looping” e “mineral carbonation”

I temi sviluppati nell’ambito della presente obiettivo, riguardano 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’ a partire da combustibili fossili (metano, carbone) con elevata efficienza termica. In particolare verranno proposti nuovi processi (trattamenti su sorbenti della CO₂) o nuovi materiali (membrana perovskitica per la separazione dell’ossigeno dall’aria) a supporto dell’ottimizzazione del processo in esame.

Si studierà inoltre, dal punto di vista sperimentale, un processo detto di ‘mineral carbonation’, applicabile a un settore industriale particolarmente energivoro quale l’industria siderurgica, come opzione tecnologica per il contemporaneo utilizzo e stoccaggio della CO₂, una volta separata.

A tal fine l’attività si articola in due task di seguito illustrati.

a.1 Cattura in pre-combustione basata sul “Calcium Looping”: attività di laboratorio e sperimentazione sulla Piattaforma ZECOMIX

Nell’ambito del Task sono individuabili tre distinte fasi dell’attività di ricerca.

Individuazione di trattamenti su sorbenti di origine naturali o sintetici a base di CaO per la cattura della CO₂ ad alta temperatura (attività di laboratorio)

L’obiettivo di questa attività è quello di identificare un processo di trattamento da applicare a materiali sorbenti sintetici o di origine naturale, a base di CaO, che mantenga il più possibile inalterata la capacità di cattura all’aumentare dei cicli di carbonatazione/calcinazione. Trattamenti termici sul sorbente determinerebbero un aumento della stabilità chimica del materiale e una maggiore cattura della CO₂. Per questo motivo, in questa attività sperimentale, verranno condotte prove sperimentali in un analizzatore termo gravimetrico (TGA) per poter individuare i parametri principali che definiscono un trattamento (temperatura, composizione dell’atmosfera reagente, durata, velocità di riscaldamento). Per tutte le prove verrà fissato lo stesso valore di temperatura in fase di separazione della CO₂ (600 °C) e in fase di rigenerazione (900 °C). Il cambiamento strutturale e morfologico dopo il pretrattamento, le alterazioni della struttura cristallina e lo studio micro strutturale del solido saranno realizzate eseguendo ulteriori analisi, quali: XRD, BET, SEM-EDS, svolte nell’ambito di una collaborazione con Università de L’Aquila. In particolare verranno individuati processi termici e/o chimici (idratazione del sorbente) al fine di studiare l’influenza che questi processi hanno sulle prestazioni del sorbenti. Un parametro importante sarà la composizione dell’atmosfera durante il riscaldamento e la prima calcinazione del sorbente. Verranno infatti fissate diverse velocità di riscaldamento, variando anche la natura dei gas che lambiscono il campione solido, per poterne così verificare l’influenza sulle reazioni di decomposizione della materiale ed in particolare sulla successiva cattura ciclica della CO₂. In TGA, inoltre, verrà verificato se il tempo di pretrattamento influisce sulla cattura della CO₂ (carbonatazione), ma anche come la variazione della composizione dell’atmosfera, alla quale si verificano le reazioni di carbonatazione, influenzano l’attività del sorbente. Queste campagne sperimentali serviranno a ottimizzare il processo di trattamento termico individuando la minima durata di

trattamento necessaria per la stabilizzazione chimica del materiale in esame.

Risultati/Deliverable:

- Messa a punto di un processo di trattamenti chimico-fisici per l'incremento delle prestazioni, in termini di capacità di cattura e stabilità, di un sorbente solido a base di CaO
- Emissioni di Report Tecnici descrittivi delle principali fasi della ricerca sperimentale di laboratorio.

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

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

Sperimentazione del ciclo di assorbimento sull'Infrastruttura di Ricerca ZECOMIX

In questa annualità verrà predisposta l'Infrastruttura di Ricerca ZECOMIX per l'integrazione, in un unico processo, sia della gassificazione del carbone che la successiva decarbonizzazione del syngas nel carbonatore, attraverso l'uso di sorbenti solidi, riuscendo ad ottenere per tale via un gas sintetico combustibile ad alto tenore di H₂ ed ad alta temperatura.

Una fase importante di questa campagna sperimentale sarà la simultanea cattura della CO₂ e la reazione di water gas shift (WGS) che avviene nel letto fluido di materiale sorbente contenuto nel carbonatore. In particolare verrà testato il processo di SE-WGS (Sorption Enhanced Water Gas Shift) in assenza di catalizzatori della reazione di WGS. L'alta temperatura del processo a cui verrà condotto il test sperimentale (650 °C) e la presenza di materiale sorbente della CO₂ (dolomite calcinata), favoriscono infatti la reazione di WGS, che normalmente condotta a più basse temperature (180–400 °C) e in presenza di catalizzatori. La dolomite tal quale verrà caricata all'interno del carbonatore attraverso una procedura di start up già testata e collaudata nell'annualità precedente: le particelle verranno fluidizzate e calcinate ad una temperatura superiore a 800 °C. Una volta calcinato il letto, il reattore verrà alimentato da una corrente di N₂ al fine di diluire l'eventuale presenza di O₂ all'interno del letto fluido e per abbassare la temperatura fino alla temperatura operativa del processo di SEWGS (circa 650 °C). Verrà prodotta, quindi, una miscela gassosa composta da CO e H₂O da avviare al letto fluido così preparato. La miscela gassosa continuerà a fluidizzare le particelle di sorbente mentre il CO all'interno dell'ambiente riducente reagirà con il vapor d'acqua producendo H₂ e CO₂. L'anidride carbonica a sua volta reagirà con le particelle di sorbente spostando in tal modo la reazione di WGS sempre più verso la produzione di H₂. Il gas così decarbonizzato, verrà avviato ad una torcia per la sua combustione in aria. Verrà utilizzata una metodica di campionamento e di monitoraggio già sviluppata durante l'annualità precedente: parte del gas, all'uscita del reattore, verrà infatti, campionato, essiccato ed analizzato attraverso un gas-cromatografo per misurarne la composizione. Nel test di SEWGS verrà valutata la portata di vapore necessaria per minimizzare l'eventuale deposizione di residui carboniosi sulle particelle di sorbente e nello stesso tempo garantire un'adeguata produzione di H₂. Verrà, infatti, raccolto un campione solido alla fine del test per valutare il cambiamento morfologico e l'eventuale presenza di carbonio sul materiale solido.

Le principali attività sperimentali sulla piattaforma ZECOMIX saranno condotte con la collaborazione dell'Università de L'Aquila

Risultati/Deliverable:

- Emissioni di Report Tecnici descrittivi delle principali fasi della ricerca sperimentale condotta sulla Piattaforma ZECOMIX

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

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

Studio sperimentale e modellistico sull'utilizzo di membrane per la produzione di O₂ durante il processo di gassificazione del carbone.

L'utilizzo di queste membrane consente di evitare il notevole consumo energetico legato alla soluzione alternativa di un impianto PSA (pressure swing absorption), in quanto esse non richiedono la

pressurizzazione della corrente di aria (il salto motore per la separazione è fornito dalla differenza della pressione parziale dell'ossigeno sui due lati della membrana). Un ulteriore vantaggio è dato dal fatto che le membrane di ultima generazione forniscono flussi apprezzabili di ossigeno nello stesso intervallo di temperatura proprio della gassificazione, consentendo così una notevole integrazione termica. Per garantire quindi l'alimentazione di ossigeno al gassificatore del carbone (si ricorda qui che sulla piattaforma ZECOMIX viene realizzato un processo che utilizza, come agenti gassificanti, ossigeno e vapor d'acqua) in modo efficiente dal punto di vista economico, risulta particolarmente conveniente l'utilizzo innovativo di membrane a trasporto ionico, che consentono un trasferimento selettivo al reattore, dell'ossigeno contenuto nell'aria, con flussi apprezzabili e senza necessità di comprimere la corrente di aria (si ricorda che questa è ben cinque volte superiore a quella dell'ossigeno necessario per alimentare il reattore) in una unità PSA. Va qui osservato che le dimensioni degli impianti quasi mai giustificerebbero l'installazione di un impianto di frazionamento criogenico dell'aria.

Per raggiungere l'obiettivo fissato, è necessario verificare sperimentalmente l'effettiva permeazione dell'ossigeno attraverso le membrane a trasporto ionico disponibili sul mercato e acquisibili da diversi produttori e/o centri di ricerca internazionali. Si tratta nel complesso di un insieme di attività modellistiche e sperimentali su scala laboratorio, che hanno una ricaduta importante sulla efficienza della successiva cattura pre-combustione della CO₂ dal syngas, necessaria per ottenere un combustibile ricco in idrogeno. Queste attività saranno direttamente condotte dall'Università de L'Aquila, nell'ambito di una collaborazione all'uopo attivata, con la supervisione di ENEA.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico descrittivo dell'attività svolta.

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

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

a.2 Sperimentazione del processo di 'mineral carbonation' come opzione tecnologica per lo stoccaggio della CO₂ (impianto VALCHIRIA)

L'attività verrà focalizzata sullo studio sperimentale di un processo di 'mineral carbonation' come opzione tecnologica per lo stoccaggio della CO₂. In particolare, verranno prese in considerazione scorie da industrie altamente energivore come le industrie per la produzione di acciaio. I principali flussi di scorie prodotte da una acciaieria a ciclo integrato sono le loppe d'altoforno e le scorie da convertitore a ossigeno (Basic Oxygen Furnace slags, BOF). Le loppe d'altoforno sono tipicamente utilizzate nella formulazione di alcuni cementi, mentre le caratteristiche chimico-fisiche e ambientali della scorie BOF sono tali da renderne più problematico il riutilizzo, obbligando in genere a smaltirle in discarica. Una possibile opzione di valorizzazione delle scorie BOF è basata sulla applicazione del processo di carbonatazione, su un reattore a tamburo rotante. Si propone di sottoporre le scorie BOF ad un trattamento con anidride carbonica, ottenendo una stabilizzazione del materiale ed un miglioramento delle proprietà ambientali. Combinando la carbonatazione con un processo di granulazione, potrebbero in questo modo essere ottenuti materiali di dimensioni e caratteristiche tali da poter essere utilizzati come aggregati in opere di ingegneria civile. In alternativa, può essere inoltre valutata la possibilità di utilizzare il calcio presente nelle scorie per produrre carbonato di calcio puro, da alimentare nuovamente alla filiera di produzione dell'acciaio. Oltre ai vantaggi ambientali sopra descritti, tale processo consentirebbe inoltre di ridurre le emissioni di CO₂ dell'acciaieria, che verrebbe fissata in forma solida nel residuo sotto forma di carbonato.

Queste attività saranno condotte con la collaborazione dell'Università di Roma Tor Vergata – Dipartimento di Ingegneria Civile, nell'ambito di un Contratto di Ricerca appositamente attivato.

ENEA, in particolare, porterà avanti test in laboratorio utilizzando analizzatore termogravimetrico (TGA) al fine di valutare il potenziale dei residui da acciaieria in termini di capacità sorbente. In particolare verranno prese in considerazione le principali tipologie di residui industriali alcalini e verrà condotta una caratterizzazione di tipo chimico-fisico del materiale prescelto mediante le seguenti determinazioni: ad esempio XRD, BET. Verranno selezionati trattamenti termici 'in-situ' per l'attivazione dei campioni solidi al

fine di rimuovere il contenuto di acqua ed aumentare la superficie specifica. Verrà anche studiata l'influenza dell'atmosfera reagente durante il pretrattamento stesso.

L'Università Tor Vergata analizzerà le rese di un processo di carbonatazione-granulazione condotto su test-rig. Verranno condotte prove di carbonatazione-granulazione utilizzando i reattori che compongono la piattaforma ENEA Valchiria. Verranno effettuati diversi test sperimentali applicando differenti condizioni operative, ad esempio facendo variare la velocità di rotazione, l'inclinazione del reattore e il flusso di gas in ingresso, e utilizzando dei flussi gassosi con diversi contenuti di CO₂. Anche in questo caso, per le condizioni operative che permetteranno di ottenere le migliori rese di processo, verrà condotta l'analisi delle principali caratteristiche chimico-fisiche e del comportamento ambientale dei campioni solidi in uscita dal reattore

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico descrittivo dell'attività svolta

Durata: dicembre 2014 - settembre 2015

b. Ampliamento del range operativo di sistemi turbogas sottoposti a variabilità del carico e della composizione del combustibile

Le attività incluse nel presente Obiettivo, relative alla cattura in pre-combustione, sono finalizzate allo studio, mediante simulazione numerica, delle condizioni di stabilità e di basse emissioni della combustione in sistemi turbogas, destinati a sopperire alle repentine variazioni di carico (load-flexibility) e di composizione dei combustibili e comburenti (fuel flexibility), derivanti anche dal sempre più crescente utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Nel dettaglio, il tema di ricerca si articola nelle seguenti fasi.

Simulazione di instabilità termo-acustiche

Il problema delle instabilità termoacustiche nei combustori di turbine a gas sta diventando sempre più importante con il crescente utilizzo di fonti energetiche rinnovabili. Infatti, tali fonti sono per loro natura intermittenti e con fluttuazioni imprevedibili. Garantire la stabilità della rete elettrica compensando queste oscillazioni è compito di macchine turbogas usate come impianti di back-up. Le conseguenti crescenti richieste di variazioni di carico su tali macchine comportano maggiori rischi di incorrere in instabilità termo-acustiche. A questo si aggiunga che oggi non è più garantito che la qualità del gas immesso nella rete di distribuzione sia costante. La variazione di composizione improvvisa del combustibile comporta ulteriori rischi di instabilità termo-acustiche. Data l'importanza dell'argomento, avere codici di calcolo in grado di predire tali instabilità e di evidenziare i meccanismi fisici di base diventa strategico.

Per la nuova annualità, al fine di validare le *performace* predittive del codice HearT, si prevede di simulare il comportamento di un combustore premiscelato operato in condizioni di instabilità termo-acustica, e per il quale siano disponibili dati sperimentali dettagliati relativi a test case di letteratura.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico sui risultati delle simulazioni LES condotte con HearT
- Validazione del codice HearT in condizioni di instabilità termo-acustica

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

Simulazione/progetto di un bruciatore innovativo per turbina a gas, caratterizzato da elevata "load-flexibility"

Nella precedente annualità è iniziato lo studio progettuale di un nuovo bruciatore per turbogas basato su una strategia di combustione TVC (Trapped Vortex Combustor) avanzata. La geometria finora definita deve essere ulteriormente affinata per verificare l'effettiva modalità di combustione, ed in particolare per verificare che essa sia di tipo volumetrico e non tradizionalmente di superficie. Si è a tal fine programmato un piano di simulazioni numeriche RANS e/o LES. I risultati di una prima simulazione verranno usati per

raggruppare più celle di calcolo in reattori comunicanti di tipo perfettamente mescolato. Questa rete di reattori verrà poi simulata per verificare la volumetria della combustione, confrontandone i risultati con quelli precedentemente ottenuti con calcoli CFD (RANS o LES). L'attività progettuale è svolta con la collaborazione dell'Università di Roma Tre – Dipartimento di Ingegneria.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico sui risultati dello studio di revisione della geometria del combustore e delle relative simulazioni
- Definizione di un progetto preliminare di un bruciatore innovativo caratterizzato da elevata "load-flexibility"

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre - Dipartimento di Ingegneria.

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. Cicli turbogas a CO₂

L'obiettivo riguarda lo studio di cicli turbogas caratterizzati da una combustione operante con crescente percentuale di CO₂ riciccolante, fino ad arrivare ad una ossi-combustione in CO₂ supercritica. Il vantaggio in termini di efficienza della tecnologia "Exhaust Gas Recirculation" (EGR) è noto, e in parte giustificerebbe l'applicazione di tecnologie di cattura su fumi così arricchiti in CO₂. La combustione in CO₂ supercritica, opportunamente arricchita in ossigeno, rappresenterebbe, in ragione dei numerosi e più oltre elencati vantaggi tecnologici, l'apice dell'intera filiera.

In ragione delle suddette considerazioni, l'attività si articola nei seguenti temi di ricerca.

Combustione con diluizione in CO₂ (EGR)

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 turbogas per la stabilizzazione di una combustione caratterizzata da basse emissioni. C'è chi ritiene che tale strategia possa essere efficace indipendentemente dal bruciatore, ed in particolare dalla modalità di combustione (premiscelata o no), e chi ritiene che invece non lo sia, ed in particolare che possa produrre problemi nella zona di "fiamma pilota" (non premiscelata), tipicamente usata per garantire l'accensione della miscela.

In quest'ambito sarà definito e realizzato un bruciatore da laboratorio (denominato "ROMULUS") di tipo "slot-burner", in cui si brucerà una miscela metano/idrogeno/aria in un flusso di CO₂ preriscaldato. Su tale bruciatore verranno condotte misure di vario tipo (PIV, LIF, CARS, sensori di pressione ed ottici, termocoppie). La realizzazione del bruciatore sarà eseguita in collaborazione con l'Università di Roma Tre – Dipartimento di Ingegneria, mentre le misure saranno condotte sempre da l'Università di Roma Tre e da ENEA presso i laboratori di quest'ultimo.

Definite le condizioni al contorno, con il codice HearT saranno condotte simulazioni LES e DNS dello stesso bruciatore, che non solo daranno una validazione mutua delle tecniche numeriche e sperimentali, ma porteranno ad una visione sintetica e completa della fisica in gioco.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico di ENEA sui risultati delle simulazioni DNS e LES del bruciatore 'Romulus'
- Report Tecnico di ENEA/Università Roma TRE sui risultati della sperimentazione sul bruciatore 'Romulus'

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre – Dipartimento di Ingegneria

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

cicli EGR

I cicli EGR (Exhausts Gas Recirculation) sono da più parti riconosciuti come una possibile soluzione per

l'incremento dell'efficacia nell'applicazione delle tecnologie CC(S) ai cicli turbogas, a causa del potenziale incremento dell'efficienza termodinamica e della riduzione dei costi di investimento ed esercizio. In estrema sintesi, un ciclo EGR si compone di una turbina a gas convenzionale, la quale viene esercitata con un fluido di lavoro sensibilmente diverso dall'aria, ottenuto mediante un opportuno ricircolo dei gas di scarico che ne incrementa il contenuto in CO₂, con conseguenti riduzioni nel tenore di azoto e di ossigeno nei fumi. Un fluido di lavoro con elevato tenore in CO₂ rispetto ai turbogas convenzionali comporta un incremento nell'efficacia del processo di cattura, con "capture facilities" di dimensioni sensibilmente ridotte e conseguentemente meno costose. Non ultimo a ciò si aggiunge un potenziale vantaggio nella riduzione degli NOx.

L'impianto AGATUR in dotazione all'ENEA, ha tutte le potenzialità necessarie per essere utilizzato quale dimostratore del concetto di ciclo EGR, e rappresenta pertanto uno strumento che ben si concilia con esigenze sperimentali di crescente interesse nella generazione di potenza "low carbon" basata sulla turbina a gas.

La realizzazione del ciclo EGR verrà effettuata per passi, con adeguamenti gradualmente dell'impianto, per il quale si prevede inizialmente di emulare la composizione dei fumi riciccolati nella micro-turbina a gas (μ GT) mediante iniezione, nel fluido aspirato, di CO₂ proveniente da accumulo criogenico. La composizione del fluido di lavoro della μ GT verrà quindi creata artificialmente, con l'ausilio del vessel in dotazione all'impianto che fungerà da capacità fluidodinamica, dove l'aria a pressione e temperatura ambiente verrà arricchita in CO₂ nelle proporzioni volute. Il controllo della composizione verrà effettuato mediante analisi gas all'aspirazione ed allo scarico della μ GT. L'obiettivo è testare il comportamento della macchina finalizzato all'ottenimento dell'esercizio stabile senza l'ausilio di ossigeno tecnico per sostenere la combustione.

Gli interventi previsti sull'impianto nella presente annualità, prevedono la progettazione e la realizzazione del piping di connessione tra l'aspirazione della μ GT ed il vessel. Considerate le moderate condizioni di pressione e temperatura del piping in questione, si prevede di utilizzare soluzioni commerciali di comune impiego nella tecnica aerulica, ciò per contenere sia i costi che i tempi di realizzazione.

La realizzazione dei test sperimentali su di una piattaforma della taglia e dalla complessità di AGATUR non può prescindere da continue e specifiche modifiche al sistema di controllo dell'impianto che, per forza di cose, dovranno divenire patrimonio tecnico del Laboratorio. A tal fine si prevede l'attivazione di specifiche attività formative che possano contestualmente fornire risposte a problemi tecnici contingenti, con il travaso minimo indispensabile delle conoscenze necessarie ad affrontare simili problematiche in autonomia.

Il dominio sperimentale per l'emulazione del ciclo EGR verrà definito con l'ausilio della simulazione numerica, che vedrà accoppiate l'analisi di processo del ciclo turbogas e la simulazione CFD del combustore. Il modello termodinamico della μ GT, realizzato e validato nelle precedenti annualità, verrà utilizzato per individuare i valori termodinamici caratteristici a diversi regimi di funzionamento e al variare del tenore di CO₂ nel fluido di lavoro della macchina. I dati così ottenuti verranno utilizzati come specifica per l'analisi CFD della combustione, realizzata mediante un codice commerciale di provata affidabilità (ANSYS-FLUENT). Le simulazioni della precedente annualità relative allo stesso combustore hanno avuto l'obiettivo di studiare l'ossi-combustione in atmosfera di CO₂. Nella nuova annualità si vuole invece simulare il dispositivo operato con una miscela aria e gas naturale, diluita e bruciata in una corrente di gas di scarico (configurazione EGR), con l'obiettivo di identificare la massima diluizione possibile (in CO₂) raggiungibile nel combustore T-100. L'accoppiamento dei risultati provenienti dalle simulazioni di processo e dalla CFD, fornirà il supporto numerico necessario a definire la matrice sperimentale.

Risultati/Deliverable:

- Report tecnico descrittivo degli interventi sull'impianto, delle modifiche al sistema di controllo e del dominio sperimentale simulato;
- Report tecnico relativo alle simulazioni CFD del bruciatore.

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

Ossi-combustione in atmosfera di CO₂ supercritica

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 dalle inevitabili ed improvvise fluttuazioni di potenza dovute alle rinnovabili. 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.

Nella precedente annualità 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 però validata solo per miscele binarie. Inoltre, è stata anche effettuata una simulazione di tipo Large Eddy relativa al mescolamento di metano ed ossigeno a 150 bar, che ha evidenziato alcune lacune negli schemi numerici per la simulazione ad alta pressione.

Per la nuova annualità, si ritiene necessario proseguire sulle due linee. In particolare, la tecnica per il calcolo delle proprietà termodinamiche e di trasporto di fluidi ad alta pressione sarà validata con miscele a più componenti, ed in caso di errori non trascurabili, modelli più accurati e già presenti in letteratura saranno implementati nel codice HearT. L'implementazione in HearT di tali modelli verrà realizzata in collaborazione con l'Università di Roma 'Sapienza', già attiva nella precedente annualità su tale argomento.

Per risolvere, i problemi di oscillazioni numeriche legati a discontinuità di contatto ed accentuate dall'alta pressione, verrà implementato nel codice HearT lo schema HLLC/HLLE per il termine convettivo dell'energia. Per dimostrare le potenzialità del simulatore di alta pressione del codice HearT, verranno condotte infine due simulazioni: una relativa ad un getto di azoto supercritico (caso test accompagnato da dati sperimentali) ed una relativa all'ossi-combustione di metano od idrogeno ad almeno 100 bar.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico, ENEA-Università di Roma 'Sapienza', sui risultati della validazione delle tecniche di simulazione implementate

Principali collaborazioni: Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale dell'Università di Roma Sapienza

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

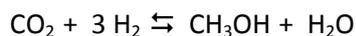
d. Utilizzo della CO₂ per produzione di combustibili

Delle motivazioni e delle possibilità che sono offerte dalla chimica della CO₂ per produrre combustibili o altri *chemicals* è già stato ampiamente riportato nei precedenti report AdP (Report RdS/2013 e precedenti). Il più semplice combustibile che può essere ottenuto dalla CO₂ è il metano. L'attività svolta da ENEA sulla riduzione catalitica di CO₂ a CH₄ è stata condotta ad iniziare dal PAR 2009-2010, ed ha riguardato prima lo studio fondamentale della reazione, aspetti termodinamici e cinetici, e poi lo sviluppo di un impianto dimostrativo (FENICE). Il naturale compimento di tutta l'attività svolta sulla metanazione è stata la partecipazione al recente bando MiSE (per progetti di ricerca di cui all'art. 10, comma 2, lettera b), con un partner industriale (CTS-Udine) per lo sviluppo di un sistema integrato di Power Storage che utilizza il metano prodotto da CO₂ come serbatoio energetico.

Oltre al metano, altre molecole meritano una attenzione particolare per la versatilità del loro impiego, che va dal diretto utilizzo come combustibili o carburanti alla molteplicità delle trasformazioni cui sono suscettibili per produrre una vasta gamma di prodotti di largo utilizzo. Fra queste molecole un ruolo di primaria importanza lo occupano il metanolo e il dimetil-etero (DME), tanto che G. A. Olah (Nobel per la Chimica 1994) ha introdotto il concetto di "*Methanol Economy*" per indicare l'impatto che il riciclaggio della CO₂ come CH₃OH e DME potrebbe avere sull'economia mondiale. Limitandoci all'uso come combustibile per motori a combustione interna, il DME trova immediato impiego come sostituto del diesel, mentre il

metanolo può essere addizionato alla benzina.

Per questi motivi, dopo aver studiato la sintesi di metano, il nostro interesse sarà rivolto allo studio della sintesi di metanolo e dimetil-etero da biossido di carbonio e idrogeno:



Su questo argomento esiste una notevole quantità di pubblicazioni sia sugli aspetti teorici che su quelli applicativi. Le rese di conversione sono tuttavia molto basse (20%), pertanto l'attività è rivolta principalmente al loro incremento.

La prima parte dell'attività sarà ovviamente dedicata allo studio della letteratura ed alla individuazione della configurazione sperimentale più idonea a permetterci un primo approccio al problema.

Poichè la sintesi del metanolo avviene a pressioni elevate, la prima fase dello studio aggirerà questo problema andando ad occuparsi direttamente della sintesi di DME per disidratazione del metanolo commerciale. Andranno quindi individuati i catalizzatori acidi idonei alla efficace disidratazione. Altro problema importante sarà la definizione della procedura analitica che ci permetterà il dosaggio del DME e del CH₃OH per la valutazione dell'efficienza del processo. Questa prima fase dell'attività sarà condotta utilizzando reattori tubolari in pyrex o quarzo a letto catalitico fisso. Con questa configurazione saranno indagate le caratteristiche del processo con un'indagine sull'effetto dei vari parametri sperimentali quali temperatura e velocità di flusso, mantenendo la pressione a valori prossimi a quella atmosferica. Parallelamente a questa indagine sarà progettato un apparato sperimentale che ci consenta di lavorare in pressione e quindi di studiare l'intero processo : sintesi di CH₃OH da miscele gassose di CO₂ e H₂ e successiva disidratazione a DME. Il processo può essere condotto sia in due fasi, separando i momenti della sintesi da quello della disidratazione, che in un unico step utilizzando catalizzatori bifunzionali costituiti da un supporto con caratteristiche acide (tipo Al₂O₃ o zeoliti) ed un ossido metallico o un ossido misto (p.e. Cu/ZnO/Al₂O₃).

Il nostro obiettivo è la sintesi diretta (in un unico step) del DME da miscele gassose di CO₂ e H₂ in condizioni che richiedano pressioni le più basse possibili per limitare la spesa energetica dovuta alla compressione dei gas.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico riepilogativo dell'attività svolta

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

PARTE B: ATTIVITÀ POLO TECNOLOGICO PER IL CARBONE PULITO

Parte B1: Attività Sotacarbo

a. Cattura della CO₂ in pre-combustione e trattamento del syngas con produzione di combustibili gassosi

L'obiettivo riguarda la messa a punto di tecnologie per la decarbonizzazione del syngas a monte della fase di combustione. Nel dettaglio l'obiettivo prevede 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 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, progettate nella passata annualità. Le attività saranno prevalentemente svolte presso la piattaforma Pilota ed 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, 7M e MDEA). In questo ambito saranno effettuate 220 ore di test sperimentali.

Verranno in quest'ambito affidati al Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali (DIMCM) dell'Università di Cagliari (Prof. Cau e prof. Baratti) studi modellistici sui processi di separazione della CO₂ attuati attraverso l'utilizzo di solventi liquidi poi inviati a rigenerazione.

Per quanto riguarda la modellazione del trattamento del syngas, verrà sviluppato un sistema integrato di simulazione dei processi a partire da un modello di calcolo precedentemente sviluppato presso il DIMCM per lo studio dei gassificatori a letto fisso, al fine di adattarlo alla valutazione delle prestazioni del gassificatore pilota di piccola taglia presente in Sotacarbo. Verranno quindi modellati i successivi sistemi di purificazione del syngas e di cattura della CO₂ al fine di ottimizzarne l'integrazione con l'impianto di gassificazione nel suo complesso.

Per quanto riguarda la separazione della CO₂, verrà completato il modello dettagliato dell'impianto di cattura postcombustione della CO₂ utilizzando Custom Modeller dell'ASPEN, sviluppato nella scorsa annualità, inserendo il bilancio di energia sulla parte solida e verificando i comportamenti del sistema con differenti riempimenti. Verrà inoltre sviluppato il modello per la sezione di rigenerazione della MEA, sempre utilizzando Custom Modeller dell'ASPEN.

Verranno inoltre affidata al Politecnico di Milano, Dip. CMIC "Natta" (Prof. Manenti) la modellazione cinetica della pirolisi e ossido-riduzione dei gas di coda provenienti dalla rigenerazione dei solventi utilizzati per la desolfurazione (costituiti principalmente da H₂S, CO₂, COS...) 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.

I campi di applicazione dello studio possono essere sia la produzione di syngas con rapporto H₂/CO relativamente elevato, adatto per alimentare la produzione di composti chimici come ammoniaca, metanolo, gas-to-liquid, coal-to-liquid, carbone/gassificazione biomasse, power generation sia il sequestro di CO₂ e/o H₂S ad elevate rese di conversione, per impianti di gas naturale, raffinerie, pozzi, desolfurazioni, gassificatori.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Attività sperimentali relative a tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione"
- Rapporto tecnico "Modellazione di tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione"
- Rapporto tecnico "Sviluppo ed analisi di un modello dettagliato dell'impianto di cattura postcombustione della CO₂ utilizzando Custom Modeller dell'ASPEN"
- Rapporto tecnico "Sviluppo di un sistema innovativo per il trattamento dei gas di coda provenienti dalla desolfurazione del syngas da carbone"

Principali collaborazioni: DIMCM dell'Università di Cagliari, DIE del Politecnico di Milano

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b. Tecnologie per l'ottimizzazione dei processi di ossi-combustione

L'attività afferisce allo sviluppo e applicazione di tecnologie di cattura e sequestro della CO₂ attraverso l'ossicombustione. Si prevede in prospettiva lo sviluppo di una tecnologia avanzata di ossi-combustione pressurizzata, con la 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. Tale impianto pilota potrà essere considerato come l'unico esempio di applicazione del regime MILD (Moderate and Intense Low oxygen Dilution - cioè combustione in assenza di fronte di fiamma ottenuta diluendo fortemente il comburente con CO₂ inerte) alla combustione in ossigeno

di carbone; questa tecnica presenta significativi vantaggi, sia in termini di efficienza che di economicità, rispetto ad altre soluzioni più tradizionali.

La miscela gassosa prodotta dalla combustione caratterizzata da un'elevata presenza di molecole triatomiche (CO_2 e H_2O), conseguente all'assenza di azoto in ingresso, ha un potere emissivo molto elevato, amplificato peraltro dalle condizioni di pressurizzazione della camera di combustione (ca. 10 bar). 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.

Verranno effettuate degli studi di fattibilità tecnica e sperimentale riguardanti due sezioni di impianto innovative, di impatto significativo sulla competitività della tecnologia:

- la sezione di preparazione ed alimentazione della miscela acqua carbone;
- la sezione micro pilota di conversione dei composti solforati (SO_2 presente nei fumi), per il recupero dello zolfo valorizzato sotto forma di acido solforico commerciale in alternativa ai convenzionali metodi che prevedono la discarica a terra di gessi.

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.

Nel corso di precedenti lavori si è studiata la macinazione a secco nelle condizioni di bimodalità della distribuzione granulometrica.

Poiché l'ambiente di comminazione (in aria o in acqua o in presenza di altri gas) determina una influenza non trascurabile sul comportamento della miscela si è passati allo studio della macinazione ad umido utilizzando tecnologie innovative, basate sull'uso di getti d'acqua ad alta pressione in combinazione con l'energia meccanica.

I migliori risultati sono stati ottenuti utilizzando un materiale preliminarmente imbevuto di acqua, la cui macinazione risulta essere più omogenea e con un grado di dispersione ulteriormente ridotto.

Per questo motivo nel proseguo degli studi si approfondirà lo studio dei parametri operativi in modo da evidenziare i miglioramenti conseguibili con l'imbibizione preliminare diminuendo i tempi di impregnazione e incrementando nel contempo la quantità di acqua assorbita nella porosità del carbone.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Ottimizzazione delle tecniche di preparazione e caratterizzazione di miscele coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione"

Principali collaborazioni: DICAAR dell'Università di Cagliari

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b.2 Definizione e trattamento degli effluenti tipici del processo e realizzazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione

Proseguirà l'attività per quanto riguarda la sezione di conversione degli SO_x e produzione di acido solforico iniziata nella scorsa annualità, durante la quale è stata svolta la progettazione di massima e di dettaglio. Questa annualità prevede la realizzazione della sezione, l'installazione del micro pilota, il commissioning della sezione e le prove di funzionalità sullo stesso.

L'impianto sarà 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).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Realizzazione della sezione di recupero di H₂SO₄ e prove funzionali"

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. Monitoraggio e storage della CO₂

Proseguono le attività legate al progetto generale, che trova copertura finanziaria oltretutto nella Ricerca di Sistema Elettrico anche nel progetto finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna, che, in relazione ad attività coerenti ma complementari, si pone come obiettivo il completamento della caratterizzazione del bacino del Sulcis come potenziale sito di stoccaggio dell'anidride carbonica.

Sono in quest'ambito previste indagini da superficie ed in galleria, per valutare le potenzialità del confinamento permanente della CO₂ negli strati profondi e non coltivabili del bacino carbonifero, con tecniche ECBM, e nelle sottostanti formazioni acquifere, a una profondità superiore a 1200 metri. Inoltre verrà valutata la possibilità di effettuare una iniezione sperimentale di piccole quantità di CO₂ (non sufficienti a rappresentare potenziali fattori di rischio ambientale, ma piuttosto significative per valutare la sicurezza di un confinamento su grossa scala) per test di iniezione superficiale in una zona di faglia sepolta individuata nel corso delle attività del precedente PAR.

Tutto ciò premesso, il PAR 2014 prevede la prosecuzione delle attività sviluppate sino ad ora, sia per quanto concerne la documentazione da presentare per l'ottenimento della nulla osta autorizzativa sia per quanto riguarda l'attività di rilievo geostrutturale e monitoraggio geochimico e sismico.

In particolare, l'attività si articola nei seguenti tre Sub-Task:

c.1 Approfondimenti sulla raccolta delle informazioni, definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e procedure autorizzative per attività di ricerca e prospezione

A seguito delle attività di reperimento, raccolta e valutazione dei materiali bibliografici (articoli scientifici, carte geologiche, rapporti tecnici, ecc.) verranno approfondite, con il supporto del personale Carbosulcis, le informazioni relative all'attività mineraria svolta per decenni nell'area di studio. A tal proposito verranno meglio definite le specifiche tecniche da applicare nella successiva fase di perforazione del pozzo esplorativo.

Verrà inoltre data prosecuzione all'espletamento delle pratiche relative all'istruttoria amministrativa e tecnica finalizzata al rilascio delle autorizzazioni di indagine e dei permessi di ricerca necessari alla operatività nella zona potenzialmente idonea allo stoccaggio della CO₂ del bacino del Sulcis.

Sarà pertanto sviluppato da Sotacarbo, a supporto della documentazione da presentare agli enti di riferimento, uno studio preliminare ambientale quale parte integrante della procedura di verifica di assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA). Nello studio verranno trattati tutti i vari aspetti tecnici del progetto con il fine ultimo di valutare se questo possa avere impatti significativi e negativi sull'ambiente e debba pertanto essere sottoposto a VIA.

E' previsto, in quest'ambito, un contratto verso Carbosulcis per il supporto all'analisi delle informazioni pregresse e un contratto verso terzi per il supporto alla predisposizione dello studio preliminare ambientale condotto da Sotacarbo.

Risultati/Deliverable:

- Report relativo agli "Approfondimenti sulla raccolta delle informazioni e definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni"
- Report relativo alle "Autorizzazioni di indagine e permesso di ricerca per la caratterizzazione del bacino carbonifero del Sulcis"

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c.2 Rilievo geostrutturale in galleria

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. Analogamente alle attività già eseguite in superficie nella passata annualità, verranno in quest'ambito svolte attività di rilievo geostrutturale in gallerie della miniera.

Questi studi consistono in:

1. Analisi strutturale e caratterizzazione delle principali zone di faglia, con la definizione della distribuzione delle permeabilità e della reologia secondo transetti attraverso i piani di faglia principali.
2. 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 e provenienti dalle analisi in superficie. Verranno in quest'ambito affidate al CERI dell'Università Di Roma Sapienza (prof. Bigi) le attività riguardanti il rilievo geostrutturale in galleria.

Risultati/Deliverable:

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

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

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 il prelievo di campioni di gas nel suolo.

Nel corso delle precedenti attività, nella zona oggetto di studio è stata individuata una zona di faglia sepolta che potrebbe essere idonea per il test di iniezione previsto nelle attività di ricerca. Al fine di definire in dettaglio la baseline di tale area, corrispondente alla zona di Matzaccara (a sud ovest dell'abitato di Carbonia), e al fine di definire la posizione della faglia, è necessario eseguire un monitoraggio geochimico superficiale con una alta densità di campionamento.

Pertanto l'attività prevista riguarderà il Soil gas survey a coprire l'area da analizzare con una maglia di campionamento ad alta densità, in una zona di circa 12 km² e n. 50 campioni per km², per un totale di 600 campioni. Nei campioni di gas (soil air), prelevati a profondità variabili tra 40 e 80 cm in funzione dello spessore dei suoli, verranno eseguite in laboratorio misure di concentrazione di CO₂, O₂, N₂, H₂, idrocarburi leggeri (C1-C6), composti dello zolfo. I dati ottenuti verranno comparati con i dati acquisiti in precedenza sia in prossimità dell'area di studio che nell'area vasta.

Si proseguirà inoltre l'attività di monitoraggio in continuo e acquisizione 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.

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 2014 – settembre 2015

c.4 Studio della sismicità e definizione della baseline dell'area del bacino del Sulcis

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.

Verranno installate ulteriori sette stazioni sismiche, oltre le tre già installate nel precedente PAR, a completamento della rete temporanea, disposte secondo una geometria a maglia, con una distanza media tra le stazioni di 10-15 km. E' previsto in quest'ambito un contratto di acquisizione di competenze e conoscenze verso INGV, in particolare per quanto riguarda il monitoraggio accurato di piccoli micro-sismi eventualmente generati dalla iniezione della CO₂. 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 il successivo monitoraggio sismico di dettaglio dell'area oggetto del progetto di fattibilità, ed in particolare del potenziale sito di stoccaggio, finalizzato a discriminare tra sismicità naturale e quella eventualmente dovuta a cause antropiche/industriali.

Risultati/Deliverable:

- Report relativo alle "Studio della sismicità naturale dell'area del bacino del Sulcis"

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

d. Comunicazione e diffusione 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.

Questa azione si articola attraverso:

- la pubblicazione di articoli e documenti tecnici a carattere pubblico;
- l'organizzazione di workshop, seminari, convegni;

Particolare menzione merita l'iniziativa relativa alla terza 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 2015.

Con questa iniziativa, ENEA e SOTACARBO, in collaborazione con l'Università di Cagliari-Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali, 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 (CCS), 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.

Verrà in quest'ambito inserita la collaborazione con IEA Clean Coal Centre e riconosciuta la quota di iscrizione annua da parte di Sotacarbo.

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 2014 – settembre 2015

Parte B2: Attività ENEA

a. Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi

L'Obiettivo prevede la prosecuzione delle attività sperimentali avviate nel precedente PAR, legate allo sviluppo e caratterizzazione del processo di gassificazione e dei sistemi di separazione della CO₂ da syngas con solventi. Le attività saranno svolte sia presso ENEA, che in parallelo presso SOTACARBO, con attività di supporto alle già descritte attività di SOTACARBO (rif. Obiettivo a – Parte B1).

Sulla base delle esperienze 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 dati.

Un'ulteriore attività sperimentale sarà condotta presso l'impianto GESSYCA (GEnere Sperimentale di SYngas da Carbone) di ENEA-C.R.Casaccia, messo a punto nel precedente PAR. Il gassificatore a letto fisso, di tipo up-draft, di GESSYCA è nato per testare nuove procedure di esercizio, nuovi componenti e sensoristica. Date le piccole dimensioni l'impianto è caratterizzato, rispetto all'impianto Pilota di Sotacarbo, da una maggiore versatilità e flessibilità di uso, ed è caratterizzato da una griglia di tipo innovativo. L'impianto è dotato dei componenti base di un impianto di gassificazione più complesso. Su di esso verranno testate differenti tipologie di carbone, biomasse (cippato di legno) e loro miscele, analizzando ed elaborando i dati sperimentali ottenuti nel corso dei test, L'obiettivo ambizioso, che proseguirà nel PAR 2014, è quello di sviluppare procedure automatiche di conduzione ed esercizio di impianto.

Nel corso dell'attività sperimentale prevista, saranno valutate le prestazioni del processo di gassificazione, la reattività dei vari combustibili e la qualità del syngas prodotto, alla luce in particolare degli interventi migliorativi introdotti sul gassificatore. Nella conduzione dei test sperimentali, ci si avvarrà dell'informazione di un sistema di termocoppie posizionate sul mantello del reattore di gassificazione, e dell'utilizzo di una sezione di depolverazione a caldo. La misura dell'effettiva portata del syngas (attuata mediante sensori di tipo volumetrico di nuova acquisizione) permetterà inoltre di caratterizzare il processo quantitativamente definendo le prestazioni del gassificatore in termini di efficienza (rendimento di gas caldo e gas freddo). Tale valutazione permetterà quindi di confrontare le prestazioni dell'impianto a seconda della tipologia di combustibile utilizzato e a seconda delle differenti condizioni di esercizio.

Nell'ambito di queste attività, verrà affidato al Dipartimento di Scienze Chimiche (DSCG) dell'Università di Cagliari (Prof. Ferino) un'attività di caratterizzazione composizionale del syngas proveniente dalla gassificazione di carbone e biomasse.

Risultati/Deliverable:

- Report descrittivo dell'intera attività sperimentale condotta sull'impianto GESSYCA;
- Contributo ENEA al Report Tecnico emesso da SOTACARBO, relativo all'attività di progetto e sperimentale condotta sulla Piattaforma Pilota e in laboratorio (rif. Obiettivo a – Parte B1).

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

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b. Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂

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. Nel contesto italiano lo studio di una possibile applicazione di questo genere avrebbe l'importante e ulteriore ricaduta di un impiego massiccio di carboni nazionali di basso rango e di biomasse.

Nel PAR 2014 verrà completata la sezione dell'impianto prova GESSYCA per la produzione di SNG da carbone, equipaggiando l'impianto della sensoristica e di tutti gli ausiliari (compressore syngas, contatori di

gas prodotto, sistemi di campionamento, potenziamento del sistema di acquisizione, ...) necessari al corretto funzionamento delle sezioni di clean-up, conversione del syngas e upgrading fino a alla produzione di gas ad elevato contenuto di metano.

L'attività prevede quindi test sperimentali, svolti presso ENEA-C.R.Casaccia, su catalizzatori di natura commerciale al fine di ottimizzare il processo per un suo successivo upgrade. Verranno in tale ambito variati i principali parametri di processo quali la temperatura e la pressione.

Verrà in quest'ambito affidato al Dipartimento di Energia (DIE) del Politecnico di Milano (Prof. Forzatti) un'attività di sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori di tipo strutturato in forma di monolite per la produzione di Synthetic Natural Gas da carbone.

Verrà altresì affidata al Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna (Prof. De Angelis) un'attività di sintesi, caratterizzazione e prova di membrane per la separazione della CO₂ e la purificazione del Synthetic Natural Gas.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico relativo a "Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂"
- Report Tecnico relativo a "Sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori per la produzione di SNG da carbone"
- Report Tecnico relativo a "Sintesi e prova di membrane per la cattura della CO₂ e la purificazione del SNG"

Principali collaborazioni: Dipartimento di Energia (DIE) del Politecnico di Milano; Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna.

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c. Sviluppo di diagnostica per applicazioni in ossi-combustione: studio di sistemi ottici per la misura dell'ossigeno nei prodotti di combustione in regime MILD

L'attività di ricerca riguarda lo sviluppo di sensori per la misura della percentuale relativa e/o assoluta del contenuto dell'ossigeno molecolare nei fumi di combustione prodotti da un sistema a combustibile fossile, operante in regime MILD, (ovvero in assenza di fronte di fiamma), ad alta temperatura (1600 °C circa) e ad alte pressioni (5-10 bar). Nel precedente PAR è stato evidenziato come fosse necessario sviluppare un nuovo tipo di sensore, perché quelli disponibili in commercio non sono utilizzabili a causa delle elevate temperature d'esercizio. Nel caso in esame, poiché la centrale termica ha una linea di ricircolo fumi, la conoscenza della concentrazione dell'ossigeno nei gas di post combustione è fondamentale non solo per le emissioni in atmosfera ma anche per il funzionamento stesso della centrale in termini di sicurezza ed efficienza.

Per risolvere il problema è stata proposta una soluzione tecnica nuova, basata sulla spettroscopia ad emissione ottica (OES, Optical Emission Spectroscopy) degli atomi o molecole eccitati, in un ambiente in cui si genera un plasma il più possibile confinato.

Quanto nel precedente PAR proposto verrà realizzato mediante un impianto già disponibile, in grado di innescare un plasma con un generatore a Radio Frequenza. In tale configurazione, gli elettroni accelerati dal campo elettromagnetico, eccitano per urto le molecole presenti, che decadendo allo stato fondamentale, emettono radiazione luminosa a ben definiti valori della lunghezza d'onda nell'intervallo spettrale UV-VIS-NIR. I segnali rivelati a 762 nm (ossigeno molecolare), 777,2 nm e 844,6 nm (picchi di emissione relativi all'ossigeno atomico) marcano la presenza dell'ossigeno all'interno del gas. L'area sottesa dai picchi nello spettro è sensibile alla variazione della pressione parziale dell'ossigeno nel gas.

L'impianto che verrà utilizzato, denominato LS500, presenta caratteristiche tali che, con opportune modifiche, renderà possibile individuare i parametri caratteristici che influenzano l'emissione spettrale del plasma.

Nel PAR corrente verranno avviate due linee di attività, una a carattere sperimentale e l'altra di tipo progettuale che servirà ad apportare le modifiche all'apparato sperimentale esistente. Entrambe le attività serviranno ad acquisire le conoscenze necessarie alla progettazione di un pre-prototipo del sensore che si

intende realizzare in futuro.

La fase sperimentale prevede la misura degli spettri emessi dal plasma al variare della pressione e della tensione di bias della camera in cui prodotto il plasma. Le prove verranno effettuate utilizzando miscele differenti di gas simulanti la composizione dei fumi di post combustione. Ciò consentirà di misurare l'intensità dei picchi dello spettro in funzione della pressione parziale dell'ossigeno nella camera di prova e, attraverso opportuna analisi, la stima del contenuto dell'ossigeno.

Verrà quindi avviata una fase di studio e progetto per la realizzazione di una camera a vuoto compatta, in cui il plasma venga acceso in condizioni di grandi flussi (> 100 sccm) e pressioni nell'intervallo tra 10^{-1} e 10 mbar. Tale impianto avrà condizioni di esercizio complementari a quelle del LS500 e presenterà caratteristiche di maggiore compattezza anche se avrà ancora le caratteristiche di una stazione di prova. L'attività di progettazione si affiancherà alle prove sperimentali per identificare eventuali criticità nel progetto del sensore nel passaggio dalla fase di laboratorio a quello prototipale.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico descrittivo delle fasi sperimentali e di progetto
- Progetto del dispositivo pre-prototipo

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

d. Comunicazione e diffusione 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:

- la 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 2015, 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 in più programmato un workshop tematico sui risultati ottenuti nel PAR 2013 e sulle attività svolte nell'ambito del PAR 2014.

Risultati/Deliverable:

- Report Tecnico relativo a "Comunicazione e diffusione dei risultati: attività svolta da ENEA"

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE PARTE A

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a	Cattura della CO₂ con sorbenti solidi tramite "calcium looping" e "mineral carbonation"													
	<i>a.1 Cattura in pre-combustione basata sul "Calcium Looping": attività di laboratorio e sperimentazione sulla Piattaforma ZECOMIX</i>													
	<i>a.2 Sperimentazione del processo di 'mineral carbonation' come opzione tecnologica per lo stoccaggio della CO₂ (impianto VALCHIRIA)</i>													
b	Ampliamento del range operativo di sistemi turbogas sottoposti a variabilità del carico e della composizione del combustibile													
c	Cicli turbogas a CO₂													
d	Utilizzo della CO₂ per produzione di combustibili													

PROGRAMMA TEMPORALE PARTE B1

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
a	Cattura della CO₂ in pre-combustione e trattamento del syngas con produzione di combustibili gassosi													
	<i>a. Cattura della CO₂ in pre-combustione e trattamento del syngas con produzione di combustibili gassosi</i>													
b	Tecnologie per l'ottimizzazione dei processi di ossi-combustione													
	<i>b.1 Preparazione ed alimentazione del coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione</i>													
	<i>b.2 Definizione e trattamento degli effluenti tipici del processo e realizzazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione</i>													
c	Monitoraggio e storage della CO₂													
	<i>c.1 Approfondimenti sulla raccolta delle informazioni, definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e procedure autorizzative per attività di ricerca e prospezione</i>													
	<i>c.2 Rilievo geostrutturale in galleria</i>													
	<i>c.3 Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis</i>													
	<i>c.4 Studio della sismicità e definizione della baseline dell'area del bacino del Sulcis</i>													
d	Comunicazione e diffusione dei risultati													

PROGRAMMA TEMPORALE PARTE B2

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Tecnologie innovative per la cattura della CO ₂ in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi												
b	Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO ₂												
c	Sviluppo di diagnostica per applicazioni in ossi-combustione: studio di sistemi ottici per la misura dell'ossigeno nei prodotti di combustione in regime MILD												
d	Comunicazione e diffusione dei risultati												

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI PARTE A

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	Cattura della CO₂ con sorbenti solidi tramite "calcium looping" e "mineral carbonation"									
	<i>a.1 Cattura in pre-combustione basata sul "Calcium Looping": attività di laboratorio e sperimentazione sulla Piattaforma ZECOMIX</i>	1400	49	29	0	28	0	4	40	150
	<i>a.2 Sperimentazione del processo di 'mineral carbonation' come opzione tecnologica per lo stoccaggio della CO₂ (impianto VALCHIRIA)</i>	600	21	13	0	0	30	0	0	64
	<i>Subtotale Ob. a</i>	2000	70	42	0	28	30	4	40	214
b	Ampliamento del range operativo di sistemi turbogas sottoposti a variabilità del carico e della composizione del combustibile	550	19	12	10,5	24	0	4	0	69,5
c	Cicli turbogas a CO₂	1400	48	29	4,5	18	7	4	65	175,5
d	Utilizzo della CO₂ per produzione di combustibili	500	18	10	2	10	0	1	0	41
		4450	155	93	17	80	37	13	105	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, e le spese generali supplementari

(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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.2 del PAR 2013), pari a 35 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 21 €/h.

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI PARTE B1

Sigla	Denominazione obiettivi	Ore 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	Cattura della CO₂ in pre-combustione e trattamento del syngas con produzione di combustibili gassosi									
	<i>a.1</i> Cattura della CO ₂ in pre-combustione e trattamento del syngas con produzione di combustibili gassosi	10908	205	123	92	50	100	7	0	577
b	Tecnologie per l'ottimizzazione dei processi di ossi-combustione									
	<i>b.1</i> Preparazione ed alimentazione del coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione	1210	31	19	0	0	36	0	0	86
	<i>b.2</i> Definizione e trattamento degli effluenti tipici del processo e realizzazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione	1048	25	15	155	10	0	0	0	205
	<i>Subtotale Ob. b</i>	2258	56	34	155	10	36	0	0	291
c	Monitoraggio e storage della CO₂									
	<i>c.1</i> Approfondimenti sulla raccolta delle informazioni, definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e procedure autorizzative per attività di ricerca e prospezione	588	15	9	0	1	55	5	0	85
	<i>c.2</i> Rilievo geostrutturale in galleria	1192	31	19	0	0	50	0	0	100
	<i>c.3</i> Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis	588	15	9	0	0	100	0	0	124
	<i>c.4</i> Studio della sismicità e definizione della baseline dell'area del bacino del Sulcis	1172	30	18	0	0	70	0	0	118
	<i>Subtotale Ob. c</i>	3540	91	55	0	1	275	5	0	427
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	2336	56	33		103	6	7	0	205
	TOTALE	19042	408	245	247	164	417	19	0	1.500

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI PARTE B2

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, con produzione di combustibili gassosi	1700	59	36	0,5	4,5	30	5	0	135
b	Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂	1840	65	38	2	52	60	5	0	222
c	Sviluppo di diagnostica per applicazioni in ossi-combustione: studio di sistemi ottici per la misura dell'ossigeno nei prodotti di combustione in regime MILD	900	31	19	0	26	5	1	0	82
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	1000	35	21	0	0	0	5	0	61
		5440	190	114	2,5	82,5	95	16	0	500

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

Parte A

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
b	Server DELL R715	18.864	6.287	100%
b	Workstation portatile	4.963	1.654	100%
b	Workstation 32 core	30.000	2.500	100%
b	<i>Subtotale</i>		10.441	
c	Strumentazione x misure ottiche	20.376	4.075	100%
c	Sorgente luminosa per taratura filtri	6.000	300	100%
c	<i>Subtotale</i>		4.375	
d	Gasromatografo	20.000	1.000	100%
d	Pompa peristaltica per impianto FENICE	4.754	950	100%
d	<i>Subtotale</i>		1.950	

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

Parte B1

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	misuratore portata condensa	5.000	5.000	100%
a.1	misuratore di portata linea spillamento gas	5.000	5.000	100%
a.1	Impianto trattamento reflui	70.000	70.000	100%
a.1	Noleggio Muletto	6.000	6.000	100%
a.1	Noleggio Sistema azoto	6.120	6.120	100%
a	<i>Subtotale</i>	92.120	92.120	
b.2	Strumentazione e PLC impianto SO ₂ - SO ₃	55.000	55.000	100%
b.2	Realizzazione Impianto SO ₂ -SO ₃	100.000	100.000	100%
b	<i>Subtotale</i>	155.000	155.000	

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

Parte B2

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a	Fotocamera digitale	1.122,88	220	100%
a	<i>Subtotale</i>		220	
b	Centralina olio diatermico	14.600,00	730	100%
b	Datalogger	8.500,00	425	100%
b	Contatori gas	4.900,00	245	100%
b	Compressore syngas	13.400,00	670	100%
b	<i>Subtotale</i>		2.070	

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

2. Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Parte A

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Lavori di adeguamento impianti ZECOMIX e VALCHIRIA	25.000
a.1	Camino per microturbina T100 – impianto ZECOMIX	3.000
a	<i>Subtotale</i>	28.000
b	Rinnovo licenza ANSYS	23.300
b	Rinnovo licenza S/W TECPLOT	500
b	<i>Subtotale</i>	23.800
c	Lavori di adeguamento impianto AGATUR	18.000
c	<i>Subtotale</i>	18.000
d	Forno tubolare per alte temperature	10.000
d	<i>Subtotale</i>	10.000

Parte B1

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	irradiatori	4.620
a.1	Consumabili (combustibili, GPL, Azoto, ammine, ecc)	43.168
a.1	Iscrizione Convegni	2.500
a	<i>Subtotale</i>	49.668
b.2	Consumabili (catalizzatori)	10.000
b	<i>Subtotale</i>	10.000
c.1	Iscrizione Convegni	1.200
c	<i>Subtotale</i>	1.200
d.1	Annualità IEA	82.000
d.1	Summer school (costi organizzazione + rimborsi spese vito e alloggio relatori)	20.000
d.1	Iscrizione Convegni	1.957
d	<i>Subtotale</i>	103.957

Parte B2

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a	Rinnovo licenza S/W ASPEN	4.400
a	<i>Subtotale</i>	4.400
b	Valvole di campionamento gas	7.300
b	sensoristica	9.700
b	Materiale di consumo vario	11.000
b	Lavori di adeguamento impianto GESSYCA	20.000
b	Filtro depolveratore	3.600
b	<i>Subtotale</i>	51.600
c	Sezione di prova per misura concentrazione O ₂	26.000
c	<i>Subtotale</i>	26.000

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

Parte A

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.2	<p>Contratto di Ricerca con Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria Civile Caratterizzazione di scorie d'altoforno e studio di processi di agglomerazione dei residui attraverso processi a umido Caratterizzazione delle rese del processo di carbonatazione-granulazione, con riferimento a test sperimentali condotti su test-rig VALCHIRIA.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università di Roma Tor Vergata Dipartimento di Ingegneria Civile vanta specifiche competenze nelle tecnologie di valorizzazione delle scorie di provenienza siderurgica, nelle loro passivizzazione e nel loro riuso in campo civile. Il gruppo di ricerca coordinato dal Prof. R.Bacocchi ha in passato già collaborato con ENEA sul tema specifico.</p>	30.000
c	Progettazione scambiatore di calore impianto AGATUR	7.300

Parte B1

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Contratto personale esterno	10.000
c.1	Valutazione impatto ambientale	25.000
c.1	Acquisizione dati proseguimento annualità precedente (CARBOSULCIS)	30.000
c.3	INGV proseguimento attività precedenti	70.000
d.1	Proseguimento progettazione attività di divulgazione nelle scuole primarie	6.000

Parte B2

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a	<p>Contratto di ricerca con 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.</p> <p><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.</p> <p>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>	30.000
b	<p>Contratto di ricerca con Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia (DIE) Viene affidata al DIE del Politecnico di Milano un'attività di ricerca relativa alla sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori di tipo strutturato in forma di monolite per la produzione di Synthetic Natural Gas da carbone.</p> <p><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 pulverulenti potenzialmente nocive.</p>	30.000

b	<p>Contratto di ricerca con 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.</p> <p><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
c	Progettazione e realizzazione pre-prototipo della camera per OES (optical emission spectroscopy) per misura concentrazione di O ₂	5.000

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

Parte A

Ob.	Contraente - Oggetto del contratto / Motivazioni della scelta	Importo (€)
a.1	<p>Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia 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. Caratterizzazione in laboratorio, con tecniche XRD, BET, SEM-EDS, di sorbenti naturali pretrattati termicamente per aumentarne le prestazioni. Follow delle attività sperimentali condotte sulla Piattaforma ZECOMIX.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università de L'Aquila, ha collaborato allo studio e progettazione dei principali componenti della Piattaforma Zecomix (gassificatore, carbonatore), nonché nello sviluppo di sorbenti solidi per cattura di CO₂, pertanto vanta competenze specifiche per la loro messa a punto</p>	40.000
c	<p>Università di "Roma Tre", Dipartimento di Ingegneria Analisi aeroacustica del comportamento "a freddo" (studio della fluidodinamica non reattiva) e "a caldo" (studio della fluidodinamica in combustione), condotta con trasduttori di pressione e diagnostica ottica originale, di un bruciatore sperimentale di tipo "slot-burner", (denominato "ROMULUS"), realizzato per sperimentare la combustione con forti ricircoli di CO₂ (condizioni di combustione EGR). Trattamento dei segnali con tecniche "wavelet". Realizzazione del piccolo bruciatore sperimentale. Partecipazione alla progettazione di un nuovo bruciatore per turbogas, caratterizzato da ampia flessibilità di carico, basato su una strategia di combustione TVC (Trapped Vortex Combustor) [rif. Obiettivo b].</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università di Roma TRE, collabora da tempo con ENEA in merito allo sviluppo di bruciatori Trapped Vortex, e vanta competenze di altissimo livello nell'analisi aeroacustica di componenti in combustione e nel trattamento dei segnali con tecniche "wavelet"</p>	35.000
c	<p>Università di Roma "Sapienza", Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale Implementazione nel codice HeaRT di modelli il calcolo delle proprietà termodinamiche e di trasporto di fluidi ad alta pressione, in condizioni supercritiche. Validazione degli stessi con test case relativi a miscele a più componenti. <i>Motivazioni della scelta:</i> Il gruppo dell'Università di Roma, ha partecipato allo sviluppo dei modelli del codice ENEA-HeaRT e pertanto vanta competenze per la sua messa a punto e upgrade</p>	30.000
TOTALE		105.000

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

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 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*

Rispetto alle tematiche trattate nel PAR, ASCENT ha per obiettivo lo sviluppo di sorbenti artificiali, mentre nel PAR vengono sviluppati sorbenti di origine naturale.

Il progetto è in corso di svolgimento.

Progetti SOTACARBO

Nell'ambito progetto di ricerca **“Centro di Eccellenza per l'Energia Pulita”** finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna per un importo complessivo di circa 8,4 M, in tre anni a partire dal 2014, Sotacarbo è impegnata nelle seguenti attività:

Separazione CO₂

Il progetto mira a studiare alcuni degli aspetti principali delle tecnologie di separazione dell'anidride carbonica mediante pre-, post- e ossi-combustione. Relativamente a pre- e post-combustione, verranno studiati sperimentalmente i sistemi di separazione per assorbimento con solventi liquidi (limitatamente ad alcune caratteristiche chimico-fisiche dei solventi stessi) e con membrane. Per quanto riguarda l'ossi-combustione, verrà realizzato un piccolo combustore su scala da banco per approfondire il processo e per sviluppare la sensoristica.

Confinamento della CO₂

Il progetto prevede un contributo alla caratterizzazione del bacino del Sulcis come potenziale sito di confinamento permanente dell'anidride carbonica. In particolare, verrà effettuata un'ampia mappatura del sito con l'individuazione delle linee sismiche, lo studio delle acque e la realizzazione e validazione dei modelli geologici.

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Parte A

Risultati PAR 2013	Note	Risultati attesi PAR 2014
a.1 Sorbenti solidi avanzati per cattura ad alta temperatura		a.1 Cattura in pre-combustione basata sul “Calcium Looping”: attività di laboratorio e sperimentazione sulla Piattaforma ZECOMIX
Sviluppo e caratterizzazione di un sorbente multifunzionale caratterizzato da elevata rigenerabilità. Ottimizzazione del processo di gassificazione in letto fluido, predisposizione della piattaforma per la successiva cattura e integrazione della microTG per la produzione di energia da idrogeno	L'attività prosegue nel PAR 2014	Identificazione di un processo di trattamento da applicare a materiali sorbenti sintetici o di origine naturale, a base di CaO, che mantenga il più possibile inalterata la capacità di cattura all'aumentare dei cicli di carbonatazione /calcinazione. Integrazione, in un unico processo, sia della gassificazione del carbone che della successiva decarbonizzazione del syngas nel carbonatore. Studio modellistico e sviluppo sperimentale di membrane per la produzione di O ₂ all'interno del processo di gassificazione del carbone.
a.2 Ciclo pirolisi e gassificazione		a.2 Sperimentazione del processo di 'mineral carbonation'
Messa in esercizio dell'impianto VALCHIRIA, prime prove sperimentali e confronti con analisi di laboratorio	L'attività viene orientata verso la sperimentazione del processo di 'mineral carbonation' come opzione tecnologica per lo stoccaggio della CO₂	test in laboratorio per valutare il potenziale dei residui da acciaieria in termini di capacità sorbente. Selezione di trattamenti termici 'in-situ' per l'attivazione dei campioni solidi al fine di rimuovere il contenuto di acqua ed aumentare la superficie specifica. Caratterizzazione delle rese del un processo di carbonatazione-granulazione condotta su test-rig VALCHIRIA.

b.1 Metodologie numeriche avanzate per simulazione	<p><i>Le attività proseguono, ma vengono maggiormente finalizzate ai settori applicativi. A tal fine confluiscono negli obiettivi b e c</i></p>	b. Ampliamento del range operativo di sistemi turbogas sottoposti a variabilità del carico e della composizione del combustibile
Ulteriori sviluppi relativi ad un potente strumento di calcolo per sistemi reattivi multifase, con particolare riferimento alla descrizione accurata dei fenomeni dinamici in combustione		<p>Validazione delle performace predittive del codice HearT, applicato alla simulazione di un combustore premiscelato operato in condizioni di</p> <p>Simulazione/progetto di un bruciatore innovativo per turbina a gas, caratterizzato da elevata "load-flexibility".</p>
b.2 Simulazioni CFD con metodi RANS		
Validazione numerica di bruciatori avanzati per l'ossi-combustione		
b.3 Sviluppo, progettazione e test bruciatori avanzati per turbine a gas	<p>Caratterizzazione dinamica di un bruciatore innovativo Trapped Vortex per TG, e studio di una geometria innovativa per l'up-grade prestazionale di un bruciatore per TG Hevy Duty caratterizzato da elevata flessibilità di carico</p>	
c. Cicli a CO₂	<p><i>L'attività prosegue nel PAR 2014</i></p>	c. Cicli turbogas a CO₂
Definizione, attraverso simulazioni dinamiche, del dominio di funzionamento stabile di una micro turbina operante con tenore crescente di CO ₂		<p>Sperimentazione su bruciatore da laboratorio della combustione di metano in ambiente ricco di CO₂ (EGR) Simulazioni LES e DNS dello stesso bruciatore.</p> <p>Interventi di adeguamento della Piattaforma AGATUR per test di combustione EGR.</p> <p>Attraverso il modello termodinamico della microGT, realizzato e validato nei precedenti PAR, vengono individuati i valori termodinamici caratteristici dei regimi di funzionamento al variare del tenore di CO₂. A partire da questi, analisi CFD della combustione, in microTG, di gas naturale in configurazione EGR, per identificare la massima diluizione possibile.</p> <p>Ossi-combustione in atmosfera di CO₂ supercritica: calcolo e validazione delle proprietà termodinamiche e di trasporto di fluidi ad alta pressione. Implementazione dei modelli così sviluppati nel codice HearT e simulazioni di test case di letteratura relativi a condizioni supercritiche, per la verifica di validazione.</p>
d Utilizzo della CO₂ per produzione di combustibili		
Avvio dell'esercizio sperimentale di un piccolo dimostratore (Imp.FENICE) del processo di produzione di metano da CO ₂ . Valutazione dell'influenza delle variabili di processo sull'efficienza di conversione	<p><i>L'attività prosegue nel PAR 2014</i></p>	<p>Studio della sintesi di metanolo e dimetil-etero da biossido di carbonio e idrogeno. Nostro obiettivo: sintesi diretta (in un unico step) del DME da miscele gassose di CO₂ e H₂ in condizioni di pressione la più bassa possibile per limitare la spesa energetica dovuta alla compressione dei gas.</p>

Parte B2

Risultati PAR 2013	Note	Risultati attesi PAR 2014
a.1 Tecnologie di gassificazione presso impianto GESSYCA		a Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi
Avvio dell'attività sperimentale sull'impianto GESSYCA per lo sviluppo di metodologie di controllo della gassificazione e di componenti innovativi. Follow dell'attività sperimentale di gassificazione c/o SOTACARBO	<i>L'attività prosegue nel PAR 2014</i>	Valutate le prestazioni del processo di gassificazione, la reattività dei vari combustibili e la qualità del syngas prodotto, alla luce degli interventi migliorativi introdotti sul gassificatore. Follow dell'attività sperimentale di gassificazione c/o SOTACARBO
a.2 Partecipazione alla progettazione delle modifiche all'impianto dimostrativo SOTACARBO per co-gassificazione		
Progettazione delle modifiche alla griglia mobile di supporto del co-gassificatore dimostrativo	<i>L'attività confluisce nel Progetto B.1.1</i>	
a.3 Sperimentazione produzione SNG: metodi di purificazione dal TAR e sintesi di nuovi catalizzatori		b Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂
Modellazione del processo per suo efficientamento. Messa a punto di un processo di purificazione dal TAR e sintesi in laboratorio di un catalizzatore innovativo	<i>L'attività prosegue nel PAR 2014</i>	Completamento della sezione dell'impianto GESSYCA per produzione di SNG da carbone, Test sperimentali su catalizzatori di natura commerciale per ottimizzare il processo e per suo upgrade. Sintesi, caratterizzazione e prova di catalizzatori di tipo strutturato in forma di monolite Sintesi, caratterizzazione e prova di membrane per la separazione della CO ₂ e la purificazione del SNG.
a.4 Tecnologia CBTL: analisi energetiche e sviluppo nuovi catalizzatori		
Ottimizzazione energetica e di ciclo per un processo CTL e CBTL con inclusa cattura della CO ₂ e sviluppo nuovi catalizzatori	<i>L'attività, per effetto del ridimensionamento del budget del Progetto, viene sospesa</i>	
b.1 Sviluppo di sistemi diagnostici		c Sviluppo di diagnostica per applicazioni in ossi-combustione
Sviluppo di un sistema per misura della concentrazione di O ₂ nei fumi di post-combustione; Valutazione del possibile impiego di sistemi ottici non invasivi per la misura di temperatura nei fumi di post-combustione e monitoraggio dello stato funzionale del reattore.	<i>L'attività prosegue nel PAR 2014</i>	Misura degli spettri emessi dal plasma al variare della pressione e della tensione di bias della camera in cui prodotto il plasma. Stima del contenuto di ossigeno dalla intensità del picco. Progetto di un dispositivo preprototipo.
b.3 Analisi di ciclo e studio soluzioni di massimo efficientamento		
Confronto prestazionale tra un ciclo a vapore USC e una soluzione di avanguardia basata su CO ₂ supercritica	<i>L'attività si ritiene conclusa nel PAR 2013</i>	
c Sperimentazione di una rete fissa e mobile di monitoraggio geochimico		
Caratterizzazione del base-line di emissioni naturali di CO ₂ al suolo nel bacino del Sulcis	<i>L'attività, per effetto del ridimensionamento del budget del Progetto, prosegue esclusivamente a carico di Sotacarbo in Parte B1</i>	
d Comunicazione e diffusione dei risultati		
Promuovere e diffondere i risultati ottenuti nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico sul tema della sostenibilità dei combustibili fossili	<i>L'attività prosegue nel PAR 2014</i>	I risultati attesi coincidono qualitativamente con quelli conseguiti nel PAR precedente, viene in più programmato un workshop tematico sui risultati ottenuti nel PAR 2013 e sulle attività in corso di svolgimento nell'ambito del PAR 2014

AREA	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
Tema di Ricerca	ENERGIA NUCLEARE - FISSIONE
Progetto B.3.1	SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE E COLLABORAZIONE AI PROGRAMMI INTERNAZIONALI PER I NUCLEARE DI IV GENERAZIONE

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Per la terza annualità del PT 2012-2014, PAR2014, il lavoro prevede di rendere disponibili, in continuità con il PAR2013, una serie di prodotti così costituiti:

- a) attrezzature, laboratori e prove sperimentali, modelli, programmi e piattaforme di calcolo validati per la progettazione nucleare e le verifiche di sicurezza e sostenibilità del nucleare da fissione;
- b) analisi di sistema e di sicurezza di sistemi nucleari e relativi cicli del combustibile;
- 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 rapido delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per una esauriente valutazione della sicurezza degli impianti nucleari attuali e per contribuire allo sviluppo degli impianti nucleari di nuova generazione.

Tali infrastrutture di ricerca, concordate e realizzate in sinergia con ANSALDO NUCLEARE, permettono inoltre alle industrie nazionali del settore 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 2017).

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 attuale del prodotto dell'attività

Il programma triennale 2012-2014, modulato sulle esigenze del Paese a seguito dell'incidente di Fukushima e del successivo referendum, prevede che le attività di R&S siano incentrate su due macro aree:

- presidio e sviluppo di un sistema di competenze scientifiche in grado di assicurare la corretta gestione delle residue attività nucleari, in particolare sotto il profilo della sicurezza;
- ricerca e sviluppo tecnologico, con ricadute sul tessuto industriale, relative alla fissione di IV generazione.

Il problema della sicurezza nucleare coinvolge tutti i Paesi, prescindendo dall'esistenza di centrali elettronucleari in esercizio, a maggior ragione se entro il limite di 200 km dai confini nazionali. La Commissione Europea ha stabilito che ciascuna nazione debba effettuare una valutazione indipendente dello stato di sicurezza di questi reattori.

E' perciò necessario 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 abbandonare le attività di ricerca per lo sviluppo di reattori nucleari fino alla generazione III+. I temi di ricerca riguarderanno dunque 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 inquadrata 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 avviate in ambito Gen-IV degli studi di sicurezza nelle precedenti annualità dell'AdP, è stato deciso di reindirizzare il Piano Annuale di Realizzazione 2014, in continuità con il PAR2012 e PAR2013, 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

L'Italia, dove da tempo le centrali dotate di reattori di GEN II sono state fermate, non ha bisogno di operare studi e/o implementazioni della tecnologia per il miglioramento dello standard di funzionamento di questo tipo di sistemi. Nondimeno, come Paese Occidentale tecnologicamente avanzato, l'Italia ha l'obbligo di mantenere vive le conoscenze scientifiche nel campo della fissione nucleare, dando priorità al mantenimento delle conoscenze nel settore della sicurezza e alla ricerca e cooperazione internazionale per l'impiego sicuro, anche oltre i suoi confini geografici, del nucleare di prossima generazione.

Le attività previste nella Linea Progettuale 1 del PAR2014, sono pertanto tutte orientate a questo scopo, così come già lo stesso titolo indica, vale a dire: "Sviluppo Competenze Scientifiche nel Campo della Sicurezza Nucleare".

In particolare, si è ritenuto necessario che le esigenze primarie fossero la conservazione nel nostro Paese di un sistema di mantenimento delle competenze scientifiche sotto il profilo della sicurezza estesa a tutte le problematiche presenti nei reattori di generazione attuale e di partecipazione attiva, sia a livello nazionale che internazionale, ad attività rivolte allo sviluppo di sistemi delle generazioni successive.

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, alle iniziative e piattaforme Europee come SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform) ed ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative) per la definizione di una strategia europea sulla produzione economica, sicura e sostenibile dell'energia nucleare, permette 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, tra cui si ricordano i progetti SARNET2, SARGEN-IV, JASMIN e NURESAFE. Oltre a ciò, sempre in ambito di progetti europei, ENEA partecipa a CESAM, che si propone con attività di ricerca e sviluppo in relazione ai codici europei per studi di analisi incidentale e si attiva nell'individuazione di azioni valide di "Accident Management".

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 inquadrata 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.

Obiettivo finale dell'attività

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 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, ecc.).
- **A medio e lungo termine:** Conservare ad alto livello le competenze sul nucleare da fissione per rendere possibile la valutazione di progetti di reattori innovativi proposti in ambito 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 per gli utenti del sistema elettrico nazionale dall'esecuzione delle attività già svolte

Lo sviluppo delle competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare, 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.

A questo riguardo, come prodotto finale del PT 2012-2014, si conferma il raggiungimento degli obiettivi prefissati nelle seguenti attività:

- 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.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione degli obiettivi

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

Linea Progettuale 1: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

In questa terza e ultima annualità del PT 2012-2014 le attività sono organizzate sulla base dei seguenti quattro obiettivi principali:

- a. Studi ed Analisi di Sicurezza e Sostenibilità
- b. Valutazione degli Incidenti e delle loro Conseguenze
- c. Sperimentazione e Calcolo in Appoggio agli Studi sulla Sicurezza
- d. Comunicazione e Diffusione dei Risultati

I quattro obiettivi sono divisi in task tematiche, alcune sviluppate solo da ENEA ed altre con i contributi delle università e politecnici consorziati in CIRTEN (Bologna, 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. Studi ed analisi di sicurezza e sostenibilità

a.1 Produzione e validazione di librerie di dati nucleari dedicate ad analisi di schermaggio, danno da radiazione ed attivazione per diverse tipologie di reattori

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano su due tematiche:

Tema 1. *Generazione e validazione della libreria di sezioni d'urto multi-gruppo accoppiata n/γ VITJEFF32.BOLIB per applicazioni di schermaggio e danno da radiazione in reattori nucleari a fissione.*

L'attività prevista si basa sul processamento di dati nucleari valutati europei JEFF-3.2 (OECD-NEADB) di ultima generazione tramite il nuovo sistema americano NJOY-2012 (LANL) per ottenere una libreria multi-gruppo accoppiata neutronica e fotonica per applicazioni di schermaggio e danno da radiazione in reattori nucleari a fissione. Tale libreria adotterà la struttura a gruppi (199 n + 42 γ) delle analoghe librerie americane VITAMIN-B6 e VITAMIN-B7 (ORNL), basate su dati nucleari americani ENDF/B, secondo quanto previsto dalla specifica normativa ANSI/ANS-6.1.2-1999 (R2009).

Tema 2. *Validazione delle librerie aggiornate di dati di decadimento radioattivo del sistema per analisi di attivazione ANITA-2000 su dati sperimentali prodotti da FNG-ENEA-Frascati e FNS-JAERI.*

ANITA-2000 è un "package" per il calcolo dell'attivazione di materiali sottoposti ad irraggiamento neutronico rilasciato dall'ENEA alla NEA Data-Bank (NEA 1638). Il lavoro previsto è la continuazione delle attività compiute in ambito PAR 2013, dedicate all'aggiornamento delle librerie di dati nucleari di decadimento radioattivo incluse nel sistema ANITA-2000, specificamente sviluppato per il calcolo dell'attivazione di materiali sottoposti ad irraggiamento neutronico. 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 aggiornate sulla base della libreria JEFF-3.1.1/RDD (Radioactive Decay Data Library) e verranno validate sulla base dei risultati sperimentali prodotti da FNG-ENEA-Frascati e FNS-JAERI.

Risultati/Deliverable

- LP1.a1.1 VITJEFF32.BOLIB - An ENEA-Bologna Fine-Group Coupled (199 n + 42 gamma) Cross Section Library in AMPX Format Based on JEFF-3.2 Data
- LP1.a1.2 Validation of the updated decay data libraries of the ANITA-2000 code package, based on the JEFF-3.1.1/RDD evaluated library, through the comparison with experimental results from FNG-ENEA-Frascati and FNS-JAERI

Durata: ottobre 2014 - luglio 2015

a.2 Metodi Monte Carlo e deterministici per analisi di sicurezza nocciolo e stoccaggio di materiale fissile

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano su due tematiche:

Tema 1. *Valutazioni, con mezzi Monte Carlo, della progettazione di strumentazione per il monitoraggio del livello di degradazione di un nocciolo di PWR durante una evoluzione incidentale severa.*

Verrà 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 verrà svolto prendendo a riferimento una evoluzione incidentale severa con fuoriuscita di corium come conseguenza della perforazione del fondo del vessel.

Tema 2. *Valutazioni, con codici deterministici, dei fenomeni di tilt azimutale in reattori PWR e del loro impatto sui margini di sicurezza di nocciolo.*

Facendo ricorso ai particolari set di sezioni d'urto efficaci a 2 gruppi, calcolati nella precedente annualità

con il codice di trasporto deterministico Apollo2, in un nocciolo PWR verrà introdotta una perturbazione tale da simulare, con il codice deterministico Cronos2, un tipico tilt azimutale di potenza a *burnup* nullo. Per condizioni HZP saranno poi valutati i *worth* delle barre di controllo e si stimerà la variazione della loro reattività a causa della presenza del tilt. La variazione di reattività potrà altresì essere usata come mezzo per individuare sperimentalmente la presenza, la posizione e l'intensità del tilt stesso mediante opportune correlazioni. Saranno infine proposte alcune considerazioni sull'impatto del tilt azimutale sui margini di sicurezza neutronica e termoidraulica di nocciolo.

Risultati/Deliverable

- LP1.a2.1 Monitoraggio della posizione del corium a seguito di una eventuale perforazione del vessel
- LP1.a2.2 Valutazioni di fenomeni di tilt azimutale in reattori PWR mediante codici deterministici e loro impatto sui margini di sicurezza di nocciolo

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

a.3 Metodi per verifiche di sostenibilità

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano su due tematiche:

Tema 1. *Resistenza alla proliferazione, nuclear security e sostenibilità del ciclo del combustibile.*

In continuità con le attività dei precedenti Piani Triennali e delle prime due annualità del PAR 2012-2014, si prosegue 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.

Tema 2. *Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre iniziative internazionali sulla gestione dei rifiuti radioattivi.*

Lo sviluppo delle attività svolte nelle due precedenti annualità, relative a IGD-TP (Implementing Geological Disposal Technology Platform), ha permesso di partecipare, oltre che all'Exchange Forum annuale, anche alle "Joint Actions", gruppi di lavoro che attuano il Deployment Plan (pubblicato nel 2012), e che in genere si concretizzano in Progetti Europei di grande respiro sulle tematiche individuate nella SRA (Strategic Research Agenda). Per quanto riguarda questa terza annualità, facendo riferimento agli organismi di settore (IAEA, OECD-NEA, EURATOM, etc.) proseguirà 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 procederà ad analisi utili per future attività di waste disposal & management.

Risultati/Deliverable

- LP1.a3.1 Resistenza alla proliferazione, nuclear security e sostenibilità del ciclo del combustibile
- LP1.a3.2 Contribution to IGD-TP platform and other international initiatives on the management of radioactive waste

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b. Valutazione degli incidenti e delle loro conseguenze

b.1 Analisi incidentale e valutazioni di sicurezza per reattori BWR e PWR di centrali prossime ai confini nazionali

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano su tre tematiche:

Tema 1. *Calcoli di inventari di nocciolo per le centrali frontaliere a combustibile misto UOx-MOx e valutazione del termine sorgente in condizioni incidentali severe per alcune sequenze di particolare interesse.*

Sulla base delle attività svolte nelle due precedenti annualità (inventari di nocciolo per le centrali frontaliere) in questa terza annualità si procederà al calcolo degli inventari di nocciolo con combustibile di tipo UOx-MOx, con la finalità di stimare rapidamente i possibili rilasci in atmosfera di eventuali incidenti nucleari agli impianti che distano meno di 200 km dal confine nazionale. L'attività stessa è svolta in collaborazione con CIRTEN-UNIBO.

Tema 2. *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.*

A complemento dell'attività svolta nelle precedenti annualità, verranno 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, 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 intende inoltre investigare 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. Tali analisi verranno eventualmente integrate con l'uso di codici meccanicistici dedicati ad un'analisi più dettagliata del comportamento delle barrette di combustibile in condizioni incidentali.

Tema 3. *Studio integrale di sequenze incidentali con riferimento a centrali prossime ai confini nazionali dotate di reattori del tipo BWR e PWR.*

Gli incidenti di Fukushima, Chernobyl e Three Mile Island hanno focalizzato l'attenzione delle nazioni che includono l'energia nucleare nel loro mix energetico, sull'ottimizzazione delle strategie necessarie per la mitigazione degli incidenti severi. Sebbene l'energia nucleare non sia parte del mix energetico italiano, centrali nucleari con reattori di tipo PWR e BWR sono disposte attorno ai confini nazionali settentrionali (centrali frontaliere). 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 di studiare, utilizzando il codice MELCOR, transitori di interesse che possano evolvere in reattori frontaliere (PWR e BWR).

Risultati/Deliverable

- LP1.b1.1 Core Inventory calculations for mixed fuels UOx-MOx, with reference to NPPs close to Italian borders and related source term evaluations under severe accident conditions
- LP1.b1.2 Assessment of PWR core behaviour and estimate of confidence level got with the use of mechanistic and / or integral codes calculations of accident sequences with reference to TMI-2 reactor
- LP1.b1.3 Integral study of accident sequences with reference to NPPs next to the Italian borders

Principali collaborazioni: CIRTEN (UNIBO, temi 1 e 2; UNIPI, tema 2; UNIRM1, tema 3).

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b.2 Analisi della risposta di modelli di dispersione e diffusione di contaminanti rilasciati in atmosfera e implementazione della banca dati per valutazioni di sicurezza e supporto alla emergency preparedness»

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano sulle tre seguenti tematiche:

Tema 1. *Istruzione del database esperto – Fase 3: Inserimento dell'orografia.*

Utilizzando opportuni software GIS, verranno 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. Saranno prodotte quattro mappe per ogni sito, al variare della distanza dal sito stesso, e dunque con diversa risoluzione spaziale, l'ultima delle quali arriverà ad interessare anche il territorio italiano per una distanza massima in linea d'aria pari a 160 km. Tali mappe saranno poi inserite nel database in modo tale da poter essere direttamente accoppiate con il codice di calcolo Rascal 4.3 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.

Tema 2. *Dispersione e diffusione di contaminanti radioattivi rilasciati con continuità in atmosfera a seguito di incidente nucleare grave e valutazione delle concentrazioni nel territorio fino a distanze di 300 km dalla sorgente.*

Nell'ambito delle attività relative alla valutazione dell'impatto da rilasci incidentali di materiale tossico nell'ambiente, si procede alla valutazione della concentrazione di materiale radioattivo rilasciato in atmosfera a seguito di evoluzione incidentale severa e con riferimento alle centrali frontaliere. E' importante mettere in evidenza che per la valutazione sono stati usati i modelli di dispersione presenti nel codice RADCAL-III, in sviluppo e validazione presso ENEA, che fanno specifico riferimento a rilasci di tipo continuo con sviluppo "a pennacchio". Nel codice RADCAL-III sono implementati sia modelli a pennacchio con approccio gaussiano tipo "plume-model modificato", sia modelli a puff, con approccio euleriano. In questa fase dell'attività si farà uso dei modelli a rilascio continuo, ipotizzando la conoscenza delle portate di rilascio dall'impianto incidentato, delle quote di rilascio e dell'inventario di materiale tossico radioattivo. I calcoli sono eseguiti a partire dalla sorgente fino a 300 km dalla stessa, tenendo conto dell'orografia del territorio e delle condizioni meteorologiche delle zone interessate. Stessa valutazione sarà eseguita con l'uso del codice rilasciato da USNRC, WinMACCS, al fine di evidenziare le possibili differenze e procedere alle dovute conclusioni.

Tema 3. *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.*

Dopo una rapida raccolta di informazioni sui più adeguati modelli per valutazioni di dispersione di contaminanti sotto forma di gas, aerosol e particolato di varia dimensione, si procede ad una valutazione della risposta dei modelli selezionati e si opera un confronto con quelli attualmente implementati nei codici CALPUFF e CALMET. CALPUFF è un sistema integrato avanzato, per la simulazione della dispersione atmosferica di inquinanti, adottato da US-EPA (United States Environmental Protection Agency), nella sua direttiva sui modelli della qualità dell'aria, come modello di riferimento per la valutazione del trasporto a lungo raggio degli inquinanti e, con analisi caso per caso, anche per valutazioni in campo corto (nei pressi della sorgente di rilascio), con la presa in conto di condizioni meteo complesse. CALMET è un modello meteorologico diagnostico, che ricostruisce i campi di vento e temperatura in 3D a partire da misure meteorologiche, orografia e dati di uso del suolo.

Risultati/Deliverable

- LP1.b2.1 "Realizzazione di un database esperto a supporto della gestione di una situazione di crisi – fase 3"
- LP1.b2.2 "Evaluation of radioactive concentrations, with reference to territory up to 300 km from the source, due to a continuous release of pollutants to atmosphere as a consequence of a nuclear severe accident".
- LP1.b2.3 "Valutazione della risposta di modelli avanzati per gas, aerosol e particolato immessi in atmosfera in fase incidentale per confronto con quelli adottati in CALPUFF e CALMET".

Principali collaborazioni: CIRTEN (UNIPA, tema 3).

Durata: novembre 2014 – settembre 2015

b.3 Applicazione di Metodologia PSA e DSA del tipo "Risk-Informed" per la stima del rischio di eventi esterni»

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano sulle due seguenti tematiche:

Tema 1. 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.

In questa terza annualità si procederà 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:

- la valutazione del rischio relativa a siti con molte unità;
- l'analisi degli aspetti del PSA "level2", tesi alla valutazione del source term.

L'analisi viene corredata anche da alcuni casi studio, tesi alla implementazione dei relativi modelli nell'approccio probabilistico.

Tema 2. Verifiche di sicurezza, attraverso calcoli deterministici connessi alla funzione di Contenimento, per valutare la risposta degli impianti all'incidente di riferimento.

Come parte degli studi probabilistici di sicurezza, vengono compiuti anche 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. In tale ambito, quindi, sarà valutato il margine di sicurezza residuo del sistema di contenimento, principalmente, il quale rappresenta l'ultima barriera di difesa dell'impianto in termini di contenimento e confinamento dei rilasci di radioattività all'ambiente esterno. Saranno valutate le performances del contenimento in relazione anche agli effetti di *aging* che potrebbero eventualmente influenzare le prestazioni dei materiali costitutivi del Contenimento stesso.

Risultati/Deliverable

- LP1.b3.1 *Probabilistic analysis of specific safety aspects and implementation of related models, with reference to the information available from the accident at the Fukushima Dai-ichi NPP*
- LP1.b3.2 Safety verifications, through deterministic calculations related to containment function, to evaluate the plant response for the reference accident

Principali collaborazioni: CIRTEN (UNIPI, tema 2)

Durata: novembre 2014 – settembre 2015

c. Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi sulla sicurezza

c.1 Studi relativi alla simulazione integrale di sistema presso gli impianti SIET

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano sulle due seguenti tematiche:

Tema 1. *Validazione e verifica di codici termo-idraulici e relativi modelli sui test SPES2.*

Nelle scorse annualità dell'Accordo di Programma 2012-2014 è stato messo in luce come la disponibilità di attrezzature sperimentali sia essenziale per confermare la validità dei principi su cui si basa il progetto di sicurezza di reattori innovativi. Pertanto erano stati effettuati studi di fattibilità e di valutazione economica mirati al completamento della facility SPES3 presso i laboratori SIET di Piacenza, che come simulatore integrale di SMR rappresenterebbe un'opportunità unica nel panorama europeo. Sfortunatamente, tali studi mostrano che allo stato attuale il budget disponibile non permette ulteriori interventi. Nella corrente annualità prosegue invece l'attività di validazione-verifica (V&V) dei codici termo-idraulici di sistema e relativi modelli utilizzando i dati sperimentali già disponibili della facility SPES2 (simulatore integrale AP600).

Questa attività ha due obiettivi:

- la validazione di tali strumenti per lo studio di fenomenologie rilevanti per il progetto della sicurezza nei sistemi innovativi, che in particolare coinvolgono l'utilizzo di sistemi passivi;
- il mantenimento della capacità di progettazione ed interpretazione di campagne sperimentali attraverso l'utilizzo degli strumenti numerici più idonei.

Nel corso delle due precedenti annualità del presente PAR l'attività di validazione - verifica (V&V) ha riguardato i codici di calcolo TRACE e CATHARE2. Per lo svolgimento di tale attività, sono stati sviluppati i modelli CATHARE (da parte ENEA) e TRACE (da parte del Dipartimento Energia, dell'Informazione e Modelli Matematici dell'Università degli Studi di Palermo) della facility SPES2 (simulatore integrale dell'impianto AP600). I modelli ottenuti sono stati utilizzati per la simulazione di due transitori incidentali, opportunamente selezionati all'interno della campagna di prove sperimentali condotta su SPES2 all'inizio degli anni 90, con lo scopo di testare le prestazioni dei sistemi di emergenza del tipo passivo di cui è dotato

l'impianto.

Il confronto tra i risultati di tali simulazioni e i dati sperimentali disponibili ha suggerito la necessità di:

- apportare modifiche ai *noding* 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;
- valutare in modo esatto la portata critica alla rottura.

L'approfondimento di questi aspetti sarà oggetto dell'attività della corrente annualità, che sarà conseguito anche tramite la simulazione di eventuali altri transitori della matrice di prova della facility SPES2. Tale attività sarà opportunamente messa a valore nell'ambito dei programmi internazionali per la validazione dei codici TRACE e CATHARE (rispettivamente CAMP e CATHARE User Club).

Risultati/Deliverable

LP1.c1.1 Approfondimento delle problematiche di simulazione con i codici CATHARE e TRACE2 dei transitori SPES2

Principali collaborazioni: CIRTEN (UNIPA).

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c.2 Sperimentazione su componenti critici e strumentazione prototipica per reattori innovativi

Le attività programmate nella terza annualità si sviluppano sulle tre seguenti tematiche:

Tema 1 *Sviluppo e qualificazione della strumentazione per i deflussi bifase.*

Metodologia deterministica/statistica per l'analisi dei segnali dello spool piece Venturi/Sonda ad impedenza. L'attività teorico sperimentale svolta nella precedente annualità del PAR ed avente per oggetto lo sviluppo e qualificazione di strumentazione per i deflussi bifase, ha messo in evidenza che la sperimentazione del tubo di Venturi ha dimostrato la bontà di questo dispositivo nella stima della portata bifase, in particolare nei regimi di moto anulare/disperso (elevata frazione di vuoto) e moto a bolle (bassa frazione di vuoto). Ha inoltre dimostrato che la modellazione di uno "spool piece" per la stima dei parametri di un deflusso bifase richiede necessariamente la caratterizzazione sperimentale dei vari regimi (flow patterns), nonché una analisi dei range di transizione tra flow patterns con l'ausilio di una metodologia basata sull'analisi statistica dei segnali associati agli strumenti dello spool piece stesso.

Alla luce dei risultati raggiunti e delle problematiche rimaste aperte (gestione delle incertezze ed interpretazione degli aspetti stocastici dei segnali), per la attuale annualità del PAR (2014) si propone anzitutto l'estensione delle prestazioni dello spool piece Venturi/Sonda ad impedenza con la sperimentazione con più elevate portate per la fase liquida, in modo da descrivere un più ampio campo di funzionamento e più regimi di moto (i valori medi dei segnali, dal punto di vista deterministico, saranno confrontati con i modelli sviluppati precedentemente). In aggiunta verrà implementata una analisi statistica dei segnali, sia per il Venturi che per la sonda ad impedenza, ai fini del riconoscimento del flow pattern a monte e a valle del tubo di Venturi. Il lavoro proposto consiste quindi nella messa a punto di una metodologia deterministica/statistica per l'interpretazione dei segnali dello spool piece Venturi - sonda ad impedenza in deflussi con un più ampio intervallo di valori della frazione di vuoto ed in presenza di regimi di transizione dei deflussi bifase.

Tema 2 *Valutazione di sistemi passivi per la rimozione del calore di decadimento in reattori SMR.*

Lo studio svolto per il PAR 2013 sull'analisi comparata di scambiatori di calore e generatori di vapore (in collaborazione con il Politecnico di Milano) ha permesso di valutare diverse tipologie di scambiatori di calore da utilizzare all'interno di sistemi di sicurezza passivi per gli impianti nucleari innovativi. Durante il lavoro si sono analizzate due tipologie di scambiatori di calore (elicoidale e a microcanali) da inserire all'interno di un reattore innovativo SMR. L'analisi comparata ha riguardato le condizioni di funzionamento stazionario e transitorio, rappresentative di una condizione incidentale di mancanza di energia elettrica (station blackout), evidenziando che i sistemi di rimozione del calore di tipo passivo hanno la potenzialità di

soddisfare i requisiti di progetto e ridurre la possibilità di danneggiamento del nocciolo. Tra le questioni ancora aperte in questo ambito vi è la necessità di caratterizzare ulteriormente il comportamento dello scambiatore di calore immerso nel sistema primario, in quanto la capacità di rimozione della potenza è fortemente dipendente dalle condizioni di scambio termico che si instaurano all'interno del componente, dalla tipologia e dalle condizioni dei fluidi oltre che dalle cadute di pressione. Inoltre poiché la fase di avviamento del sistema di rimozione, in termini di condizioni iniziali e condizioni al contorno, gioca un ruolo fondamentale nel raggiungimento delle condizioni di sicurezza sul medio e lungo periodo essa necessita di una caratterizzazione più approfondita. Per la attuale annualità del PAR (2014) ci si propone di studiare più in dettaglio il funzionamento di scambiatori di calore da utilizzare in sistemi di sicurezza passivi per gli impianti nucleari della nuova generazione, con particolare enfasi per i reattori SMR, sia ad acqua che a piombo. Si analizzeranno e confronteranno, dal punto di vista qualitativo e quantitativo, altre soluzioni che appaiono promettenti per la rimozione di potenza negli SMR, come gli scambiatori a baionetta studiati per i reattori a Piombo. I risultati potranno essere utilizzati come supporto allo sviluppo della tecnologia dei reattori SMR in termini di scelta dei componenti più promettenti per sistemi passivi di rimozione del calore in modo tale da garantire l'affidabilità e la sicurezza delle tecnologie dei futuri reattori nucleari.

Tema 3 *Sperimentazione a supporto della caratterizzazione di scambiatori con tubi a baionetta*

Presso i Laboratori SIET, nel corso dei precedenti PAR, è stato realizzato e testato un circuito di prova per generatori di vapore a tubi elicoidali. Questo circuito sarà utilizzato nel corrente PAR2014 per testare dei generatori di vapore con tubi a baionetta, previamente integrati sull'apparecchiatura sperimentale. I test termo-idraulici che saranno effettuati consentiranno un confronto preliminare delle prestazioni tra tali generatori di vapore e quelli a tubi elicoidali, alle diverse condizioni di interesse per reattori SMR. Inoltre, i dati sperimentali ottenuti saranno preziosi per la validazione dei codici di sistema utilizzati a supporto della progettazione e per l'analisi incidentale dei reattori SMR.

I tubi a baionetta, da integrare sulla facility, verranno messi a disposizione da ENEA, mentre la SIET effettuerà il montaggio e la realizzazione delle prove. La sezione di prova sarà costituita da una coppia di tubi a baionetta aventi diametro esterno dell'ordine di 25 mm e lunghezza totale massima di 8 metri. I tubi a baionetta prevedono 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. Sia il tubo interno sia quello esterno saranno realizzati utilizzando tubi commerciali. Il riscaldamento sarà realizzato con resistenze elettriche che avvolgono il tubo esterno per la sua lunghezza. Sarà possibile realizzare, per ogni tubo, due zone di riscaldamento controllate indipendentemente. La potenza totale per ogni tubo sarà di circa 15-20 kW. La pressione di progetto della coppia di tubi a baionetta, in previsione di futuri utilizzi, sarà di 200 bar, ma l'attuale facility sarà in grado di alimentare la sezione di prova con acqua sottoraffreddata o satura fino ad una pressione di 70 bar ed una portata di 0.1 kg/s. Allo scarico della sezione di prova è previsto un sistema di separatori e valvole in grado di attuare il controllo della pressione d'uscita. La massima temperatura ammissibile per il vapore in uscita sarà di 400 °C. ENEA fornirà il necessario supporto per la progettazione delle prove effettuando le opportune simulazioni con codici di sistema.

Risultati/Deliverable

- LP1.c2.1 Messa a punto di una metodologia deterministica/statistica per l'analisi dei segnali dello spool piece Venturi/sonda ad impedenza
- LP1.c2.2 Analisi e confronto di soluzioni tecnologiche diverse per la rimozione del calore in reattori SMR
- LP1.c2.3 Progettazione, realizzazione ed interpretazione di prove termoidrauliche di base su generatori di vapore con tubi a baionetta

Principali collaborazioni: CIRTEN (POLITO, temi 1 e 2; POLIMI, tema 2). SIET, (tema 3).

Durata: novembre 2014 – settembre 2015

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

L'ENEA si impegna a provvedere alla diffusione delle attività di ricerca svolte nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-MSE, linea progettuale LP1, organizzando una serie di seminari, come riportato nella lista

che segue e organizzando un kick-off e un workshop finale delle attività relative alla terza annualità.

Il workshop nazionale sarà finalizzato alla presentazione delle attività svolte nella presente annualità del PAR, con richiami a quanto già consolidato nella fase precedente e a quanto raggiunto nel triennio di ricerca del PT 2012-2014. Oltre a questi eventi topici, è prevista la preparazione di un numero di memorie da pubblicare attraverso il sito Web dell'ENEA e su riviste scientifiche a tiratura nazionale e internazionale.

Di seguito è riportata la lista dei workshop programmatici previsti. Possibili variazioni si potrebbero avere nei titoli a seguito di aggiustamenti da attuare in funzione dei risultati che verranno conseguiti.

1. SEMINARIO su “Simulazioni e valutazioni incidentali”, Bologna-ENEA MMS, marzo 2015
 - L. Burgazzi, R. Lo Frano: “Valutazione incidentale, col metodo “Risk-Informed”, di sequenze indotte da eventi esterni”
 - F. De Rosa, F. Mascari: “Simulation and evaluation of relevant severe accident scenarios and source term for safety assessment”
 - F. Rocchi: “Valutazione e considerazioni sul termine sorgente con riferimento all'incidente alla centrale di Fukushima Dai-ichi”
2. SEMINARIO su “C-14 nei rifiuti destinati al deposito”, Bologna-ENEA MMS, aprile 2015
 - P. Bartolomei, A. Capone, R. Levizzari, A. Luce, A. Rizzo: “Il C-14 nei rifiuti radioattivi destinati al deposito”
3. SEMINARIO su “Safety e uso di strumenti di calcolo”, Bologna-ENEA MMS, maggio 2015
 - F. De Rosa: “Evoluzione dei requisiti di sicurezza in campo nucleare e importanza delle tecniche di comunicazione e diffusione dell'informazione”
 - F. Mascari: “Modelling of advanced reactors with TRACE and MELCOR codes”
 - G. Bandini: “Lessons Learnt da TMI2, sulla base dei risultati del recente benchmarking svolto presso OECD/CSNI/WGAMA, valide per considerazioni di sicurezza sui reattori PWR di centrali prossime ai confini nazionali “
 - C. Lombardo: “Uso di strumenti di calcolo nell'analisi incidentali: punti di forza e debolezze”
 - M. R. Giardina: “Stato dell'arte sui modelli di dispersione atmosferica fino alle medie distanze e considerazioni per la loro implementazione”
4. SEMINARIO su “Fenomenologia e Scaling”, Roma-UNIRM1 SAPIENZA, giugno 2015
 - F. Mascari, F. Giannetti: “Reactor coolant system phenomena and scaling issues” (Roma-UNIRM1-SAPIENZA, Giugno 2015)
 - F. Mascari, F. Giannetti: “Reactor containment phenomena and scaling issues” (Roma-UNIRM1-SAPIENZA, Giugno 2015)

I contenuti delle attività svolte in questo obiettivo saranno dettagliati nel rapporto tecnico indicato qui sotto.

Risultati/Deliverable

LP1.d Raccolta e diffusione dei risultati conseguiti nel triennio del PT 2012-2014 nella linea progettuale relativa allo sviluppo di competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

Durata: febbraio 2015 – giugno 2015

LINEA PROGETTUALE 2: COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE

Nell'ambito delle attività per il nucleare di IV generazione, come per il PAR2013, le attività sono focalizzate sulla tecnologia dei reattori a piombo e sui reattori SMR refrigerati a piombo.

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, GIORDI) per prove materiali in piombo, 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.

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.

Nel PAR2014 si prosegue inoltre con le attività di concettualizzazione e progettazione del nocciolo del DEMO-LFR, e si attivano studi e analisi di sicurezza sia sul sistema LFR che sul combustibile nucleare. Infine si proseguirà con le attività di studio relativamente al rilascio e migrazione dei prodotti di fissione in caso di scenari di "core degradation" e dell'interazione fuel-coolant

La seconda macro area ("materiali e fabbricazioni") 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 corrosione 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

La necessità di disporre di dati nucleari accurati per gli attinidi minori è stata evidenziata in molti studi recenti sui sistemi GEN IV. Ad esempio, la notevole massa atomica degli attinidi può giocare un ruolo fondamentale negli studi di fattibilità di cicli di combustibile innovativo. In tale ambito, particolare risalto è stato dato all'importanza che avrebbero eventuali esperienze integrali, in reattori di ricerca, finalizzate all'inferenza delle sezioni d'urto di attinidi minori.

A tale scopo sarebbe necessario realizzare prove di irraggiamento in spettro veloce, anche di bassa fluenza, ma che sia ben noto e caratterizzato.

Nell'ambito del PAR2014 si vuole quindi avviare uno studio in cui analizzare la fattibilità di tali esperienze integrali nel reattore TAPIRO, macchina veloce unica in Europa poiché dispone di un flusso neutronico veloce pulito e ottimamente caratterizzato.

Lo studio sarà condotto mediante codici deterministici e Monte Carlo, e supporterà la progettazione di esperienze di irraggiamento nel reattore TAPIRO finalizzate allo studio di dati nucleari di attinidi minori.

Relativamente allo sviluppo del codice ERANOS, il lavoro di validazione finora svolto nell'ambito dello

sviluppo delle tecniche di analisi perturbativa non lineare del campo neutroni/nuclidi ha fornito risultati molto promettenti. I test svolti per casi semplici ma significativi di evoluzione in presenza di nuclidi fissionanti e trasmutanti hanno dato risultati confrontabili con quelli ottenuti con calcoli diretti entro il 3-6%. Nel campo nuclidico è stata sviluppata una procedura di calcolo, denominata GMECCYCO, che potrà essere agevolmente accoppiata alla procedura GPT, presente nel codice ERANOS e già compiutamente validata per i calcoli perturbativi riguardanti i funzionali del flusso neutronico.

Scopo della prossima fase di lavoro sarà pertanto l'accoppiamento delle due diverse procedure: GMECCYCO e metodologia GPT. Sono previsti studi di sensitività dimostrativi riguardanti reattori veloci (ALFRED) in rapporto a funzionali di interesse.

Relativamente alle attività di progettazione del nocciolo, le azioni previste per la presente annualità si indirizzano verso la conclusione delle analisi impostate nelle precedenti annualità dell'Accordo di Programma per la definizione di una nuova configurazione di riferimento per il nocciolo di ALFRED.

Dopo l'analisi critica della configurazione di nocciolo di ALFRED, così come emersa dal progetto LEADER, durante la scorsa annualità si è pervenuti ad un nuovo possibile arrangiamento in cui sono state corrette tutte le criticità emerse. L'ultimo passo, prima di giungere ad una nuova configurazione di riferimento, consiste ora nella completa caratterizzazione neutronica della stessa, così da ricavare gli arricchimenti e le zone di arricchimento che consentano di garantire l'operabilità della macchina per i tempi previsti e nel rispetto dei limiti di progetto. I dati emersi da tale caratterizzazione saranno inoltre utilizzati per una verifica termoidraulica puntuale del progetto, a dimostrazione dell'avvenuto conseguimento degli obiettivi.

Uno dei punti critici del progetto del reattore ALFRED consiste nell'individuazione di una strategia di ricarica che consenta di assicurare il continuo ed efficace raffreddamento degli elementi esausti, durante la loro estrazione dal nocciolo e fino alla loro deposizione in piscina di raffreddamento. Criticità complicata dal layout dello stesso elemento di combustibile, per via dell'estensione fino al cielo di pila della parte strutturale di questo. Ci si propone pertanto di investigare la fattibilità di una soluzione mitigativa che preveda il parcheggio degli elementi esausti in posizioni periferiche del nocciolo, valutando tecniche efficaci di disaccoppiamento di questi elementi da quelli di sostegno da un lato, e di mitigazione dell'aggravio atteso sul danneggiamento dell'inner vessel per la prossimità di forti sorgenti neutroniche e gamma, dall'altro.

Risultati/Deliverable

- LP2.a1_a Progettazione di esperienze in TAPIRO finalizzate allo studio di dati nucleari di attinidi minori
- LP2.a1_b Implementazione del codice ERANOS per l'analisi perturbativa e di sensitività nel campo non lineare neutroni/nuclidi
- LP2.a1_c Characterization of the new ALFRED core configuration
- LP2.a1_d On the viability of In-Vessel Storage in the new ALFRED configuration

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2 Analisi di Sicurezza

Nell'ambito dell'analisi di sicurezza di sistemi LFR e SMR veloci, un ruolo fondamentale è giocato dall'analisi numerica del comportamento del combustibile nucleare. L'attività proposta, in continuità con PAR2013, avrà l'obiettivo di sviluppo e validazione del codice di fuel pin performance TRANSURANUS per l'analisi dei reattori veloci a piombo.

In relazione alle attuali linee di ricerca sulla sicurezza dei reattori veloci di IV generazione raffreddati a piombo, l'attività proposta si pone il duplice obiettivo:

- di aggiornamento del codice di fuel pin performance Transuranus con riferimento alla versione LFR-oriented messa a punto durante il PAR 2013 per l'analisi dei reattori veloci a piombo;
- di carattere applicativo e metodologico (tramite l'impiego di suddetta versione del codice) per la modellazione e l'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.

Per quanto riguarda il punto I), il lavoro prevede un'ulteriore aggiornamento della versione LFR-oriented per quanto riguarda i principali modelli fenomenologici del materiale di guaina (acciaio austenitico AIM1 della classe Ti-15-15) e del combustibile (MOX).

Per quanto riguarda il punto (II), tramite la suddetta versione del codice Transuranus, si intende effettuare un'analisi di performance delle barrette di combustibile del reattore di riferimento, in condizioni nominali. L'attenzione sarà focalizzata sui fenomeni caratteristici della vita della barretta in reattore, nell'intento di:

- a) verificare il rispetto dei limiti di design;
- b) individuare eventuali criticità, tramite un'analisi di sensitività dedicata agli aspetti più significativi, per i quali la modellazione esistente presenta tuttora diverse incertezze, e volta alla definizione di uno scenario penalizzante per la performance;
- c) ottimizzare alcuni parametri di progetto della barretta di combustibile;
- d) fornire indicazioni preliminari sulla configurazione geometrica degli elementi di combustibile ritenuta più adeguata dal punto di vista termo-meccanico.

I risultati attesi di questo lavoro permetteranno di offrire indicazioni utili al progetto del reattore di riferimento e, più in generale, per migliorare la sicurezza intrinseca dei reattori a piombo. Si ritiene che i risultati di maggiore interesse possano essere i seguenti:

- I. attenta valutazione, nelle condizioni di normale funzionamento, dell'evoluzione del comportamento in reattore del sistema "guaina-combustibile" (in particolare, del processo di chiusura dell'intercapedine tra guaina e pastiglie di combustibile e della successiva dinamica di contatto tra guaina e combustibile);
- II. miglioramento del design di barretta e della sua performance;
- III. individuazione di soluzioni costruttive finalizzate al conseguimento di margini di sicurezza più ampi.

Nell'ambito del PAR-2013 sono stati messi a punto dei modelli numerici per le analisi di sicurezza di un reattore veloce refrigerato a metallo liquido. In particolare, si è sviluppato un modello termoidraulico tridimensionale con codice di sistema (RELAP5-3D©) del reattore di ricerca EBR-II. Tale modello è stato usato per l'analisi "blind" dell'esperimento SHRT-17. I risultati ottenuti sono stati analizzati e confrontati con i dati sperimentali. Inoltre, in parallelo è stato messo a punto 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. Il modello include la conduzione nelle guaine e nel filo, la convezione nel refrigerante, la conduzione nella scatola esagonale ed il bypass flow. Infine, è stata portata avanti un'attività relativamente allo sviluppo di un modello Monte Carlo (MCNP), per il calcolo dei parametri nucleari e della distribuzione di potenza, e di un modello per il codice INL PHYSICS.

L'attività tecnica programmata per il PAR2014 consiste nell'applicazione e nella validazione dell'approccio per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione basato sui modelli sviluppati durante l'attività PAR2013. L'attività è multi-physics e multi-scale e trarrà beneficio dalla 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.

L'attività richiede uno sforzo sinergico di differenti competenze tecniche, dalla fisica del reattore, alla termoidraulica di sistema, alla fluidodinamica computazionale. Partendo da quanto svolto nell'ambito del PAR2013, ci si propone di proseguire l'attività secondo il seguente schema logico.

1. Il modello RELAP5-3D© sviluppato e utilizzato nell'ambito del PAR-2013 verrà qualificato attraverso la simulazione del test SHRT-17 (post-test analisi) e utilizzato per le analisi del test SHRT-45r attraverso l'uso della cinetica puntuale.
2. Il modello di cinetica 3D realizzato per il codice di trasporto neutronico PHYSICS sarà accoppiato al codice termoidraulico con l'obiettivo di effettuare simulazioni test SHRT-45r e di eseguire analisi di sensibilità per quantificare le incertezze legate ai dati nucleari, ai parametri costruttivi ed ai modelli numerici.
3. Il modello del nocciolo EBR-II sviluppato per il codice Monte Carlo (MCNP6) potrà essere sfruttato, ove possibile, per supportare risultati delle simulazioni RELAP5-3D/PHYSICS.

4. Il modello CFX della fuel assembly XX09 sarà utilizzato, partendo dalle condizioni al contorno fornite dalla termoidraulica e dalla neutronica, per le analisi di post-test dell'esperimento SHRT-17, supportando i risultati RELAP5 e l'analisi dei dati sperimentali.

Relativamente agli studi sulla strumentazione nucleare per sistemi veloci, come continuazione dell'attività della scorsa annualità, si propone di approfondire lo sviluppo, tramite simulazione MCNP e fase sperimentale di prototipazione, di strumentazione neutronica SPND (Self Powered Neutron Detector), a partire da quanto disponibile commercialmente per valutarne la applicabilità in reattore ALFRED (la strumentazione è stata progettata per altre tipologie di reattori e mai provata nel piombo). Tale attività teorico-sperimentale segue la fase teorico-simulativa dello scorso anno ed è propedeutica alla fase puramente sperimentale di irraggiamento in Tapiro che si prevede per le prossime annualità.

In questa annualità si pianifica quindi di continuare le simulazioni MCNP e acquisire la strumentazione e la catena di acquisizione e controllo, da testare prima dell'irraggiamento in reattore.

Relativamente agli studi di core-compaction realizzati nel PAR2013, occorre continuare a studiare il fenomeno ai fini di una corretta progettazione del core e dei suoi principali componenti affinché si evitino deformazioni e/o danneggiamenti (indotte da vibrazioni, sollecitazioni sismiche o impulsive, rilasci di energia, ecc.) tali da indurre instabilità del core stesso, perdita di refrigerazione e, in casi di fuel blockage esteso, incidente severo.

Si continuerà quindi con

- a) Upgrading dei modelli numerici tali da rappresentare con maggior dettaglio la core region ed in particolare l'elemento di combustibile.
- b) L'analisi dinamico-strutturale di modelli geometricamente complessi tenendo conto dei fenomeni di contatto e verifica dell'integrità del combustibile, anche a fronte dei gradienti termo-meccanici derivanti dalla mancanza di refrigerazione indotta dal flow blockage.
- c) Analisi di dettaglio della "core region" in configurazione deformata; i cui risultati dovrebbero permettere l'identificazione della porzione di core deformato (% di flow blockage).

Tale attività saranno propedeutiche a un'attività sperimentale (da svolgere nel prossimo PT) in scala ridotta con un modello semplificato della core region refrigerato ad acqua: i risultati ottenibili potrebbero permettere la qualificazione del codice, garantire la capacità predittiva della modellazione, da usare a supporto/verifica della progettazione del core stesso.

Risultati/Deliverable

- LP2.a2_a Supporto alla progettazione del combustibile nucleare per il reattore LFR
- LP2.a2_b Sviluppo e validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione
- LP2.a2_c Studio teorico-sperimentale di un SPND commerciale per applicazione a reattori raffreddati al piombo
- LP2.a2_d Valutazione degli effetti dinamico-strutturali indotti dal fenomeno del "core compaction"

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

a.3 Rilascio e migrazione dei prodotti di fissione

Nel caso di incidenti severi, il combustibile nucleare può essere sottoposto ad un'ampia varietà di condizioni. Queste ultime sono di natura dinamica e, nel corso di un incidente, il combustibile potrebbe essere esposto a temperature variabili tra 600 e 2400°C, come pure ad ambienti che vanno da altamente ossidanti a debolmente riducenti.

L'attività prevista, che rappresenta la continuazione di quella svolta nel PAR 2013, consiste nella sperimentazione, presso i laboratori ENEA, finalizzata a verificare ciò che accade a seguito del contatto diretto di alcune sostanze – derivanti dalla fissione del combustibile UO₂ – con il refrigerante (piombo fuso). In particolare saranno presi in esame altri composti simulanti i prodotti di fissione del combustibile a nitruri e ad ossidi (nitruro di alluminio, ossido di lantanio, ioduro di cesio).

Particolare importanza rivestono, nell'ambito del medesimo tema, le interazioni tra il refrigerante e i prodotti di fissione volatili, sempre a seguito di situazioni incidentali. In particolare saranno prese in considerazione sostanze quali cesio, iodio, etc., che possono dar luogo a composti vari con il piombo fuso. Inoltre, al fine di evitare che i prodotti volatili entrino nella biosfera è assolutamente necessario che gli stessi vengano "catturati" da opportuni agenti in grado di trattenerli in modo sicuro.

Proseguendo l'attività svolta nel PAR 2013, nell'ambito del quale è stato utilizzato l'impianto OGATA (Off-GAs Treatment Apparatus), saranno effettuati esperimenti utilizzando, come sostanze volatili, cesio e iodio, al fine di stabilire l'entità dell'interazione con il piombo a diverse temperature. Contemporaneamente saranno effettuati studi atti ad evidenziare la capacità di intrappolamento, nei confronti degli elementi volatili, del MOF-5 (molecola di recente formulazione), la cui sintesi è stata messa a punto nell'ambito del PAR 2013.

Nell'ambito dello studio teorico dell'interazione chimica tra fuel e coolant per sistemi LFR, in continuità con quanto ottenuto nei precedenti PAR, si procederà con la valutazione della composizione del sistema Pb-MOXirr all'equilibrio termodinamico mediante un codice basato sulla minimizzazione dell'energia libera di Gibbs del sistema. A tal fine l'attività prenderà in considerazione diversi sottosistemi refrigerante-combustibile irraggiato semplificati, per valutarne la composizione all'equilibrio termodinamico alle temperature di interesse per i casi di funzionamento nominale ed incidentale ULOF. Si effettuerà quindi un confronto tra i composti binari individuati dal codice come presenti nel sistema all'equilibrio e i relativi diagrammi di fase sperimentali disponibili in letteratura. Qualora non fossero disponibili le informazioni termodinamiche necessarie al codice, queste verranno ricavate applicando i metodi selezionati e validati nei PAR precedenti, quali il metodo Miedema per l'entalpia di formazione, il metodo Witusiewicz per la stima dell'entropia e del calore specifico o attraverso l'approccio DFT sviluppato per i composti gassosi. Infine, l'attività svolta nel precedente progetto ha ulteriormente confermato la convinzione che la chimica quantistica computazionale può essere un valido strumento per studiare in maniera semi-sistematica composti attinoidi. Pertanto, l'approccio DFT-GGA sarà applicato allo studio delle proprietà termochimiche in fase cristallina mediante l'utilizzo del codice VASP (Vienna Ab-initio Simulation Package) e avvalendosi del supporto del centro di supercalcolo CINECA.

Nell'ambito dello studio sperimentale dell'interazione chimica tra fuel e coolant per sistemi LFR, POLIMI inizierà l'allestimento di una facility per l'esecuzione di prove sperimentali in piombo fuso con sostanze chimiche in grado di riprodurre il comportamento chimico-fisico di elementi e composti presenti nel combustibile nucleare irraggiato. In aggiunta l'attività si concentrerà sulla progettazione di prove volte all'ottenimento di parametri termodinamici di interesse, utilizzabili per validare l'approccio computazionale sviluppato nei precedenti PAR, che prevedono l'impiego di sostanze chimiche in grado di riprodurre il comportamento chimico-fisico di elementi e composti presenti nel combustibile nucleare irraggiato.

Risultati/Deliverable

LP2.a3_a Studio delle interazioni tra combustibile, prodotti di fissione, e refrigerante in sistemi LFR

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b. Materiale e Fabbricazioni

b.1 Qualifica, modellizzazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR

Il piombo e la lega eutettica piombo-bismuto ad alta temperatura sono molto corrosivi per gli acciai e la compatibilità degli acciai con il piombo liquido rappresenta il problema principale nello sviluppo di sistemi che impiegano questi refrigeranti. La corrosione da metallo liquido pesante avviene attraverso due meccanismi a seconda della concentrazione di ossigeno disciolto nel fuso:

- i. dissoluzione degli elementi costitutivi di acciaio,
- ii. reazione degli elementi costitutivi acciaio con l'ossigeno disciolto con formazione di una scaglia di ossido ed ossidazione interna.

Una tecnica per la protezione della corrosione per gli acciai inossidabili adottata nei reattori ad uso militare

sviluppati in Unione Sovietica si basa sul controllo dell'ossigeno disciolto nel metallo fuso: mantenendo la concentrazione di ossigeno attorno al valore 10-6 wt% di concentrazione si mantiene uno strato di ossido superficiale di ferro e cromo che limita a valori trascurabili i tassi di dissoluzione dei componenti dell'acciaio.

Il controllo della concentrazione dell'ossigeno disciolto per la protezione dalla corrosione è però di difficile applicazione a reattori di potenza per usi civili poiché comporta il non facile compito di monitorare il contenuto di ossigeno e mantenerlo a valori dati su volumi molto grandi con geometrie estremamente complicate. Inoltre la tecnica non è efficace per temperature superiori ai 450 °C, poiché a queste temperature c'è un cambiamento nei meccanismi di corrosione e si osservano gravi attacchi.

E' quindi necessario adottare delle misure aggiuntive per proteggere quelle parti del reattore come le camicie del combustibile, wrappers e spacers che potrebbero raggiungere temperature fino a 650°C. In questa direzione, seguendo un approccio consolidato per la protezione dei materiali dalla corrosione, si stanno sviluppando trattamenti superficiali e rivestimenti al fine di aumentare la resistenza alla corrosione a materiali dalle proprietà note e codificate dalle normative internazionali per impieghi nucleari.

Nei precedenti PAR si è iniziata un'attività sperimentale volta allo sviluppo di ricoperture per la protezione dei materiali strutturali da metallo liquido pesante. L'attività sperimentale si è concentrata su due linee di attività, la prima su rivestimenti passivanti basati su leghe Fe-Cr-Al, la seconda su rivestimenti multistrato costituiti da un deposito intermedio di buffer basato su leghe FeCrAl e FeCrAlY e da un rivestimento esterno di Al₂O₃.

Le attività del presente PAR, in continuità con i precedenti riguardano le seguenti tematiche.

Tematica 1: Sintesi di rivestimenti

Continuazione delle attività di sintesi e qualifica di coatings e materiali strutturali per sistemi LFR: modifiche su composizione, architettura tecnica di deposizione dei rivestimenti, sulla base dei risultati emersi dalla campagna sperimentale 2013-14.

Riguardo alla linea di sviluppo di rivestimenti compositi Al₂O₃ amorfa/nanocristallina mediante tecniche di deposizione per ablazione laser (PLD) portata avanti dal CIRTEN, si provvederà:

- allo sviluppo dei rivestimenti su supporti cilindrici. Nell'ambito del PAR 2012 era stato progettato un portacampioni manipolatore finalizzato alla deposizione di dei rivestimenti su supporti cilindrici. Nell'ambito del PAR 2013 il portacampioni manipolatore era stato realizzato, ed erano stati prodotti i primi campioni cilindrici rivestiti. L'esperienza acquisita mostra l'utilità di mettere a punto la metodologia di deposizione in relazione alle peculiarità dei campioni cilindrici; verranno inoltre caratterizzate le proprietà dei rivestimenti ottenuti su campioni cilindrici anziché piani;
- alla produzione di provini da trazione e provini per prove di corrosione di acciaio DS4 ricoperti

Riguardo alla linea di sviluppo di ricoperture basate su leghe FeCrAl portata avanti da CSM SPA., le attività svolte nelle annualità precedenti hanno riguardato lo sviluppo di rivestimenti sia come overlay coatings che come diffusion coating, utilizzando le tecnologie di deposizione PVD (Arc-PVD) e CVD (pack cementation) rispettivamente. Le attività nell'ambito del PAR2014 si concentreranno principalmente sull'ottimizzazione del processo di deposizione CVD per pack cementation sui substrati P91 e 15-15 Ti, riguardo:

- alla preparazione superficiale dei campioni (pre- e/o post- deposizione)
- al processo vero e proprio (composizione del materiale di deposizione, temperatura del processo)
- all'ottimizzazione dei processi termici post deposizione (temperatura e controllo velocità di raffreddamento)

La messa a punto dei parametri del processo di alluminizzazione sarà finalizzata alla conservazione nel manufatto finale delle caratteristiche di bulk dei substrati riguardo allo swelling ed alla stabilità microstrutturale sotto irraggiamento neutronico. Verranno quindi prodotti provini coi rivestimenti FeCrAl Arc-PVD messi a punto nei precedenti PAR e CVD (pack cementation) che verranno sottoposti a testing.

Le attività di cui sopra saranno supportate dalla caratterizzazione con misure di micro e nano indentazione, caratterizzazione per diffrazione di raggi X, analisi termo-gravimetrica, ciclaggi termici, prove di adesione, prove di fatica per flessione a quattro punti, prove di impatto, caratterizzazione microstrutturale al

microscopio elettronico a scansione ed analisi per spettroscopia a dispersione di energia, caratterizzazione microstrutturale al microscopio elettronico in trasmissione ed analisi per spettroscopia a dispersione di energia, prove di ossidazione ciclica in aria, prove di corrosione in piombo in regime di controllo dell'ossigeno.

Le caratterizzazioni saranno portate avanti prevalentemente da CIRTEN ed in parte dai laboratori che si occupano della sintesi.

Tematica 2: Irraggiamento con ioni pesanti per la simulazione del comportamento sotto irraggiamento neutronico

A completamento delle attività di cui sopra, continueranno le sperimentazioni volte a simulare il comportamento e la stabilità microstrutturale e dimensionale sotto irraggiamento neutronico mediante prove di irraggiamento con ioni pesanti. Le attività riguarderanno la caratterizzazione dei materiali irraggiati durante la scorsa annualità così come la progettazione ed esecuzione di una nuova campagna di irraggiamento su tutti i materiali prodotti. In particolare riguardo ai campioni prodotti per ablazione laser, verrà testato il comportamento sotto irraggiamento a dosi elevate, dell'ordine delle centinaia di DPA, che corrispondono alle dosi previste a fine vita dei componenti per i sistemi LFR. Tutti gli attori coinvolti saranno parte attiva di questa attività.

Tematica 3: Prove di creep-rupture

Ad integrazione delle attività di caratterizzazione di materiali strutturali ricoperti e operanti in piombo, verranno continuate le prove termomeccaniche a lungo termine di "CREEP-RUPTURE" su materiali strutturali ricoperti simulando le condizioni operative tipiche del sistema LFR.

Nello specifico saranno testati il 15-15 Ti ricoperto con Ta (CVD) e FeCrAl (PVD), sia in piombo che in aria, con carico variabile al limite dello snervamento, e ad una temperatura di 550°C. Anche il tenore disciolto nel piombo fuso sarà rigorosamente controllato. Le prove di creep-rupture verranno eseguite nei laboratori ENEA di Faenza.

In continuità con le attività svolte nel PAR2014 sullo sviluppo della lega austenitica doppio-stabilizzata (DS4), si procederà con le attività di caratterizzazione dei lotti prodotti.

- Screening sulle proprietà a trazione e analisi microstrutturale della lega prodotta.
- Caratterizzazione a creep del materiale.
- Caratterizzazione a corrosione del materiale. La lega DS4 contiene un'alta percentuale di Nichel (il 25%); l'alto tenore di questo elemento, che porta ad elevati ratei di dissoluzione in piombo, rende la caratterizzazione a corrosione un aspetto cruciale per l'utilizzo di questo materiale come acciaio di guaina per i sistemi LFR. Si prevede pertanto di effettuare una campagna sperimentale per caratterizzare a corrosione, in ambiente ossidante, questo materiale, sia vergine che ricoperto. Il ricoprimento sarà realizzato con tecnologia PLD (Pulsed Laser Deposition).

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 materiali strutturali ricoperti per applicazioni nucleari
- LP2_b1_d Report sulla caratterizzazione di rivestimenti mediante prove di irraggiamento con ioni pesanti
- LP2_b1_e Prove di CREEP-RUPTURE su materiali strutturali ricoperti per applicazioni in sistemi refrigerati a metallo liquido pesante
- LP2_b1_f Characterization of mechanical properties and Corrosion behavior in lead of DS4 steel

Principali collaborazioni: CIRTEN, CSM SPA

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti.

Coerentemente agli obiettivi di sviluppo e validazione di un sistema di controllo e monitoraggio della chimica del refrigerante, e in continuità con il PAR2013, saranno intraprese da ENEA azioni tese alla caratterizzazione di materiali strutturali ricoperti in piombo stagnate presso il laboratorio della chimica del piombo del CR Brasimone.

Si provvederà quindi a studiare il comportamento a corrosione in piombo liquido sia acciai strutturali di riferimento per il dimostratore ALFRED (15-15Ti, AISI 316L e T91) sia di varie tipologie di coating per valutarne sia l'idoneità come barriera anticorrosiva sia la bontà della tecnica di fabbricazione. Nel 2014 sono stati ottenuti primi risultati riguardanti lo studio dell'acciaio 15-15Ti(Si) in piombo liquido statico a 550°C, in condizioni di saturazione di ossigeno e per 2000 ore di esposizione. Nelle medesime condizioni è stato effettuato anche lo studio del ricoprimento di TiN ottenuto mediante PVD.

Per il 2015, il laboratorio di chimica del piombo si propone di proseguire l'attività sperimentale di caratterizzazione dei materiali in piombo liquido, studiando nuovi coatings e ponendo particolare attenzione allo studio nelle condizioni di basso ossigeno disciolto. In aggiunta all'attività riguardanti i materiali strutturali, verrà investigata l'efficacia di oxygen getters quali elementi in grado di creare e mantenere le condizioni di basso ossigeno nel bagno di piombo.

Un elenco dettagliato delle attività in programma è riportato di seguito:

- Prove di corrosione in piombo statico in condizioni di alto ossigeno disciolto (proseguimento dello studio del 15-15Ti e studio di AISI 316L e dei coating di Ta e Al₂O₃ ottenuti mediante tecniche CVD e PLD rispettivamente);
- Prove di condizionamento a basso ossigeno del piombo liquido mediante utilizzo di gas H₂ (ripetibilità a partire dalle condizioni di saturazione, concentrazione minima di H₂ per il mantenimento del basso ossigeno, influenza della concentrazione di H₂ sul tempo di deossigenazione del bagno);
- Prove di corrosione in piombo statico in condizioni di basso ossigeno a breve termine (2000 ore, studio del 15-15Ti, AISI 316L e coating di Ta e Al₂O₃);
- Studio dell'efficacia del Ti come oxygen getter nel piombo liquido monitorando la concentrazione di ossigeno e studio di fattibilità per applicazioni in facility.

Infine si provvederà a realizzare prove di corrosione in piombo fluente in ambiente ossidante mediante l'up-grade dell'impianto LECOR. Saranno realizzati test di 1000 h di corrosione su acciai strutturali anche ricoperti di interesse per i sistemi LFR.

Risultati/Deliverable

- LP2.b2_a Prove di corrosione su materiali strutturali ricoperti in piombo stagnate in funzione del tenore di ossigeno
- LP2.b2_b Report sulle prove di corrosione in piombo fluente mediante impianto LECOR

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c. Termoidraulica del refrigerante

c.1 Sperimentazione e modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi

Nell'ambito dell'implementazione del laboratorio di termo fluidodinamica dei metalli liquidi pesanti, si proseguirà con le attività di caratterizzazione del Generatore di Vapore (GV) del DEMO-LFR. L'attività prevede la installazione della sezione di prova HERO - Hheavy liquid metal – pressurized water cooled tube- nell'impianto sperimentale CIRCE in configurazione di prova ICE.

A seguito del completamento del circuito ad acqua in pressione a 180 bar per l'alimentazione della sezione di prova HERO, e la sua installazione sull'impianto CIRCE, si provvederà alla esecuzione di una prima campagna sperimentale che permetterà di caratterizzare a livello sperimentale le prestazioni del GV del DEMO-LFR.

Con riferimento alla caratterizzazione sperimentale del GV prototipico di ALFRED tramite la sezione di

prova HERO, uno dei problemi irrisolti è rappresentato dalla misura, con precisione accettabile, del livello raggiunto dalle fasi liquida e vapore all'interno del tubo a baionetta.

Nel PAR2013 si è avviato uno studio teorico e sperimentale per l'applicazione di una nuova tecnica riflettometrica per la misura del livello.

Nell'ambito del PAR2014 si provvederà al completamento della realizzazione dell'impianto VAPORETTO (SWINGER), con successiva validazione e messa in servizio. L'impianto sarà utilizzato per la validazione della tecnica di misura di livello bifase in tubi del generatore di vapore a baionetta, basato su misure riflettometriche.

A completamento del piano triennale, l'impianto VAPORETTO (SWINGER) sarà utilizzabile per la validazione di strumentazione innovativa per sistemi ad acqua ad alta pressione e temperatura.

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 reale 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.

L'obiettivo della task è quello di implementare un'attività sperimentale che possa consentire la caratterizzazione delle piccole perdite. In particolare, l'esperimento cercherà di correlare la portata attraverso la perdita con uno o più segnali. L'attività, sarà svolta in sinergia con il progetto Europeo FP7 MAXSIMA, e consisterà in un up-grade dell'impianto LIFUS5/Mod2 installato al centro sperimentale ENEA del Brasimone. In particolare sono previste le seguenti attività.

- a. progettazione dell'esperimento (layout, identificazione della strumentazione, funzionamento dell'impianto);
- b. fornitura dell'up-grade dell'impianto LIFUS5/Mod2, della sezione di prova e della strumentazione necessaria per effettuare la campagna sperimentale.

Inoltre, nell'ambito dell'implementazione del laboratorio di termofluidodinamica sarà dato ulteriore rilievo all'investigazione analitico - sperimentale dell'interazione metallo liquido acqua in supporto alla caratterizzazione di generatori di vapore per sistemi LFR, in sinergia con progetti europei quali LEADER e MAXSIMA del VII Programma Quadro Euratom, a cui l'ENEA partecipa attivamente.

L'attività consisterà nella progettazione, mediante simulazione numerica di pre-test con codice di calcolo SIMMER-III, delle prove sperimentali di interazione su larga scala tra leghe di piombo ed acqua in pressione (fino a 16 bar), da realizzare sull'impianto CIRCE dell'ENEA Brasimone.

Si provvederà inoltre alla progettazione e realizzazione di un nuovo sistema di acquisizione dati veloce e del sistema di controllo dell'impianto per prove di SGTR su larga scala.

Infine proseguiranno gli studi sull'accoppiamento dei codici di calcolo secondo l'approccio "two-way".

Nell'ambito delle precedenti collaborazioni (PAR 2011, 2012 e 2013) il GRNSPG ha svolto un'attività di sviluppo, miglioramento e qualifica preliminare di un'interfaccia software per l'accoppiamento two-way, con schema implicito, tra il codice termoidraulico di sistema RELAP5-3D e il codice di fluidodinamica computazionale ANSYS CFX. L'ultimo contributo a tale attività, in particolare, è consistito nell'applicazione, a fini di verifica e validazione, alla simulazione di esperimenti di circolazione naturale e assistita di metalli liquidi effettuati sull'apparecchiatura sperimentale NACIE (ENEA Brasimone).

L'attività proposta per il PAR 2014 intende dare continuità al lavoro svolto precedentemente, estendendo le funzionalità dell'interfaccia di accoppiamento, migliorandone le prestazioni, e ampliandone la base di qualifica. In particolare, si intende:

- ottimizzare lo schema di accoppiamento per il calcolo parallelo (per quanto riguarda la parte CFD della simulazione accoppiata);
- implementare nuove funzioni sull'interfaccia grafica, per generalizzarne l'utilizzo e consentire un controllo più user friendly del setup del calcolo accoppiato;
- effettuare nuove simulazioni di esperimenti (di NACIE o altra apparecchiatura sperimentale indicata da ENEA) per validare lo strumento.

Relativamente all'accoppiamento fra il codice di calcolo RELAP5/Mod.3.3 (versione recentemente modificata presso l'Università di Pisa) e il codice di CFD commerciale Ansys Fluent, è stata sviluppata nel PAR2013 una nuova metodologia di calcolo accoppiato. La metodologia sviluppata è stata successivamente migliorata permettendo il calcolo accoppiato con il codice di CFD eseguito in parallelo su più CPU in modo da ridurre significativamente le tempistiche di calcolo.

Accanto al modello esplicito di accoppiamento è stato implementato anche un modello di calcolo accoppiato implicito in grado di garantire maggior stabilità di calcolo con la possibilità di utilizzare time step più elevati.

Nel PAR 2013 è stato eseguito un confronto preliminare tra risultati sperimentali e quelli derivanti dall'applicazione del modello sviluppato ha dimostrato una buona capacità di quest'ultimo di prevedere i risultati derivanti da prove sperimentali effettuate per lo studio della circolazione naturale ed assistita con l'apparecchiatura NACIE dell'ENEA del Brasimone.

Il lavoro proposto per il PAR 2014 per la analisi dei risultati derivanti dall'applicazione di tale metodologia sarà strutturato nel seguente modo:

- Sviluppo di un modello di calcolo relativo alla nuova configurazione di NACIE (NACIE-UP) e confronto dei risultati con quelli sperimentali che saranno ottenuti dalle prossime campagne sperimentali.
- Sviluppo di un modello di calcolo relativo alla configurazione CIRCE ICE per analizzare l'applicazione del modello a calcoli in sistemi a piscina.
- Applicazione del modello per l'analisi della stratificazione termica;
- Applicazione del modello per l'analisi dello scambio termico nel Fuel Bundle della Test Section ICE.

Relativamente allo sviluppo del codice FEM-LCORE, obiettivo per la terza annualità è di utilizzare i tool sviluppati in precedenza per effettuare delle simulazioni accoppiate tra il codice CFD FEM-LCORE e il codice di termoidraulica 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 francese per le analisi di sicurezza e il licenziamento degli impianti, ed è stato recentemente sviluppato in modo da supportare i metalli liquidi, e in particolare il piombo, come fluido di processo.

L'accoppiamento tra i due codici è possibile attraverso la piattaforma di calcolo SALOME, in particolare utilizzando la libreria MED che permette di trasferire campi e proprietà tra i codici accoppiati.

Diversi test saranno effettuati per verificare il corretto accoppiamento tra i due codici, in particolare nello scambio di informazioni alle interfacce tra il vessel, simulato con una griglia 3D col codice FEM-LCORE, e il restante circuito primario, simulato con una discretizzazione 1D col codice CATHARE.

Nell'ambito dello sviluppo e validazione di codici per la termoidraulica di sistemi LFR, nelle precedenti annualità è stata avviata, in collaborazione con il CEA, la validazione del codice di sistema CATHARE2 adattato per le analisi di sistema e di sicurezza di impianti refrigerati a metallo liquido.

Con l'uso dell'ultima versione di CATHARE v2.5_3 mod 2.1, nella presente annualità sarà effettuata una revisione dell'attività di validazione del codice che riguarderà valutazioni sulle correlazioni di scambio termico e sulla capacità di predire correttamente l'instaurarsi della circolazione naturale in facility integrali raffreddate a piombo-bismuto. A questo scopo si utilizzeranno i dati sperimentali sia della prima sia della seconda fase del benchmark OECD/NEA LACANES sull'impianto coreano HELIOS, rivisto alla luce di nuove

specifiche di prova rilasciate dalla Seoul National University (SNU), e i dati sperimentali provenienti dalla campagna di calibrazione di un misuratore di portata induttivo condotto sull'impianto NACIE di Brasimone. La validità dei risultati sarà confrontata anche attraverso benchmark di calcolo con il codice termoidraulico di sistema RELAP5 utilizzato all'interno del benchmark.

Relativamente al codice FRENETIC si procederà alla successiva validazione. Il codice FRENETIC è stato sviluppato al Politecnico di Torino negli ultimi tre anni. Il codice può simulare transitori neutronici e termoidraulici in reattori raffreddati a metallo liquido con elementi di combustibile in geometria esagonale. Le equazioni della diffusione multigruppi sono risolte in geometria tridimensionale mediante uno schema spaziale di tipo nodale. Nel corso dell'attività dello scorso anno è stato messo a punto un metodo quasi-statico per l'integrazione temporale delle equazioni neutroniche. Nel corso di quest'anno è previsto lo sviluppo di un metodo adattativo per ottimizzare le prestazioni della tecnica quasi-statica. Si intende anche migliorare l'efficienza della procedura di accoppiamento neutronico-termoidraulico mediante scelta opportuna dei passi di tempo neutronico e termoidraulico. Nell'ambito del calcolo termoidraulico verrà implementato un modello per la conduzione radiale del calore all'interno della barretta di combustibile.

Verrà altresì avviato un processo di validazione attraverso la simulazione di un transitorio nel reattore EBR-II, per il quale sono disponibili risultati sperimentali. Per tale simulazione è necessario determinare preventivamente un adeguato insieme di sezioni d'urto a multigruppi. Quest'ultima attività è inserita in un programma più vasto coordinato da IAEA.

Risultati/Deliverable

- LP2.c1_a ALFRED-SGBT. Preliminary experimental characterization by the HERO test section
- LP2.c1_b Completamento, validazione e messa in esercizio dell'impianto VAPORETTO (SWINGER)
- LP2.c1_c Design dell'esperimento e specifica tecnica di fornitura relativa all'up-grade dell'impianto LIFUS5/Mod2
- LP2.c1_d Pre-test Analysis of SGTR event on large scale experimental facility by SIMMER-IV code.
- LP2.c1_e Verifica e validazione preliminare sull'accoppiamento del codice di calcolo RELAP5-3D e il codice di fluidodinamica computazionale ANSYS CFX
- LP2.c1_f Verifica e validazione preliminare sull'accoppiamento del codice di calcolo RELAP5/Mod. 3.3 e il codice di fluidodinamica computazionale ANSYS FLUENT
- LP2.c1_g Verifica e validazione preliminare sull'accoppiamento del codice di calcolo CATHARE e il codice di fluidodinamica computazionale FEM-LCORE tramite la piattaforma SALOME
- LP2.c1_h Revisione della validazione del codice T/H CATHARE2 attraverso il benchmark LACANES
- LP2.c1_i Advances in the development of the code FRENETIC for the coupled dynamics of lead-cooled reactors.

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c.2 Studi Sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR

Nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo tese al supporto dei sistemi LFR e SMR refrigerati a piombo, e a completamento di quanto già realizzato nel precedente piano annuale, in cui si è provveduto alla progettazione, realizzazione e installazione del sistema primario e secondario dell'impianto a metallo liquido pesante HELENA, e del sistema elettro-meccanico e di regolazione e controllo.

Per il completamento dell'impianto si rende necessario provvedere alla installazione della strumentazione per le misure di predate di carico lungo il circuito e del sistema di reintegro automatico del fluido primario che normalmente trafila dalla tenuta della pompa primaria.

L'impianto, che sarà ampiamente utilizzato per la caratterizzazione dei materiali strutturali per metalli liquidi pesanti in ambiente a basso tenore di ossigeno, e per la caratterizzazione dello scambio termico in fuel pin bundle prototipici in regime di circolazione forzata, si inserisce nella attività di ricerca e sviluppo che ENEA realizza in ambito europeo.

Relativamente agli studi di scambio termico in fuel pin bundle prototipici in regime di circolazione naturale o mista, si è completato l'upgrade dell'impianto NACIE, inserito nel progetto europeo SEARCH (FP7-EC). Si è

infatti proceduto con la realizzazione del nuovo circuito primario e relativa strumentazione, del secondario ad acqua in pressione (16 bar) e dei quadri di potenza ed acquisizione e relativo cablaggio. La messa in servizio dell'impianto è prevista entro il 2014. In ambito AdP verrà presentato un transitorio di PLOFA (Protected Loss of Flow Accident) da alta potenza (200 kW) a potenza intermedia (35 kW) con passaggio da circolazione assistita gas-lift a circolazione naturale. Inoltre verrà caratterizzato il circuito dal punto di vista termoidraulico e la valvola a sfera parzializzabile V142 in previsione delle prove di bloccaggio al piede. Questa caratterizzazione servirà da base ai codicisti di sistema per una corretta implementazione dell'impianto per futuri calcoli.

Si realizzerà infine anche uno studio numerico CFD sul pre-test del Fuel Pin Bundle Simulator dell'impianto NACIE-UP.

Relativamente agli studi sperimentali necessari per la completa investigazione del comportamento dei sistemi LFR e SMR, si è provveduto alla concettualizzazione e realizzazione di una piccola facility per studi di freezing e de-freezing in sistemi a metallo liquido pesante. In particolare la facility SOLIDX, di geometria molto semplice ma dettagliatamente strumentata, permetterà di validare i modelli di calcolo CFD implementati nell'ambito del PAR2012, al fine di rendere applicabili tali modelli di calcolo alle analisi di sicurezza dei sistemi LFR/SMR.

Il prosieguo dell'attività per la prossima annualità consisterà:

- a) Realizzazione quadro di segnale e sistema DACS;
- b) Integrazione del DACS con il quadro di potenza;
- c) Assemblaggio dell'apparecchiatura, prove in bianco, test del sistema di controllo;
- d) Scrittura delle procedure di utilizzo (manuale operativo);
- e) Prime prove di carico e funzionamento.

L'assemblaggio richiederà il montaggio meccanico dell'apparecchiatura con i cavi scaldanti nel gap del serbatoio di prova, la coibentazione, il collegamento della linea acqua di refrigerazione, il cablaggio del quadro di potenza e di segnale.

Risultati/Deliverable.

- | | |
|----------|---|
| LP2.c2_a | Specifica tecnica di fornitura e installazione del circuito di reintegro piombo dell'impianto a metallo liquido pesante HELENA. |
| LP2.c2_b | Experimental tests on the HLM facility NACIE-UP. |
| LP2.c2_c | Pre-test CFD analysis of the rod bundle experiment in the HLM facility NACIE-UP. |
| LP2.c2_d | Main process of the solidification facility SOLIDX. |

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

d. Comunicazione e Diffusione dei Risultati

Nell'ambito dell' AdP ENEA-MSE, 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 MSE-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 2014 – settembre 2015

Programma temporale e preventivi economici

PROGRAMMA TEMPORALE

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
LP1.SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE													
LP1.a Studi ed analisi di sicurezza e sostenibilita'													
	<i>a.1 Produzione e validazione di librerie di dati nucleari dedicate ad analisi di schermaggio, danno da radiazione ed attivazione per diverse tipologie di reattori</i>												
	<i>a.2 Metodi Monte Carlo e Deterministici per Analisi di Sicurezza Nocciolo e Stoccaggio di Materiale Fissile</i>												
	<i>a.3 Metodi per Verifiche di Sostenibilità</i>												
LP1.b Valutazione degli incidenti e delle loro conseguenze													
	<i>b.1 Analisi Incidentale e Valutazioni di Sicurezza per Reattori BWR e PWR di Centrali Prossime ai Confini Nazionali</i>												
	<i>b.2 Analisi della risposta di modelli di dispersione e diffusione di contaminanti rilasciati in atmosfera e implementazione della banca dati per valutazioni di sicurezza e supporto alla emergency preparedness</i>												
	<i>b.3 Applicazione di Metodologia PSA e DSA del tipo “Risk-Informed” per la stima del rischio di eventi esterni</i>												
LP1.c Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi sulla sicurezza													
	<i>c.1 Studi Relativi alla Simulazione Integrale di Sistema presso gli Impianti SIET</i>												
	<i>c.2 Sperimentazione su componenti critici e strumentazione prototipica per reattori innovativi</i>												
LP1.d Comunicazione e diffusione dei risultati													
LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE													
LP2.a Progettazione di sistema e analisi di sicurezza													
	<i>a.1 Progettazione Nocciolo LFR</i>												
	<i>a.2 Analisi di Sicurezza</i>												
	<i>a.3 Rilascio e Migrazione dei Prodotti di Fissione</i>												
LP2.b Materiali e fabbricazioni													
	<i>b.1 Qualifica, modellazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR</i>												
	<i>b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici</i>												
LP2.c Termoidraulica 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>												
LP2.d Comunicazione ediffusione dei risultati													

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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.3.1 del PAR 2013), pari a 43 €/h per la linea LP1 e 34,7 €/h per la linea LP2. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 del costo diretto, con una tariffa media risultante di 25 €/h per la linea LP1 e 20,8 €/h per la linea LP2.

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	Studi ed analisi di sicurezza e sostenibilita'									
	<i>a.1 Analisi Incidentale e Valutazioni di Sicurezza per Reattori BWR e PWR di Centrali Prossime ai Confini Nazionali</i>	440	19	11	0	0	0	3	0	33
	<i>a.2 Analisi della risposta di modelli di dispersione e diffusione di contaminanti rilasciati in atmosfera e implementazione della banca dati per valutazioni di sicurezza e supporto alla emergency preparedness</i>	600	26	15	0	0	0	3	0	44
	<i>a.3 Applicazione di Metodologia PSA e DSA del tipo "Risk-Informed" per la stima del rischio di eventi esterni</i>	600	26	15	0	0	0	7	0	48
	<i>Subtotale Ob.a</i>	1640	71	41	0	0	0	13	0	125
b	Valutazione degli incidenti e delle loro conseguenze									
	<i>b.1 Analisi Incidentale e Valutazioni di Sicurezza per Reattori BWR e PWR di Centrali Prossime ai Confini Nazionali</i>	800	35	20	0	20	0	8	50	133
	<i>b.2 Analisi della risposta di modelli di dispersione e diffusione di contaminanti rilasciati in atmosfera e implementazione della banca dati per valutazioni di sicurezza e supporto alla emergency preparedness</i>	520	22	13	0	0	0	3	10	48
	<i>b.3 Applicazione di Metodologia PSA e DSA del tipo "Risk-Informed" per la stima del rischio di eventi esterni</i>	320	13	8	0	0	0	3	10	34
	<i>Subtotale Ob.b</i>	1640	70	41	0	20	0	14	70	215
c	Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi sulla sicurezza									
	<i>c.1 Studi Relativi alla Simulazione Integrale di Sistema presso gli Impianti SIET</i>	200	9	5	0	0	0	1	10	25
	<i>c.2 Sperimentazione su componenti critici e strumentazione prototipica per reattori innovativi</i>	120	5	3	25	0	145	1	45	224
	<i>Subtotale Ob.c</i>	320	14	8	25	0	145	2	55	249
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	100	4	3	0	3	0	1	0	11
	Totale LP1	3700	159	93	25	23	145	30	125	600

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)	
LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE										
a	Progettazione di sistema e analisi di sicurezza									
	<i>a.1 Progettazione Nocciolo LFR</i>	3050	106	63	0	0	0	5	65	239
	<i>a.2 Analisi di Sicurezza</i>	1800	62	38	5	20	0	6	50	181
	<i>a.3 Rilascio e Migrazione dei Prodotti di Fissione</i>	1000	35	21	0	0	0	4	50	110
	<i>Subtotale Ob.a</i>	5850	203	122	5	20	0	15	165	530
b	Materiali e fabbricazioni									
	<i>b.1 Qualifica, modellazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR</i>	2700	94	56	0	20	45	4	80	299
	<i>b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici</i>	2100	72	44	0	60	0	1	0	177
	<i>Subtotale Ob.b</i>	4800	166	100	0	80	45	5	80	476
c	Termoidraulica del refrigerante									
	<i>c.1 Sperimentazione e Modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi</i>	3000	104	63	250	50	0	6	130	603
	<i>c.2 Studi sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR</i>	1320	46	27	140	55	0	2	0	270
	<i>Subtotale Ob.c</i>	4320	150	90	390	105	0	8	130	873
d	Comunicazione e diffusione dei risultati									
		250	9	5	0	5	0	2	0	21
	Totale LP2	15220	528	317	395	210	45	30	375	1900
	Totale progetto	18920	687	410	420	233	190	60	500	2500

* 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

(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€)

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 2014 (€)	Uso attrezzatura
c2.3	Tubi a baionetta, da usare come sezione di prova per apparecchiatura sperimentale in SIET, aventi diametro esterno dell'ordine di 25 mm e lunghezza totale massima di 8 metri. I tubi a baionetta prevedono un tubo interno che convoglia il liquido in ingresso e un tubo esterno riscaldato elettricamente.	25000	25000	Presso i Laboratori SIET, nel corso dei precedenti PAR, è stato realizzato e testato un circuito di prova per generatori di vapore a tubi elicoidali. Questo circuito sarà utilizzato nel corrente PAR2014 per testare dei generatori di vapore con tubi a baionetta, previamente integrati sull'apparecchiatura sperimentale.

2. Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio

Obiettivo e Task	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
b1.1	Licenza per codice di calcolo da usare per i calcoli di inventari di nocciolo per le centrali frontaliere e combustibile misto UOx-MOx e per valutazione del termine sorgente in condizioni incidentali severe per alcune sequenze di particolare interesse.	20000
d	Organizzazione di seminari tematici, workshop e partecipazione a congressi	3000
TOTALE		23000

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 nella task C.2: "Sperimentazione su componenti critici e strumentazione prototipica per reattori innovativi". Nell'attuale annualità (PAR2014) SIET dovrà integrare, in una apparecchiatura sperimentale già esistente presso i suoi impianti, dei generatori di vapore con tubi a baionetta, forniti da ENEA, allo scopo di effettuare test termoidraulici di base. SIET dovrà inoltre provvedere al processo di riscaldamento, che verrà realizzato con resistenze elettriche che avvolgeranno il tubo esterno per tutta la sua lunghezza. Sarà possibile realizzare, per ogni tubo, due zone di riscaldamento controllate indipendentemente. La potenza totale per ogni tubo sarà di circa 15-20 kW. Allo scarico della sezione di prova occorrerà implementare un sistema di separatori e valvole in grado di attuare il controllo della pressione d'uscita. La sezione di prova, compatibilmente col budget e i tempi disponibili, consentirà l'esecuzione di prove termoidrauliche di base allo scopo di raccogliere i principali dati di confronto con i tubi elicoidali. L'importo è pari a 145000 €.

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

Sigla	Denominazione obiettivi	Importo (€)	Università	Motivazioni
b. Valutazione degli incidenti e delle loro conseguenze				
b1.1	Calcoli di inventari di nocciolo per le centrali frontaliere a combustibile misto UOx-MOx e valutazione del termine sorgente in condizioni incidentali severe per alcune sequenze di particolare interesse	10000	UNIBO	Università leader per calcoli di inventario e collaborazione pluriennale con ENEA sul tema.
b1.2	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	20000	UNIBO UNIPI	Le due università hanno competenze riconosciute a livello internazionale sull'uso dei codici ASTEC e MELCOR e collaborano da lungo tempo con ENEA sul tema.
b1.3	Studio integrale di sequenze incidentali con riferimento a centrali prossime ai confini nazionali dotate di reattori del tipo BWR e PWR	20000	UNIRM1	Università leader per calcoli incidentali con l'uso di codicistica incidentale e collaborazione pluriennale con ENEA sul tema.
b2.3	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.	10000	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.
b3.2	Verifiche di sicurezza, attraverso calcoli deterministici connessi alla funzione di Contenimento, per valutare la risposta degli impianti all'incidente di riferimento	10000	UNIPI	Università che dispone di competenze riconosciute a livello internazionale 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 termo-idraulici e relativi modelli sui test SPES2	10000	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 qualificazione della strumentazione per i deflussi bifase	15000	POLITO	Questo politecnico, da tempo impegnato in attività di questo tipo, è in possesso di competenze riconosciute a livello internazionale e collabora da lungo tempo con ENEA.
	c2.2: "Valutazione di sistemi passivi per la rimozione del calore di decadimento in reattori SMR".	30000	POLIMI POLITO	I due politecnici, da tempo impegnati in attività di questo tipo, sono in possesso di competenze riconosciute a livello internazionale e collaborano da lungo tempo con ENEA.
TOTALE		125000		

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

- ARCADIA - Assessment of regional capabilities for new reactors development through an integrated approach (2013-2016)
- ASAMPSE_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)
- GOFASST_R – European gas cooled fast reactor (2010-2013)
- JASMIN - Joint advanced severe accidents modelling and integration for Na-cooled fast neutron reactors (2011-2015)
- NEWLANCER - New MS linking for and advanced cohesion in Euratom research (2011-2013)
- NURESAFE – Nuclear reactor safety simulation platform (2013-2015)
- PELGRIMM - Pellets versus granulates: irradiation, manufacturing & modelling (2012-2015)
- SARGEN_IV - Proposal for a harmonized European methodology for the safety assessment of innovative reactors with fast neutron spectrum planned to be built in Europe (2012-2013)
- SARNET2 – Severe accident network of excellence 2 (2009-2013)
- THINS – Thermal Hydraulic of Innovative Nuclear Systems (2010-2014)

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Denominazione obiettivi	Risultati	
	PAR2013	PAR2014
a - Studi ed analisi di sicurezza e sostenibilità		
a.1 - Produzione e validazione di librerie di dati nucleari dedicate ad analisi di schermaggio, danno da radiazione ed attivazione per diverse tipologie di reattori.		
<ul style="list-style-type: none"> • Studio di modelli per il calcolo di sezioni d'urto di fissione e simulazione con codice Monte Carlo delle distribuzioni angolari dei prodotti di fissione. 	<p>A fronte della carenza di una teoria capace di descrivere la fissione indotta da nucleoni, si è reso necessario ricorrere a simulazioni Monte Carlo con cui riprodurre i dati delle reazioni (p, f) e (n, f) ad energie intermedie. I dati ottenuti sono stati utilizzati per acquisire esperienza nella progettazione di reattori di quarta generazione e, per quanto riguarda le energie intermedie, per la progettazione dei sistemi subcritici guidati da acceleratore (ADS).</p>	<i>Attività conclusa nel 2013.</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Generazione e validazione della libreria di sezioni d'urto multi-gruppo accoppiata n/γ VITJEFF32.BOLIB per applicazioni di schermaggio e danno da radiazione in reattori nucleari a fissione. 	<p>Il gruppo Dati Nucleare ENEA-Bologna ha generato due librerie di sezioni d'urto accoppiate (47 n + 20 γ) con formato FIDO-ANISN, chiamate BUGJEFF311.BOLIB e BUGENDF70.BOLIB, basate rispettivamente sulle librerie dati nucleari dell'OCSE-NEADB JEFF-3.1.1 e US ENDF / B – VII.0. Queste librerie sono state specificamente concepite per applicazioni di schermaggio e di dosimetria del pressure vessel.</p>	<p>Si procederà 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 adotterà 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>
<ul style="list-style-type: none"> • Validazione delle librerie aggiornate di dati di decadimento radioattivo del sistema per analisi di attivazione ANITA-2000 su dati sperimentali prodotti da FNG-ENEA-Frascati e FNS-JAERI. 	<p>Tenendo conto dell'interesse di ENEA e di Ansaldo Nucleare, le librerie "FL1" e "FL2" di ANITA-2000, code package per la caratterizzazione dell'attivazione dei materiali esposti a irradiazione neutronica, sono state aggiornate sulla base della libreria dati di decadimento radioattivo JEFF-3.1.1. Una validazione preliminare delle nuove librerie è stata effettuata attraverso il confronto di calcoli ANITA-4M con le misure del calore di decadimento elettrone-fotone e dell'attività di materiali attivati nell'esperimento FNG (Frascati Neutron Generator).</p>	<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, verranno validate sulla base dei risultati sperimentali prodotti da FNG-ENEA-Frascati e FNS-JAERI.</p>

a.2 Metodi Monte Carlo e deterministici per analisi di sicurezza nocciolo e stoccaggio di materiale fissile		
<ul style="list-style-type: none"> Valutazioni, con mezzi Monte Carlo, della progettazione di strumentazione per il monitoraggio del livello di degradazione di un nocciolo di PWR in fase incidentale severa. 	<p>Si è proceduto alla valutazione delle risposte locali con tecniche di calcolo agli autovalori (come fatto per il core del reattore o negli array di stoccaggio di materiale fissile). Tale modello riduce i dati memorizzati relativi alla energia e alla direzione della sorgente neutronica poiché si impiega la funzione distribuzione di generazione di fissione. Una applicazione utile di tale metodo è il monitoraggio della posizione del corium in un PWR durante gli scenari incidentali severi. A tale attività si è proceduto in stretta collaborazione con IRSN.</p>	<p>Verrà 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 verrà svolto prendendo a riferimento una evoluzione incidentale severa con fuoriuscita di corium come conseguenza della perforazione del fondo del vessel.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Valutazioni, con codici deterministici, dei fenomeni di tilt azimutale in reattori PWR e del loro impatto sui margini di sicurezza di nocciolo. 	<p>Sono state calcolate, con il codice di cella APOLLO2 versione 2.8-3.E, le sezioni d'urto efficaci a due gruppi energetici dei quattro tipi di elementi di combustibile 17x17 del primo ciclo di funzionamento di un reattore PWR. Le sezioni d'urto sono state calcolate al variare dei seguenti quattro parametri: a) temperatura del combustibile, b) concentrazione di boro, c) densità del moderatore e d) bruciamento. Il metodo di risoluzione adottato per l'equazione del trasporto è stato quello delle Probabilità di Collisione Pij. I calcoli sono stati eseguiti con una libreria a 281 gruppi energetici di tipo SHEM basata su dati valutati JEFF-3.1. Le sezioni d'urto così calcolate verranno utilizzate per calcoli di safety di nocciolo PWR, previsti nella prossima annualità, con il codice CRONOS2.</p>	<p>Usando i set di sezioni d'urto efficaci a 2 gruppi calcolati con Apollo2, in un nocciolo PWR verrà introdotta una perturbazione per simulare, con il codice Cronos2, un tipico tilt azimutale di potenza a burnup nullo. Saranno valutati i worth delle barre di controllo e stimata la variazione della loro reattività in presenza di tilt azimutale. Con opportune correlazioni tale variazione sarà usata per individuare sperimentalmente la presenza, la posizione e l'intensità del tilt stesso. Saranno riportate considerazioni sull'impatto del tilt sui margini di sicurezza neutronica e termoidraulica di nocciolo.</p>
a.3 Metodi per verifiche di sostenibilità.		
<ul style="list-style-type: none"> Resistenza alla proliferazione, nuclear security e sostenibilità del ciclo del combustibile. 	<p>Sono proseguiti i lavori di sviluppo e monitoraggio di metodologie di interesse per le attività nucleari nazionali residue, compreso lo sviluppo di reattori di nuova generazione e cioè valutazioni di resistenza alla proliferazione e protezione fisica, security e interfaccia con la safety, e altri elementi di sostenibilità del ciclo del combustibile. E' continuata la partecipazione ai gruppi di lavoro GIF Proliferation Resistance and Physical Protection e IAEA-INPRO e l'applicazione della metodologia GIF PR&PP a reattori di nuova generazione. In ambito NEA e IAEA, ENEA ha contribuito all'approccio metodologico per valutazioni di sostenibilità del ciclo del combustibile e analisi di opzioni di cicli avanzati.</p>	<p>In continuità con le attività dei precedenti Piani Triennali e delle prime due annualità del PAR 2012-2014, si prosegue 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>
<ul style="list-style-type: none"> Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre iniziative internazionali sulla gestione dei rifiuti radioattivi. 	<p>La piattaforma tecnologica europea "IGD-TP", lanciata ufficialmente il 18 novembre 2009 a Bruxelles, con lo scopo di coinvolgere tutti gli stakeholders interessati a contribuire al dibattito tecnico, scientifico, economico e sociale sullo smaltimento geologico del combustibile nucleare esausto e dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita, continua a perseguire gli obiettivi che si è data nel suo Vision Report. Nell'ambito dell'AdP, l'ENEA ed il CIRTEN sono intervenuti nel dibattito tecnico scientifico attraverso la partecipazione ai forum annuali e alle attività dei working groups e delle joint actions. L'ENEA, ha contribuito alla definizione e alla progettazione delle attività, in ambito deposito geologico, relative al monitoraggio dello stato di riferimento, al monitoraggio in fase operativa e al comportamento del radiocarbonio nei rifiuti radioattivi. Il CIRTEN ha contribuito al piano d'azione europeo per il conseguimento e fattibilità di un sistema di accreditamento facoltativo nel campo del mantenimento delle competenze, dell'istruzione e formazione nel settore del decommissioning, del RWs management e del deposito geologico.</p>	<p>Per quanto riguarda questa annualità, facendo riferimento agli organismi di settore (IAEA, OECD-NEA, EURATOM), proseguirà 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 procederà ad analisi utili per future attività di waste disposal & management.</p>

b – Valutazione degli incidenti e delle loro conseguenze		
b.1 Analisi incidentale e valutazioni di sicurezza per reattori BWR e PWR di centrali prossime ai confini nazionali		
<ul style="list-style-type: none"> • Calcoli di inventari di nocciolo per le centrali frontaliere a combustibile misto UOx-MOx e valutazione del termine sorgente in condizioni incidentali severe per alcune sequenze di particolare interesse. 	<p>E' stata effettuata una approfondita disamina della letteratura "open-source", di provenienza US-NRC (NUREG-1228, NUREG-1465, NUREG-/CR-4722, NUREG-1150, NUREG-75/014, NUREG-1935, NUREG/BR-0150), per la determinazione dei coefficienti e parametri integrali necessari alla stima rapida del termine sorgente di incidenti nucleari severi per reattori PWR e BWR utilizzando combustibile UOx. Tale attività è la naturale prosecuzione di quella svolta nelle precedenti annualità con la finalità di stimare rapidamente il possibile rilascio in atmosfera come conseguenza di un evento incidentale nucleare ad uno degli impianti che distano meno di 200 km dal confine nazionale.</p>	<p>Sulla base delle attività svolte nelle precedenti annualità, in questa terza annualità (2014) si procederà al calcolo degli inventari di nocciolo con combustibile di tipo UOx-MOx, con la finalità di stimare rapidamente i possibili rilasci in atmosfera di eventuali incidenti nucleari agli impianti che distano meno di 200 km dal confine nazionale.</p>
<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>Sono stati descritti i pre-test delle prove sperimentali di "debris bed reflooding" riferite alla facility PEARL con il codice ICARE/CATHARE. Tramite questa attività si è sostenuta IRSN nella definizione della geometria e delle condizioni al contorno delle prove da effettuare in PEARL e si è verificata la capacità e la consistenza dei modelli per i materiali porosi recentemente implementati nell'ultima versione del codice. Altri studi sono stati svolti per migliorare la descrizione del sottosistema "volume del plenum" per mezzo di modelli 2D. Allo scopo, sono stati sviluppati un modello di scambio termico 2D in transitorio e uno agli elementi finiti, implementato mediante il software commerciale COMSOL Multiphysics. ENEA ha introdotto nel codice TRANSURANUS il modello di temperatura del plenum presente in FRAPCON-3. Sono stati descritti i modelli e le loro previsioni per una barra di combustibile PWR in condizioni di steady-state e riportate analisi preliminari dei risultati sugli effetti del rilascio di gas di fissione. Si è anche proceduto all'analisi di scenari di "reflooding" del nocciolo degradato, con il codice integrale ASTEC, durante una sequenza incidentale severa simulata con riferimento all'impianto TMI-2, nell'ambito della partecipazione dell'ENEA all'attività internazionale di Benchmark Exercise promossa dall'OCSE/NEA/CSNI. Con questa attività si è verificata la robustezza del codice nella simulazione delle più gravi condizioni incidentali e valutata la sua capacità di simulare al meglio la coolability del nocciolo a fronte di un ritardo d'intervento dei sistemi di raffreddamento di emergenza.</p>	<p>A complemento dell'attività svolta nelle precedenti annualità, verranno 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, 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 intende inoltre investigare 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. Tali analisi verranno eventualmente integrate con l'uso di codici meccanicistici dedicati ad un'analisi più dettagliata del comportamento delle barrette di combustibile in condizioni incidentali.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Studio integrale di sequenze incidentali con riferimento a centrali prossime ai confini nazionali dotate di reattori del tipo BWR e PWR. 	<p>Per i calcoli di scenario relativi ai PWR si è fatto uso dei codici MELCOR ed ASTEC. La simulazione ha riguardato un transitorio del tipo "short term Station Blackout (SBO)" con possibile rottura dei tubi a U del generatore di vapore (Steam Generator Tube Rupture - SGTR), indotta da stress termici su un PWR da 900 MWe. Questo scenario è di particolare interesse perché un SGTR indotto provoca un "by pass" del contenimento e una conseguente fuoriuscita di contaminanti radioattivi attraverso le valvole di sicurezza del sistema secondario. Sono state svolte anche attività di sviluppo e validazione di nodalizzazioni di reattori ad acqua bollente (BWR) con l'uso del codice RELAP/SCADPSIM simulando la sequenza incidentale all'Unità 1 dell'impianto Nucleare di Fukushima Dai-ichi ed evidenziando le fasi salienti. Si è poi proceduto allo sviluppo preliminare di una nodalizzazione MELCOR al fine di testare le capacità del codice e di ottenere dati di riferimento per un confronto, dove possibile, codice-codice. Sono infine stati evidenziati alcuni possibili interventi di Accident Management.</p>	<p>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 di studiare, utilizzando il codice MELCOR, ulteriori transitori di interesse che possano evolvere fino all'incidente grave in reattori frontaliere (PWR e BWR).</p>

<ul style="list-style-type: none"> Verifica di fattibilità di una catena di calcolo “fast-running” e studi di “Sensitivity & Uncertainty” con l’uso del codice DAKOTA. 	<p>Il lavoro svolto in questa tematica è stato finalizzato alla descrizione dei metodi per lo svolgimento di attività di Verification & Validation (V&V) e di quantificazione delle Incertezze (UQ). In particolare sono state analizzate le caratteristiche di strumenti di calcolo allo stato dell’arte come RAVEN e DAKOTA, sviluppati dai laboratori americani di Idaho e Sandia, rispettivamente. E’ stata valutata anche la possibilità di accoppiamento di tali tools con codici di sistema quali il RELAP5, testandone le capacità nel campo dell’analisi simultanea di diversi scenari incidentali.</p>	<p><i>Attività conclusa nel 2013.</i></p>
<p>b2. Analisi della risposta di modelli di dispersione e diffusione di contaminanti rilasciati in atmosfera e implementazione della banca dati per valutazioni di sicurezza e supporto alla emergency preparedness</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Istruzione del database esperto – Fase 3: Inserimento dell’orografia. 	<p>Nelle attività relative al PAR2013 è stato realizzato il software di gestione dei dati allo scopo di permettere la selezione, la visualizzazione e l’eventuale esportazione delle informazioni memorizzate nel database. Il software di gestione consente di procedere all’aggiornamento, da parte degli operatori, delle informazioni di base in esso contenute a all’inserimento di nuovi dati (ad esempio nuovi reattori nucleari) nelle tabelle di cui esso si compone. Per mezzo del software di gestione, il database è accessibile e consultabile da qualsiasi dispositivo (personal computer, tablet, etc). I termini sorgente, calcolati per mezzo di appositi software, a partire dai dati di inventario riferiti ai vari reattori, ed ai diversi scenari incidentali ipotizzabili, saranno resi disponibili, nei formati più opportuni, in modo da poter essere utilizzati come dati di input nei codici di trasporto e dispersione per il calcolo delle concentrazioni radioattive e delle dosi a carico della popolazione.</p>	<p>Utilizzando opportuni software GIS, verranno 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. Saranno prodotte quattro mappe per ogni sito, al variare della distanza dal sito stesso, e dunque con diversa risoluzione spaziale, l’ultima delle quali arriverà ad interessare anche il territorio italiano per una distanza massima in linea d’aria pari a 160 km. Tali mappe saranno poi 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>
<ul style="list-style-type: none"> Dispersione e diffusione di contaminanti radioattivi rilasciati con continuità in atmosfera a seguito di incidente nucleare grave e valutazione delle concentrazioni nel territorio fino a distanze di 300 km dalla sorgente. 	<p>In questa annualità, il gruppo di ricerca del DEIM (Dipartimento di Energia, ingegneria dell’Informazione, e modelli Matematici) dell’Università di Palermo, insieme ad ENEA, ha svolto un SOAR sulle potenzialità che hanno alcune piattaforme di simulazione ad oggi utilizzate per l’analisi della dispersione degli inquinanti e dei connessi impatti ambientali a seguito di un ipotetico rilascio radioattivo da un impianto nucleare soggetto a incidente severo.</p>	<p>Si procederà alla valutazione della concentrazione di materiale radioattivo rilasciato in atmosfera a seguito di evoluzione incidentale severa e con riferimento alle centrali frontaliere. E’ importante mettere in evidenza che per la valutazione sono stati usati i modelli di dispersione presenti nel codice RADCAL-III, in sviluppo e validazione presso ENEA. In questa fase dell’attività si farà uso dei modelli a rilascio continuo, ipotizzando la conoscenza delle portate di rilascio dall’impianto incidentato, delle quote di rilascio e dell’inventario di materiale tossico radioattivo. I calcoli sono eseguiti a partire dalla sorgente fino a 300 km dalla stessa, tenendo conto dell’orografia del territorio e delle condizioni meteorologiche delle zone interessate. Stessa valutazione sarà eseguita con l’uso del codice WinMACCS, al fine di evidenziare le possibili differenze e procedere alle dovute conclusioni.</p>
<ul style="list-style-type: none"> 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. 	<p>In questa annualità, il gruppo di ricerca del DEIM (Dipartimento di Energia, ingegneria dell’Informazione, e modelli Matematici) dell’Università di Palermo ha svolto un lavoro preliminare di raccolta di informazioni sui più adeguati modelli per valutazioni di dispersione di contaminanti sotto forma di gas, aerosol e particolato di varia dimensione.</p>	<p>Si procederà, in collaborazione con DIEM di UNIPA, ad una valutazione della risposta dei modelli selezionati nella precedente annualità e si opererà un confronto con quelli attualmente implementati nei codici CALPUFF e CALMET.</p>
<p>b3. Applicazione di Metodologia PSA e DSA del tipo “Risk-Informed” per la stima del rischio di eventi esterni</p>		
<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. 	<p>Le varie lacune relative al corrente approccio PSA, come emerso dall’incidente di Fukushima, sono state identificate e analizzate. Si è tenuto conto di eventi esterni come eventi scatenanti, il rischio relativo a siti con molte unità, gli scenari di incidenti rilevanti connessi con le prestazioni dei sistemi di sicurezza, come ad esempio per la rimozione del calore, per lunghi periodi di tempo e il rischio associato a piscine del combustibile esaurito. Questa attività è stata rivolta alla valutazione dei rischi correlati a seguito di un grave evento naturale esterno, ad esempio il terremoto e lo tsunami nell’incidente di Fukushima, e gli eventi interni iniziati da cause esterne, ad es. il fuoco indotto dal sisma.</p>	<p>In questa terza annualità si procederà 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> la valutazione del rischio relativa a siti con molte unità; l’analisi degli aspetti del PSA “level2”, tesi alla valutazione del source term. <p>L’analisi verrà corredata anche da alcuni casi studio, allo scopo di implementare i relativi modelli nell’approccio probabilistico.</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Verifiche di sicurezza, attraverso calcoli deterministici connessi alla funzione di Contenimento, per valutare la risposta degli impianti all'incidente di riferimento. 	<p>A corredo degli studi probabilistici di sicurezza di tipo "risk-informed", sono stati effettuati anche calcoli deterministici per valutare la risposta dell'impianto in relazione alla funzione di contenimento e dei "tempi chiave" di fronte a situazioni come l'incidente di "Station Blackout".</p>	<p>Verranno compiuti ulteriori 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. Sarà 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 aging che potrebbero eventualmente influenzare le prestazioni dei materiali costitutivi del Contenimento stesso.</p>
<p>c – Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi sulla sicurezza</p>		
<p>c.1 Studi relativi alla simulazione integrale di sistema presso gli impianti SIET</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Analisi di fattibilità e costi di una nuova configurazione della facility SPES3 	<p>Si è valutata la possibilità di completare la facility SPES3 (simulatore integrale di SMR), parzialmente realizzata presso i laboratori SIET nel corso dei PAR precedenti, che permetterebbe, oltre alla valutazione dei principi di sicurezza intrinseca, alla base del "safety by design" dei reattori innovativi, anche la validazione-verifica dei codici termoidraulici di sistema utilizzati per la simulazione di impianto dei reattori. SIET ha valutato la fattibilità tecnico-economica di tale configurazione, verificando che i componenti riutilizzabili di SPES2 hanno caratteristiche tecniche idonee e redigendo un progetto di massima in cui sono definite le connessioni e le linee di collegamento necessarie. Da un punto di vista economico, il nuovo progetto porta ad un risparmio di circa il 35% rispetto a quanto calcolato nella scorsa annualità per la configurazione originale, con analoga tempistica per la realizzazione dell'impianto. Nonostante tale risparmio, il costo residuo di 5582 k€ rende problematico perseguire il completamento di SPES3 nell'attuale programma triennale.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Attività conclusa nel 2013.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> • Studio per la sperimentazione di un sistema per la rimozione del calore residuo in LFR 	<p>La regolazione della potenza estratta dal sistema di rimozione del calore di decadimento nei reattori refrigerati a piombo è stata l'oggetto di questa tematica. Nel sistema attualmente previsto per il progetto di riferimento di un reattore dimostrativo (ALFRED), ANSALDO ha proposto di regolare le performance dello scambiatore, nel quale la potenza residua del reattore viene rimossa tramite condensazione di vapore in tubi immersi in una piscina di acqua fredda, degradando il coefficiente di scambio termico tramite iniezione di gas incondensabile. SIET ha effettuato uno studio di fattibilità tecnica, integrato da valutazioni economiche, relative a tempi e costi per la realizzazione di una attività sperimentale in grado di confermare quanto proposto. Lo studio ha portato ad un progetto preliminare dell'impianto sperimentale in scala 16:6. Un'accurata valutazione tra il beneficio di un minor costo ed una penalizzazione in termini di rappresentatività dell'impianto ha consentito di definire le specifiche dell'impianto da realizzare.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Attività conclusa nel 2013.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> • Validazione e verifica di codici termo-idraulici e relativi modelli sui test SPES2. 	<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</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

	<p>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 miglioramento dei modelli, in particolare per CATHARE, sia aumentando il numero di test per la V&V.</p>	<p>comportamento dei sistemi di emergenza e gli aspetti tridimensionali di alcuni componenti del sistema (ad esempio l' "annular-downcomer");</p> <ul style="list-style-type: none"> • approfondire gli aspetti inerenti delle perdite termiche dell'impianto; • valutare in modo esatto la portata critica alla rottura.
<p>c.2 Sperimentazione su componenti critici e strumentazione prototipica per reattori innovativi</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Sviluppo e qualificazione della strumentazione per i deflussi bifase. 	<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 teorico sperimentale svolta nella precedente annualità del PAR ed avente per oggetto lo sviluppo e qualificazione di strumentazione per i deflussi bifase, ha messo in evidenza che la sperimentazione del tubo di Venturi ha dimostrato la bontà di questo dispositivo nella stima della portata bifase, in particolare nei regimi di moto anulare/disperso (elevata frazione di vuoto) e moto a bolle (bassa frazione di vuoto). Ha inoltre dimostrato che la modellazione di uno "spool piece" per la stima dei parametri di un deflusso bifase richiede necessariamente la caratterizzazione sperimentale dei vari regimi (flow patterns), nonché una analisi dei range di transizione tra flow patterns con l'ausilio di una metodologia basata sull'analisi statistica dei segnali associati agli strumenti dello spool piece stesso.</p> <p>Alla luce dei risultati raggiunti e delle problematiche rimaste aperte (gestione delle incertezze ed interpretazione degli aspetti stocastici dei segnali), si propone l'estensione delle prestazioni dello spool piece Venturi/Sonda ad impedenza con la sperimentazione con più elevate portate per la fase liquida, in modo da descrivere un più ampio campo di funzionamento e più regimi di moto (i valori medi dei segnali, dal punto di vista deterministico, saranno confrontati con i modelli sviluppati precedentemente). In aggiunta verrà implementata una analisi statistica dei segnali, sia per il Venturi che per la sonda ad impedenza, ai fini del riconoscimento del flow pattern a monte e a valle del tubo di Venturi.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Valutazione di sistemi passivi per la rimozione del calore di decadimento in reattori SMR. 	<p>Sono state analizzate e confrontate due possibili configurazioni di generatori di vapore e scambiatori di calore innovativi: una a microcanali ed una a canali elicoidali. Il confronto è stato effettuato in condizioni stazionarie e in condizioni incidentali tramite l'uso del codice T/H di sistema RELAP5. I2S-LWR project di Georgia-Tech è stato preso come progetto di riferimento. Per le analisi di stazionario sono stati confrontati due scambiatori progettati per rimuovere ¼ della potenza del reattore, sia a piena potenza che a potenza ridotta. Per le analisi in condizioni incidentali si è considerato un incidente di Station Black-out seguito da scram del reattore. Dall'analisi in stazionario si è concluso che gli scambiatori a microcanali danno la possibilità di rimuovere la potenza termica con un maggior grado di compattezza, ma presentano perdite di pressione sul primario decisamente superiori. Questo punto influenza sia la stabilità alle variazioni di carico che le prestazioni in circolazione naturale durante il funzionamento come sistema DHR. In entrambe le situazioni gli scambiatori elicoidali garantiscono più stabilità e prestazioni superiori. Altri studi sono necessari per migliorare la simulazione dello scambiatore a microcanali, per valutare gli effetti delle geometrie e per estendere il confronto ad altre configurazioni.</p>	<p>Tra le questioni ancora aperte, occorre caratterizzare il comportamento dello scambiatore di calore immerso nel sistema primario. Si procederà allo studio del funzionamento di scambiatori di calore da utilizzare in sistemi di sicurezza passivi e in particolare per i reattori SMR. Si analizzeranno e confronteranno, dal punto di vista qualitativo e quantitativo, altre soluzioni promettenti per la rimozione di potenza negli SMR, come gli scambiatori a baionetta. I risultati potranno essere utilizzati come supporto allo sviluppo della tecnologia dei reattori SMR. Il circuito di prova realizzato per testare generatori di vapore a tubi elicoidali verrà utilizzato per testare i generatori di vapore con tubi a baionetta. I test termo-idraulici consentiranno un confronto preliminare delle prestazioni, tra tali generatori e quelli a tubi elicoidali, alle diverse condizioni di interesse per i reattori SMR. I tubi a baionetta, da integrare sulla facility, verranno messi a disposizione da ENEA, mentre SIET provvederà a tutte le attività relative al montaggio e messa in opera della nuova configurazione sperimentale e alla realizzazione delle prove. ENEA fornirà il necessario supporto per la progettazione delle prove effettuando le opportune simulazioni con codici di sistema.</p>

d- Comunicazione e Diffusione dei Risultati		
Attività di comunicazione e diffusione dei risultati conseguiti.	<p>In questo obiettivo sono state svolte attività di tipo organizzativo, mirate alla organizzazione e pianificazione di riunioni, seminari e workshop. La diffusione dell'informazione scientifica disponibile a seguito delle ricerche svolte in ambito AdP-PAR-LP1 è stata svolta attraverso pubblicazioni scientifiche su riviste nazionali e internazionali, il sito web ENEA (si vedano, in particolare, le pagine dedicate alla Ricerca Sistema Elettrico e al FOCUS fissione nucleare) nonché seminari e convegni. L'ENEA si è impegnata a diffondere le attività di ricerca svolte nell'ambito dell'Accordo di Programma, linea progettuale LP1 anche attraverso l'organizzazione di un kick-off meeting, a cui hanno partecipato tutti i soggetti interessati allo sviluppo delle attività, in particolare i ricercatori di ENEA, CIRTEN e SIET. Il 12 dicembre 2013, verso la fine del primo trimestre della seconda annualità, si è svolto un seminario a cui sono stati invitati i principali contributori (ENEA, CIRTEN e SIET) per discutere collegialmente i risultati conseguiti nei primi 12 mesi del progetto e individuare la miglior via per mettere in campo successive azioni al fine di ottimizzare le attività di ricerca da svolgere durante le successive annualità. Al fine di valutare lo stato di avanzamento delle attività previste per i vari contributori nella seconda annualità del PAR, in data 29 aprile 2014 si è svolto un workshop a cui sono stati invitati i principali contributori (ENEA, CIRTEN e SIET) per presentare e discutere collegialmente il lavoro programmato. Il giorno successivo, 30 aprile 2014, si è svolto un altro evento finalizzato alla comunicazione e diffusione dei risultati di uno studio condotto su "Application of the Proliferation Resistance & Physical Protection Methodology to Nuclear Systems".</p>	<p>In questa annualità, oltre ai previsti workshop di apertura e chiusura, alla partecipazione a congressi internazionali, e alla produzione di un certo numero di paper per pubblicazioni in riviste internazionali, si prevede di organizzare i seguenti seminari tematici:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seminario su simulazioni e valutazioni incidentali, da tenere a Bologna. • Seminario su C-14 nei rifiuti destinati al deposito, da tenere a Bologna. • Seminario sulla safety e l'uso di strumenti di calcolo, da tenere a Bologna. • Seminario su fenomenologia e procedure di scaling, da tenere a Roma, presso UNIRM1.

LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE

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

Ob.	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Strumentazione neutronica SPND (Self Powered Neutron Detector).	5.000	5.000	Caratterizzazione sperimentale preliminare su reattore TAPIRO per flussi neutronici tipici degli LFR
c.1	Strumentazione circuito di alimento HERO (180 bar, 300°C). Pressure Trasducer (#8). Mass Flow Rate (#8). Temperature Measurement (#30) Valvola di regolazione scarico vapore (#1).	70.000	70.000	Prove di caratterizzazione sperimentale della sezione di prova HERO (simulatore generatore di vapore ALFRED) sulla facility CIRCE.
c.1	Fornitura sistema di trazione e rottura tubi generatore di vapore per prove di simulazione SGTR su larga scala.	60.000	60.000	Implementazione sezione di prova per simulazione di eventi SGTR su larga scala. Impianto CIRCE.
c.1	Upgrade Impianto LIFUS-5. Sezione di prova e strumentazione per caratterizzazione piccole fughe in caso di SGTR Event.	120.000	120.000	Implementazione sezione di prova per simulazione eventi iniziatori di SGTR (micro e piccole rotture). Impianto LIFUS-5.
c.2	Fornitura sistema automatico di recupero refrigerante primario (piombo) dal sistema di tenuta della girante della pompa primaria. Fornitura Pressure Trasducer (#10) per alta temperatura (550°C).	100.000	100.000	Prove di caratterizzazione sperimentale pompa di circolazione centrifuga per sistemi a piombo fluente.
c.2	Fornitura di sistema regolazione e controllo potenza impianto SOLID-X.	40.000	40.000	Prove di freezing e de-freezing per qualifica codici su impianto SOLID-X

(*) 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 (€)
a2	Acquisizione Licenza RELAP-3D.	15.000
a2	Acquisto parti ricambio sonde neutroniche per up-grade SPND commerciale da testare in Tapiro.	5.000
b1	Up-grade sistema di condizionamento ed acquisizione del segnale Acquisto di termocoppie per il di controllo del forno e di verifica sul campione Acquisto di resistenze di ricambio dei forni Acquisto di materiale per minuteria di tipo meccanico, pneumatico ed idraulico Acquisto bombole gas inerte per test	20.000
b2	Crogioli in allumina per prove in capsule KIT Generatore di H2 Strumento per controllo e dosaggio della miscela di Ar-H2 Cappe di aspirazione Barrette di Ni Gas (Ar e Ar-H2 3%) Sensori di ossigeno Bulbi in allumina Cannule in allumina Analizzatore di ossigeno	30.000
b2	Coibentazione sezione di prova Acquisizione sonde ossigeno Termocoppie di impianto Piping & fittings	30.000
c1	Coibentazione sezione di prova Termocoppie di impianto Piping & fittings Esercizio impianto demineralizzazione acqua Gas Tecnici	30.000
c1	Coibentazione sezione di prova Termocoppie di impianto Piping & fittings Gas Tecnici	20.000

c2	Coibentazione sezione di prova Termocoppie di impianto Piping & fittings Gas Tecnici	20.000
c2	Coibentazione sezione di prova Termocoppie di impianto Piping & fittings Gas Tecnici	20.000
c2	Coibentazione sezione di prova Termocoppie di impianto Piping & fittings Gas Tecnici	15.000
d	Costi per organizzazione workshop	5.000

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

In ambito LP2, l'acquisizione di competenze riguarda esclusivamente CSM S.P.A., obiettivo B1, per un importo pari a 45.000. L'acquisizione di competenze riguarda la realizzazione di ricoperture basate sulla tecnica dell'overlay coatings e diffusion coating, utilizzando le tecnologie di deposizione PVD (Arc-PVD) e CVD (pack cementation) disponibili presso CSM SPA.

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

Ob.	Denominazione obiettivi	Importo (k€)	Università	Motivazioni
a. Progettazione di sistema e Analisi di Sicurezza				
a.1	Progettazione Nocciolo LFR			
	Progettazione di esperienze in TAPIRO finalizzate a llo studio di dati nucleari di attinidi minori.	30	POLITO UNI ROMA1	POLITO dispone di un gruppo di ricerca di valenza internazionale sul calcolo di trasporto neutroni co. UNIROMA1 dispone delle competenze del calcolo mediante codice di cinetica neutronica 3D e metodologia CPT
	Implementazione del codice ERANOS per l'analisi perturbativa e di sensitività nel campo non lineare neutroni/nuclidi	15	UNI ROMA1	UNIROMA1 ispone delle competenze sul calcolo mediante codice di cinetica neutronica 3D e metodologia CPT
	Caratterizzazione della nuova configurazione del nocciolo di ALFRED	20	UNIBO POLIMI	UNIBO dispone di un gruppo di progettazione di nocciolo affermato (collaborazione JHR) POLIMI dispone delle competenze per il controllo dei sistemi nucleari
a.2	Analisi di sicurezza			
	Supporto alla progettazione del combustibile nucleare per reattori veloci	20	POLIMI	POLIMI dispone delle competenze, riconosciute a livello internazionale, per l'analisi termomeccanica di barretta e fuel safety_
	Sviluppo e validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza i reattori veloci di IV generazione	25	UNIROMA1 UNIPI	UNIROMA1 dispone delle competenze per l'analisi termoidraulica del nocciolo del reattore, con particolare esperienza sui sistemi a sodio. UNIPI è leader internazionale per analisi strutturale applicata a sistemi nucleari
	Caratterizzazione sperimentale strumentazione nucleare	5	UNIROMA1	UNIROMA1 dispone delle competenze sulla strumentazione nucleare poiché da anni collabora con l'unità reattori dell'ENEA
a.3	Rilascio e Migrazione dei Prodotti di fissione			
	Simulazione dell'interazione tra refrigerante e prodotti di fissione in sistemi LFR	50	POLIMI	POLI MI dispone delle competenze, riconosciute a livello internazionale, sull'applicazione di meccanica quantistica e DFT
b. Materiali e Fabbricazioni				
b.1	Qualifica, modellazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR			
	Qualifica coating materiali strutturali	80	POLIMI UNITV	POLIMI tramite IIT è leader internazionale sulla tecnica di deposizione per PLD
c. Termoidraulica del refrigerante				
c.1	Sperimentazione e Modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi			
	Prove di caratterizzazione generatore di vapore DEMO-LFR (HERO)	30	UNIROMA1	UNIROMA1 dispone delle competenze sui GV con tubi a baionetta poiché da anni collabora con ENEA su questa tecnologia
	Studi per l'accoppiamento fra codici di calcolo	100	UNIPI GRNSPG UNOBO POLITO	UNIPI con GRNSPG è leader internazionale per l'accoppiamento fra codici POLITO ha sviluppato il codice FRENETIC UNIBO ha sviluppato il codice FEM-LCORE
TOTALE		375		

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

Nell'ambito dei sistemi nucleari innovativi ENEA partecipa a numerosi progetti europei (FP7 EC, H2020) tra cui:

- LEADER - Lead-cooled European Advanced Demonstration Reactor
- MATTER – Materials Testing and Rules
- SEARCH – Safe Exploitation Related Chemistry for HLM reactors
- MAXSIMA – Methodology, Analysis and Experiments for the "Safety In MYRRHA Assessment"
- ESNII+ - Preparing ESNII for HORIZON 2020
- MARISA - Myrrha Research Infrastructure Support Action
- MATISSE - Materials' Innovations for a Safe and Sustainable nuclear in Europe
- MYRTE - MYRRHA Research and Transmutation Endeavour
- SESAME - thermal hydraulics Simulations and Experiments for the Safety Assessment of Metal cooled reactors
- SMARTIES - Small Modular Reactor Technology readiness level Improvement by Experiments on Safety
- THINS – Thermal Hydraulic of Innovative Nuclear Systems

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Denominazione obiettivi	Risultati	
	2013	2014
A - Progettazione di Sistema e Analisi di Sicurezza		
a.1 Progettazione Nocciolo LFR		
Progettazione di esperienze in TAPIRO finalizzate allo studio di dati nucleari di attinidi minori.	Non presente	Dati nucleari per MA in flussi veloci
Implementazione del codice ERANOS per l'analisi perturbativa e di sensitività nel campo non lineare neutroni/nuclidi	Sviluppo codice ERANOS e implementazione procedura GMECCYCO (calcoli di burnup per reattori veloci)	Accoppiamento nel codice ERANOS della procedura GMECCYCO e metodologia GPT. Sono previsti studi di sensitività dimostrativi riguardanti reattori veloci (ALFRED) in rapporto a funzionali di interesse
Caratterizzazione della nuova configurazione del nocciolo di ALFRED	Ottimizzazione Nocciolo. Riduzione dpa inner vessel e bowing barretta di corner in FA	Calcoli arricchimenti ultima configurazione ALFRED.
Studio sulla fattibilità di "In-Vessel Storage" nella nuova configurazione di ALFRED	Non presente	Analisi fattibilità in-vessel storage fuel
a.2 Analisi di Sicurezza		
Supporto alla progettazione del combustibile nucleare per reattori veloci	Sviluppo versione LFR-oriented del codice TRANSURANUS	Analisi di performance delle barrette di combustibile del reattore di riferimento ALFRED
Sviluppo e validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione	Sviluppo modelli numerici per le analisi di sicurezza di un reattore veloce refrigerato a metallo liquido. Modello termoidraulico tridimensionale con codice di sistema (RELAP5-3D [®]) del reattore di ricerca EBR-II. Studi sui fenomeni core compaction	Validazione dell'approccio per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione basato sui modelli sviluppati durante il PAR2013. Attività multi-physics e multi-scale basato sulla disponibilità dei dati sperimentali misurati nel reattore EBR-II durante l'esecuzione dei test sperimentali. Upgrading dei modelli numerici di core compaction per rappresentare con maggior dettaglio la core region e l'elemento di combustibile. Analisi dinamico-strutturali.
Caratterizzazione sperimentale strumentazione nucleare	Simulazione MCNP per definizione ottimale della strumentazione di nocciolo.	Ottimizzazione simulazioni MCNP e acquisizione strumentazione catena di acquisizione e controllo, da testare prima dell'irraggiamento in reattore.

a.3 Rilascio e Migrazione dei Prodotti di Fissione		
Simulazione dell'interazione tra refrigerante e prodotti di fissione in sistemi LFR	Selezione e validazione dei metodi per la caratterizzazione termodinamica del sistema Pb-NOXirr. Metodo Miedema per l'entalpia di formazione, il metodo Witusiewicz per la stima dell'entropia e del calore specifico e approccio DFT	Valutazione della composizione del sistema Pb-MOXirr all'equilibrio termodinamico mediante un codice basato sulla minimizzazione dell'energia libera di Gibbs del sistema
b - Materiali e Fabbricazioni		
b.1 Qualifica, modellazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR		
Qualifica coating e materiali strutturali	Individuazione e realizzazione coating PLD e PVD, CVD. Caratterizzazione termomeccanica preliminare. Avvio caratterizzazione sotto irraggiamento con ioni pesanti	Analisi coating e ulteriore caratterizzazione anche in piombo
Caratterizzazione materiali strutturali in piombo	Implementazione lab. per prove di creep-rupture in piombo	Prove di creep-rupture in piombo su materiali coated e uncoated
Sviluppo acciai austenitici doppio stabilizzati	Realizzazione colata acciaio DS4	Caratterizzazione preliminare acciaio DS4
b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici		
Implementazione laboratorio chimica del refrigerante	Implementazione lab. chimica del piombo. Test di corrosione in piombo stagnante con controllo dell'ossigeno	Test di corrosione in piombo stagnante con controllo dell'ossigeno. Sviluppo getter. Qualifica sonde ossigeno
Prove di corrosione in piombo fluente in ambiente ossidante	Implementazione sezione di prova impianto LECOR	Esecuzione test di corrosione in piombo fluente
c - Termoidraulica del refrigerante		
c.1 Sperimentazione e Modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi		
Prove di caratterizzazione generatore di vapore DEMO-LFR (HERO)	Implementazione sezione di prova HERO impianto CIRCE	Prove di qualifica sezione di prova HERO impianto CIRCE
Misure riflettometriche per sistemi bifase ad elevate pressioni e temperature	Messa a punto metodologia di misura a bassa T e P	Implementazione impianto per prove ad alta T e P
Studio dell'interazione metallo liquido acqua in sistemi di larga scala	Realizzazione sezione di prova SGTR impianto CIRCE	Progettazione e realizzazione sistema di rottura tubazione in esercizio sezione di prova SGTR impianto CIRCE
Rilevazione e caratterizzazione sperimentale delle piccole perdite nel generatore di vapore di un reattore a metallo liquido pesante	Non presente	Progettazione e realizzazione sezione di prova impianto LIFUS-5 per la caratterizzazione del fenomeno
Studi per l'accoppiamento fra codici di calcolo	Sviluppo Accoppiamento FLUENT-RELAP5 Mod3.3 Sviluppo Accoppiamento CFX-RELAP5 3D Sviluppo Accoppiamento CATHARE-FEM-CORE su piattaforma SALOME Qualifica codice CATHARE per sistemi a piombo Qualifica codice FRENETIC mediante benchmark EBR-II	Validazione Accoppiamento FLUENT-RELAP5 Mod3.3 Validazione Accoppiamento CFX-RELAP5 3D Verifica Accoppiamento CATHARE-FEM-CORE su piattaforma SALOME Qualifica codice CATHARE per sistemi a piombo Qualifica codice FRENETIC mediante benchmark EBR-II
c.2 Studi sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR		
Implementazione impianto HELENA	Implementazione circuito secondario ad acqua in pressione impianto HELENA	Installazione sistema di recupero leakage sistema di tenuta a baderna della pompa primaria. Installazione pressure trasducer primario
Prove di caratterizzazione impianto NACIE-UP	Completamento impianto NACIE-UP	Prove di PLOFA
Studi sul congelamento del refrigerante in sistemi a metallo liquido pesante	Progettazione e realizzazione facility SOLIDX	Realizzazione quadro di segnale e sistema DACS facility SOLIDX
d. Comunicazione e Diffusione dei Risultati		
Workshop Tematico LFR	Diffusione risultati	Diffusione risultati

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 JT60SA; alla realizzazione di prototipi per la validazione del progetto della sorgente intensa di neutroni IFMIF (International Fusion Material 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, della manutenzione remota.
- Altre attività di ricerca nell'ambito del programma FAST, il nuovo esperimento satellite europeo, che ha come obiettivo la realizzazione di un esperimento di fusione di prestazioni intermedie tra quelle di JET (la macchina tokamak europea in funzione dal 1983 a Culham, Inghilterra) e quelle di ITER.

Le attività di ricerca e sviluppo relative al programma IFERC per lo sviluppo di competenze e l'elaborazione di applicazioni innovative nel campo dei metalli liquidi e caratterizzazione di materiali compositi ceramici in matrice e fibra di silicio (SiC/SiC) si sono concluse con la realizzazione di:

- Componenti tubolari con sezione prismatica in SiC/SiC secondo il processo CVI e sviluppo di tecniche di collegamento di SiC/SiC su matrice di acciaio.
- Una camera sperimentale per prove di erosione-corrosione ad alta temperatura (~1000°C) di campioni di SiC/SiC in litio-piombo. Dopo le operazioni di collaudo, svolte a Frascati alla presenza di delegati di F4E e JAEA, l'apparato è stato inviato ed installato a Rokkasho (Giappone) dove i tecnici ENEA hanno collaborato al primo avviamento.

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, e lo sviluppo dei materiali.

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 (fino ad 800 °C) ed alti flussi di neutroni da 14 MeV 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 proposto esperimento FAST è stato ideato in modo tale da essere integrato al progetto di JT-60SA e con obiettivi complementari. Di conseguenza, l'integrazione degli esperimenti sulle due macchine potrà garantire lo studio completo dei problemi di fisica ancora aperti in vista di DEMO.

Il magnete toroidale di JT60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4,4 K e termicamente isolato da un criostato. 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, eseguita su un modello in 3D di un settore della macchina, 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 6 doppi pancake della bobina con giunti elettrici e il sistema di refrigerazione ad elio, che i componenti meccanici della cassa di contenimento. 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 di tre avvolgimenti di bobina completi di impregnazione, mentre il quarto è pronto per essere impregnato.

Il metodo d'inserimento dell'avvolgimento bobina nella cassa è stato studiato con attenzione per ottenere un manufatto con la precisione meccanica richiesta dagli accoppiamenti per realizzare il complesso del magnete toroidale. L'attrezzo di inserimento adotta una tavola rotante su un asse orizzontale sostenuto da un banco rigido e massivo fissato a terra da speciali ancoraggi.

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.

Gli 8 alimentatori SCMPS ad alta corrente AC/DC (6 alimentatori per le bobine poloidali CS1, CS2, CS3, CS4, EF1 e EF6, 2 alimentatori per le bobine FPCC Fast Plasma Position Control 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.

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 ad una energia di 40 MeV, facendo convergere i fasci di ioni sullo stesso bersaglio;
- 3) Il progetto è basato su un efflusso libero di litio ad alta velocità (20 m/s) che, investito normalmente da un fascio di deutoni, rilascia per la reazione nucleare di stripping, una corrente di neutroni sufficientemente energetici per poter esercitare, sui materiali in prova, lo stesso danneggiamento neutronico che ha luogo in un reattore a fusione.

Tra le varie tecnologie di punta inerenti al progetto FAST, vanno sicuramente citate, lo sviluppo di piastre di tungsteno solido, freddate attivamente e capaci di sostenere in continua un alto flusso di potenza (~ 20 MW/m²), ed, inoltre, espandere la sperimentazione, attualmente effettuata in modo limitato col Tokamak FTU, usando metalli liquidi (litio) per assorbire la potenza uscente dal plasma.

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. La realizzazione delle bobine sarà eseguito utilizzando la linea di avvolgimento installata nello stabilimento della ASG dove avverrà la relativa impregnazione, inserimento e chiusura finale nella cassa di contenimento.

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 europeo, è responsabile 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 con cui è realizzato raggiunge livelli inaccettabili.

All'interno dello sviluppo del progetto concettuale di FAST verranno analizzati in dettaglio alcune proprietà strutturali del sistema magnetico, le necessarie azioni per l'integrazione della potenza elettrica necessaria a far funzionare l'esperimento, e le principali necessità per il remote Handling della prima parete.

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.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione degli obiettivi

a. Macchina JT-60SA

L'obiettivo prevede la realizzazione completa di altri quattro avvolgimenti di bobina toroidale per un totale di sette e dei primi due moduli di magnete toroidale e relative prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica. Lo sviluppo degli avvolgimenti delle bobine toroidali è accompagnato dalla realizzazione dei componenti meccanici per la composizione di 8 casse di contenimento.

Nell'ambito delle attività per le alimentazioni elettriche, si prevede di eseguire la realizzazione completa delle rimanenti tre Switching Network Unit complete delle relative prove di accettazione secondo quanto previsto dagli allegati tecnici. In aggiunta si prevede la realizzazione dei convertitori con gli associati quadri elettrici dei raddrizzatori per le bobine del Solenoide Centrale e lo sviluppo dei quadri elettrici dei raddrizzatori dei convertitori per le bobine poloidali con l'esecuzione delle relative prove di accettazione.

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 2014 è stimato in 6.106 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 magnete di campo toroidale

Nell'ambito delle attività l'obiettivo prevede la realizzazione completa di altri quattro avvolgimenti di bobina toroidale per un totale di sette e la realizzazione dei primi due moduli di magnete toroidale completi entrambi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica. Il modulo di magnete toroidale 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 magnete per la formazione del sistema magnetico toroidale.

Il personale ENEA, oltre ad essere impegnato sulle attività di monitoraggio del contratto ASG, esegue attività di verifica, utilizzando modelli 3D, per evitare possibili interferenze con strutture e piping contigui al modulo di bobina toroidale. Inoltre, vengono sviluppati disegni a livello di manifattura per la verifica dei criteri di assemblaggio finale delle bobine toroidali nella macchina Tokamak e per permettere le misure laser-traker relative al posizionamento delle bobine stesse. Nelle frequenti interazioni con i partner internazionali vengono discusse e recepite le esigenze evidenziate dalle operazioni successive cui sarà sottoposta la bobina toroidale fino al montaggio nella macchina Tokamak. Tale attività rende più confidente l'ENEA del rispetto dei tempi e dei costi complessivi del modulo di magnete.

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 2.467 k€.

a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA

Nell'ambito del PAR2014 si prevede di realizzare componenti meccanici per la composizione di otto casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica. E' in corso, da parte di F4E, la fornitura di nuovo materiale forgiato sulla base di una nuova specifica con vincoli più stringenti, iniziata a maggio 2014.

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 per l'importo complessivo di circa 9.900 k€. La quota di spesa in attrezzature relativa a detto contratto prevista nella presente annualità è di 1.336 k€.

a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit" (SNU)

Lo sviluppo delle attività contrattuali prevede il completamento delle ulteriori tre SNU e le relative prove di accettazione finali come 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 PAR2013 per le attività succitate è di 877 k€.

a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA

Nel presente PAR2014, si prevede di dare corso alle seguenti attività:

- 2d) 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
- 3a) realizzazione del prototipo di sistema di controllo di un convertitore per CS ed esecuzione delle relative prove;
- 3b) realizzazione del prototipo del sistema di Crowbar di un convertitore per CS ed esecuzione delle relative prove;
- 3c) realizzazione dei trasformatori CS2, CS3 ed esecuzione delle relative prove di accettazione;
- 3d) realizzazione dei quadri elettrici dei raddrizzatori a tiristori dei convertitori per CS1 e CS4.

Nel corso del PAR2014 raggiungeranno la fase di completamento le attività relative alle Fasi 2d) 3b) e 3c).

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.

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 2d) – 3b) e 3c) di detto contratto ricadente nella presente annualità è stimata complessivamente in 1.426 k€.

Risultati/Deliverable:

- Completamento di altri quattro avvolgimenti di bobina toroidale per un totale di sette e realizzazione dei primi due moduli di magneti toroidale completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica
- Componenti meccanici per la composizione di otto casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica
- Rapporto tecnico per la valutazione dei risultati delle prove eseguiti sui materiali forgiati
- Completamento delle ulteriori tre SNU e le relative prove di accettazione finali come previsto dagli allegati tecnici
- 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 del sistema di Crowbar di un convertitore per CS ed esecuzione delle

relative prove

- Realizzazione dei trasformatori CS2, CS3 ed esecuzione delle relative prove di accettazione

Principali collaborazioni: Contratto esterno

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

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, e ad una temperatura massima di 300°C. Per le attività sperimentali da eseguire con il litio sono stati realizzati due impianti: l'Experimental Lithium Test Loop (ELTL) in Giappone e LiFUS6 in Italia. In particolare l'ELTL permette di studiare la termo-idraulica del TA assembly e i fenomeni di cavitazione, mentre LiFUS6 è stato concepito per lo studio dei fenomeni di erosione/corrosione indotti dal litio e della sua purificazione. 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 permette di determinare la quantità di Azoto in esso disciolta.

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 erosione/corrosione, 1µm/anno per il target e 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 per testare la resistenza alla corrosione/erosione dei materiali utilizzati in IFMIF, come AISI316L, Eurofer ed F82H (materiale prodotto in Giappone ed equivalente all'Eurofer), nelle condizioni operative di IFMIF ed anche più severe. Ultimata la realizzazione dell'impianto, il commissioning è stato completato con successo in settembre 2014, le campagne sperimentali su corrosione/erosione e purificazione potranno utilmente cominciare in Novembre 2014. In particolare, la prima campagna sperimentale accerterà il tasso di corrosione/erosione, determinata sugli acciai su indicati, da litio fluente con velocità di 15 m/s, temperatura di 350°C e con un contenuto di N < 30 wppm.

L'obiettivo della campagna sperimentale è anche quello di avere la disponibilità di tali dati di erosione/corrosione per diversi tempi di esposizione (1000, 2000 e 4000 h). 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) saranno condotte nei prossimi anni.

Uno dei requisiti essenziali dei test di resistenza alla corrosione/erosione di materiali esposti a Litio fluente a 350°C all'interno dell'impianto Lifus6 è l'elevato grado di purezza del Litio liquido: la presenza di impurezze non metalliche (Carbonio, Ossigeno, Idrogeno ed in special modo Azoto), aumenta infatti fortemente il comportamento corrosivo del metallo liquido. Per tale motivo, l'impianto Lifus6 è 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.

La purificazione deve essere eseguita sia inizialmente, sul Litio 'sporco' appena caricato nell'impianto e prima di iniziare le prove di corrosione, sia successivamente, per garantire il mantenimento del grado di purezza desiderato, nel corso di tutta la durata delle prove.

Le attività sperimentali incluse nella presente annualità riguardano:

- 1) La Misura dell'efficienza del sistema di trappola calda per la purificazione del litio dall'Azoto. A tal fine, una serie di campionamenti di litio eseguiti all'atto del suo caricamento, durante la sua circolazione e alla fine di ogni campagna sperimentale, consentirà di indagare la concentrazione di Azoto in litio e da essa ricavare la misura dell' effettivo funzionamento della trappola progettata;
- 2) Determinazione quantitativa delle impurezze di Azoto nel Litio campionato dall'impianto, attraverso la reazione Litio-Acqua e l'analisi cromatografica delle soluzioni Ammoniacali così ottenute.
- 3) La verifica dell'affidabilità del resistivity meter come sensore per la misura ed il controllo online del contenuto di azoto in litio.

Risultati/Deliverable:

- Risultati relativi alla verifica dell' efficienza del sistema di trappole, del grado di purezza del litio circolante nell'impianto LiFus6 ed alle procedure impiegate per la sua purificazione.
- Risultati delle campagne sperimentali di breve e medio termine sui fenomeni di erosione/corrosione da litio in LiFus6

Principali collaborazioni: Università di Firenze, Contratto RFX

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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 la selezione dei materiali costituenti il target stesso, ed una approfondita analisi strutturale e neutronica del concetto di target.

Le analisi termo-meccaniche condotte sull'attuale modello del target assembly (TA) hanno evidenziato che, sebbene in generale il sistema sia in grado di sopportare i livelli di carico che si verificano durante le condizioni operative nominali, sussistono alcune criticità locali in determinate zone del TA (in particolare nella zona mediana della backplate in cui avviene l'interazione col beam di deutoni), in cui i criteri di integrità strutturale richiesti dalle norme di progettazione di riferimento non sono pienamente rispettati. Si rende pertanto necessario procedere, limitatamente alle suddette zone critiche, ad una revisione del design del componente in modo da risolvere le problematiche evidenziate ed aumentare i margini di sicurezza strutturale. L'attività proposta nell'ambito del presente PAR sarà pertanto finalizzata ad effettuare un'analisi parametrica del design della backplate volta a determinare una configurazione ottimale degli spessori e della geometria in gioco. La nuova configurazione del TA, comprensiva dell'ottimizzazione del design della backplate, della struttura di supporto e del tubo di ingresso del litio, sarà poi analizzata mediante un modello numerico integrato (nucleare + strutturale) al fine di verificarne le prestazioni sia dal punto di vista termo-meccanico che neutronico.

Per quanto riguarda invece la manutenzione remotizzata nella presente annualità le attività saranno concentrate sulla validazione delle procedure di ricondizionamento per il Target assembly ed in particolare a quelle relative alla pulizia delle connessioni flangiate del Target assembly stesso.. In particolare saranno eseguite le seguenti prove:

- 1) La rimozione del litio solido, mediante pulitura, dalle superfici del frame di supporto della backplate;
- 2) La rimozione del litio solido, mediante pulitura dalle superfici delle flange di connessione Target Assembly con il loop a litio;
- 3) Il test del Bersaglio/Target dopo l'installazione a freddo ed a caldo: prove di vuoto e determinazione della perdita;
- 4) Misura del corretto posizionamento del target assembly.

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) La disponibilità di procedure di manutenzione remotizzata per il ricondizionamento dell'intero Target;
- 3) L'eventuale aggiornamento del progetto del target assembly.

Inoltre il contributo ENEA comprende lo studio del comportamento termomeccanico del target assembly in condizione transitorie di start up. Tale attività permetterà di valutare l'efficacia del sistema di preriscaldamento del componente, fino alla temperatura di mandata del litio, e di ottimizzare la loro strategia di configurazione e controllo. Lo studio sarà eseguito attraverso un approccio teorico-computazionale basato sul metodo degli elementi finiti (FEM) ed i risultati ottenuti saranno confrontati con quelli sperimentali. Tale approccio consentirà inoltre la convalida e la qualifica del modello FEM sviluppato. A tal fine saranno anche eseguite delle prove di riscaldamento/raffreddamento dell'intero target per la verifica delle deformazioni massime e della distribuzione di temperatura sul bersaglio rimovibile. Il test è inoltre utile a fornire una indicazione dei tempi di salita e discesa della temperatura che sono importanti per definire i tempi di start up delle operazioni di IFMIF e di inizio della manutenzione dei componenti della test cell.

Risultati/Deliverable:

- Risultati finali delle prove di ricondizionamento del Target assembly di IFMIF
- Studio del comportamento termomeccanico del target assembly nelle condizioni transitorie di start up
- Ottimizzazione del design del target assembly completa di analisi strutturale e neutronica

Principali collaborazioni: Contratti esterni, Università di Palermo

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

c. FAST il nuovo esperimento satellite europeo

La macchina JT-60SA ha come compito principale lo studio di regimi di plasma a confinamento avanzato finalizzati alla dimostrazione della possibilità di realizzare un reattore "steady state", quindi è molto importante analizzare quali siano le effettive capacità della macchina FAST di smaltimento del flusso termico di un plasma quasi ignito in condizioni di regime "steady state" con grande carico sul divertore.

Il sistema magnetico nell'attuale design di FAST prevede bobine in rame che permettono una durata della scarica limitata, per quanto significativa dal punto di vista dei tempi caratteristici della fisica. Per incrementare tale durata si analizzerà la possibilità di realizzare il sistema magnetico di FAST con bobine superconduttrici, analogamente a JT-60SA.

c.1 Studio di fattibilità di un sistema magnetico superconduttore per FAST.

L'alto campo magnetico toroidale (intorno ai 13 T sulla bobina) e la necessità di avere una scarica che duri più di tutti i tempi caratteristici della fisica del plasma, fanno sì che un sistema magnetico per FAST basato su bobine superconduttrici sia ai limiti della presente tecnologia. Inoltre è da considerare che essendo FAST una macchina molto compatta, la densità di corrente sulla bobina ($\sim 15 \text{ MA/m}^2$) assume valori ai limiti dell'impiego dei materiali superconduttori. Per tali motivi verrà effettuato uno studio concettuale e di fattibilità della possibilità di realizzazione di un sistema magnetico superconduttore per FAST.

c.2 Analisi Termoidraulica di un sistema magnetico superconduttore per FAST.

Uno dei problemi più critici di un sistema magnetico superconduttore è il suo comportamento dal punto di vista termico durante il funzionamento ed il dimensionamento dei relativi circuiti di raffreddamento. L'analisi dell'andamento termico nel magnete toroidale durante le condizioni più critiche verrà studiata in dettaglio, considerando una bobina realizzata utilizzando lo spazio disponibile nel design attuale basato su conduttori in rame. Verrà calcolato il margine minimo di temperatura nelle bobine considerando il carico termico sull'avvolgimento e sul jacket del cavo prodotto dal massimo carico neutronico previsto, incluso

quello dovuto alla reazione secondaria D-T.

Risultati/Deliverable:

- Studio sulla fattibilità di un sistema magnetico poloidale e toroidale superconduttore per FAST
- Studio sull'analisi termoidraulica di un sistema magnetico superconduttore per FAST

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

d. Comunicazione e diffusione dei risultati

I risultati di queste attività 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 Workshop:
Workshop o convegni tematici con la partecipazione di tutti soggetti coinvolti dell'ambito ENEA, i rappresentanti del MSE, i rappresentanti dell'AEEG, i rappresentanti della CCSE ed i professori membri delle commissioni elette dalla CCSE per le valutazioni dei PAR (a preventivo ed a consuntivo), avente lo scopo di:
 1. Contestualizzare il progetto nell'ambito dello stato dell'arte scientifico ed industriale
 2. Presentare le attività svolte nel corso del PAR
 3. Programmare e coordinare le attività che previste nel PAR successivo
- o Conferenze:
 - Applied Superconductivity Conference (ASC)
 - International Cryogenic Engineering Conference (ICEC)
 - International Conference on Magnet Technology (MT)
 - International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT)
 - Symposium on Fusion Engineering (SOFE)
 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014)
 - 15 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)
 - 17th Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15-ECCE Europe)
 - IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and EMC Europe (EMC 2015).
- 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
 - Design Review Meeting – con frequenza semestrale/annuale fra rappresentanti di F4E, JAEA, ENEA e partner industriali
- o Riviste:
Riviste specializzate e Newsletter
- o Siti Web:
Sito ENEA
Sito ENEA Fusione

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

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	Macchina JT-60SA													
	a.1 Fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale													
	a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA													
	a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit" (SNU)													
	a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA													
b	Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF													
	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													
	b.2 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata e della progettazione completa del target assembly di IFMIF													
c	FAST il nuovo esperimento satellite europeo													
	c.1 Studio di fattibilità di un sistema magnetico superconduttore per FAST.													
	c.2 Analisi Termoidraulica di un sistema magnetico superconduttore per FAST.													
d	Diffusione dei risultati													

OBIETTIVI E RELATIVI PREVENTIVI ECONOMICI

Slgla	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 dei cobeneficiari (U)	
a	Macchina JT-60SA									
	a.1 Fornitura di 9 moduli di magnete di campo toroidale	10300	380	229	2467	0	0	10	0	3086
	a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA	9700	359	215	1336	0	43	9	0	1962
	a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit"	6000	220	133	877	0	0	5	0	1235
	a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA	5900	220	131	1426	0	0	5	0	1782
	<i>Subtotale a</i>	31900	1179	708	6106	0	43	29	0	8065
b	Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF									
	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	1600	59	36	43	19	160	5	0	322
	b.2 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata e della progettazione completa del target assembly di IFMIF	1400	52	31	70	15	20	18	0	206
	<i>Subtotale b</i>	3000	111	67	113	34	180	23	0	528
c	FAST il nuovo esperimento satellite europeo									
	c.1 Studio di fattibilità di un sistema magnetico superconduttore per FAST.	3100	115	69	0	0	0	0	0	184
	c.2 Analisi Termoidraulica di un sistema magnetico superconduttore per FAST.	3100	115	69	0	0	0	0	0	184
	<i>Subtotale c</i>	6200	230	138	0	0	0	0	0	368
d	Comunicazione e diffusione dei risultati	400	15	9	0	7	0	8	0	39
	TOTALE	41500	1535	922	6219	41	223	60	0	9000

*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

(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 medio riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto B.3.2 del PAR 2013), pari a 37 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 % del costo diretto, con una tariffa media risultante di 22,2€/h.

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

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (k€)	Costo PAR 2014 (k€)*	Uso attrezzatura
a1	Realizzazione completa di quattro avvolgimenti di bobina toroidale (WP4÷WP7) per un totale di sette e realizzazione dei primi due moduli di magneti toroidale completi entrambi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica. Il modulo di magneti toroidale è realizzato inserendo l'avvolgimento di bobina all'interno dei componenti della cassa di contenimento.	2.467	2.467	Fornitura, comprensiva di imballaggio e trasporto al sito di Saclay (Francia), di 9 (nove) moduli di magneti toroidale della macchina sperimentale, JT-60SA costituiti ciascuno da una bobina superconduttrice inserita nella relativa cassa di contenimento, che viene fornita da ENEA
a2	Realizzazione di componenti meccanici per la composizione di otto casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica.	1.336	1.336	Fornitura dei componenti per la composizione delle casse delle 18 bobine del magneti toroidale della macchina sperimentale Tokamak JT-60 SA.
a3	Completamento di tre SNU complete di prove di accettazione finali come previsto dagli allegati tecnici.	877	877	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 del prototipo del sistema di Crowbar di un convertitore per CS ed esecuzione delle relative prove Realizzazione dei trasformatori CS2, CS3 ed esecuzione delle relative prove di accettazione 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	1.426	1.426	Fornitura e trasporto fino al porto di Tokio (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.
b1	Fornitura di strumentazione per upgrade della glove-box attraverso sensori di O ₂ H ₂ e carbonio completo di sistema di gestione.	20	20	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.
	Fornitura di valvole motorizzate e misuratori di flusso per l'impianto LiFUS6.	8	8	
	Upgrade del sistema di acquisizione dati dell'impianto LiFUS6 per l'espletamento della 2° campagna sperimentale.	15	15	
b2	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.
	Sviluppo e realizzazione del sistema di acquisizione dati per lo studio delle condizioni di start-up del target assembly di IFMIF	15	15	
	Upgrade della macchina di misura COORD3 per il controllo dimensionale del Target Assembly (pre-post prova di riscaldamento).	35	35	

(*) 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€)
b1	<ul style="list-style-type: none"> - Materiale per laboratorio di chimica per litio (solventi, reagenti e vetreria). - Acquisto di cavi scaldanti di riserva per impianto LiFUS6. - Acquisto di materiale per il trattamento dei campioni estratti dall'impianto LiFUS6 (Laboratorio analisi materiali). 	19
b2	<ul style="list-style-type: none"> - Acquisto di cavi scaldanti supplementari per prove di riscaldamento del Target Assembly. - Acquisto di termocoppie per la mappatura termica del bersaglio del TA di IFMIF. - Acquisto di materiale isolante per tamponatura termica della camera che ospita il TA. - Struttura di chiusura per la camera ospitante il TA. 	15

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

Obiettivo	Acquisizione Competenze	Costo Previsto [k€]
b1 - 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.	Le attività a cura ENEA da svolgersi presso il sito giapponese di Rokkasho sono effettuate da un professional dipendente di RFX. Questa risorsa è stata identificata come l'unica disponibile ad avere le caratteristiche richieste. Non è stato possibile reperire personale ENEA.	150
	Contratto con Università di Firenze per l'ottimizzazione della metodica di analisi cromatografica di soluzioni acquose di ione Ammonio e determinazione quantitativa su campioni ottenuti dalla reazione Litio-Acqua, nell'ambito del progetto IFMIF.	10
b2 - Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata e della progettazione completa del target assembly di IFMIF	Contratto con l'Università di Palermo per l'analisi numerica del design del target assembly ottimizzato dal punto di vista sia termomeccanico che neutronico.	20

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 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob	Risultati ottenuti PAR 2013	Risultati attesi PAR 2014
a1	Completamento di due avvolgimenti della bobina toroidale e realizzazione di sei (tre richiesti) doppi pancake.	Completamento di altri quattro avvolgimenti di bobina toroidale per un totale di sette e realizzazione dei primi due moduli di magneti toroidale completi di prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica;
a2	Realizzazione dei soli componenti ricavati da laminati per la composizione la composizione di 15 gambe dritte, 3 gambe curve, 12 set di componenti per la composizione di ali e basi delle gambe curve, e di due gomiti in materiale forgiato.	Componenti meccanici per la composizione di 6 casse di contenimento complete di relative prove di accettazione come da documentazione tecnica; Rapporto tecnico per la valutazione dei risultati delle prove eseguiti sui materiali forgiati;
a3	Esecuzione delle prove funzionali sul prototipo di SNU e realizzazione di 3 sistemi di interruzione statica della corrente (SCB) relativi agli ulteriori 3 SNU.	Completamento delle ulteriori tre SNU e le relative prove di accettazione finali come previsto dagli allegati tecnici;
a4	Disegni di fabbrica/layout, disegni meccanici e funzionali, schemi elettrici di potenza, protezione, misure, comando e controllo dei sistemi di alimentazione; realizzazione di 2 (due) trasformatori per FPPC upper e 2 (due) per FPPC lower e realizzazione del prototipo di convertitore per Fast Plasma Position Control (FPPC).	Realizzazione del prototipo del sistema di Crowbar di un convertitore per CS ed esecuzione delle relative prove; Realizzazione dei trasformatori CS2, CS3 ed esecuzione delle relative prove di accettazione: 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;
b1	Risultati della campagna sperimentale sull'impianto ELTL di Oarai per la rilevazione dei fenomeni di cavitazione Rapporto finale sulla realizzazione e commissioning dell'impianto Lifus 6 per lo studio dei fenomeni di erosione/corrosione Validazione sperimentale della procedura di analisi offline della purezza del Litio e stima della cinetica di purificazione	Risultati relativi alla verifica dell'efficienza del sistema di trappole, del grado di purezza del litio circolante nell'impianto LiFus6 ed alle procedure impiegate per la sua purificazione. Risultati delle campagne sperimentali di breve e medio termine sui fenomeni di erosione/corrosione da litio in LiFus6

b2	<p>Rapporto sulla validazione delle procedure di manutenzione remotizzata per il ricondizionamento del target di IFMIF</p> <p>Report tecnico riguardante attività di simulazione grafica delle procedure di manutenzione remotizzata del target di IFMIF.</p> <p>Report sulla progettazione dei sistemi ausiliari del Target Assembly di IFMIF.</p> <p>Report sullo studio preliminare di sorgenti neutroniche alternative da 14 MeV.</p> <p>Report sull'analisi preliminare dei materiali alternativi per la realizzazione del target assembly di IFMIF.</p>	<p>Risultati finali delle prove di ricondizionamento 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>
c1	<p>Produzione e fornitura ad ENEA di tubi di medio e grosso diametro, di prismi a sezione quadrata in SiCf/SiC e delle tecnologie e di campioni di acciaio ferritico con rivestimento in SiC monolitico o SiCf/SiC.</p>	<p>Attività completata come descritto in precedenza</p>
c2	<p>Collaudo finale del forno ad alta temperatura.</p>	<p>Attività completata come descritto in precedenza</p>
c1	<p>EX D1</p> <p>Rapporto sul problema del power exhaust e l'interazione tra centro e bordo del plasma in EAST e FAST in presenza del tungsteno come materiale esposto al plasma.</p> <p>Sviluppo di una configurazione di plasma di tipo "Snow-Flake" FAST-like per EAST.</p>	<p>Studio di fattibilità di un sistema magnetico superconduttore per FAST.</p>
c2	<p>EX D2</p> <p>Rapporto sulle soluzioni di sostituzione da remoto del divertore e della prima parete in FAST e EAST.</p> <p>Progettazione preliminare e verifica strutturale di un divertore per EAST, compatibile con configurazioni di plasma di tipo "Snow-Flake" simili a quelle studiate per FAST.</p>	<p>Analisi termoidraulica di un sistema magnetico superconduttore per FAST.</p>

AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA
Tema di Ricerca	USO EFFICIENTE DELL'ENERGIA ELETTRICA NEI SETTORI RESIDENZIALE, TERZIARIO, INDUSTRIALE
Progetto C.1	RISPARMIO DI ENERGIA ELETTRICA NEI SETTORI: CIVILE, INDUSTRIA E SERVIZI

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Il Piano d'Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica 2014 rimarca il ruolo dell'efficienza energetica come strumento imprescindibile di riduzione dei consumi energetici nel nostro Paese, nel raggiungimento dell'obiettivo del -24% al 2020 e al fine di avviare un uso efficiente delle risorse.

L'impegno particolarmente intenso necessario per raggiungere tali obiettivi richiede efficaci politiche energetiche che da un lato facilitino lo sviluppo di tecnologie, processi, prodotti e servizi a ridotto consumo di energia e, dall'altro nello stesso tempo permettano di orientare i comportamenti dei consumatori e/o utenti finali verso un uso razionale dell'energia in modo da ridurre il consumo di energia attraverso l'acquisto consapevole e informato di prodotti e servizi efficienti prima e il loro corretto uso poi.

In tale senso l'efficienza energetica, intesa nel suo più ampio senso di riduzione del consumo di energia a parità di servizio che di uso razionale dell'energia è uno strumento funzionale alla costruzione di un quadro organico con un orizzonte di medio e lungo periodo; la sua doppia natura legata ai miglioramenti tecnologici ma anche a comportamenti consapevoli e responsabili verso gli usi energetici la rendono lo strumento più efficace dal punto di vista della praticabilità tecnica, finanziaria e socio-economica.

Il Rapporto Annuale sull'Efficienza energetica restituisce l'immagine di un Paese che mostra finalmente segnali significativi di un nuovo approccio strategico al risparmio energetico, come testimonia l'entità del risparmio conseguito al 31/12/2012 (circa 73.898 GWh/anno) corrispondente a circa il 60% dell'obiettivo da raggiungere al 2016. Nonostante ciò esiste ancora una significativo potenziale di miglioramento dell'efficienza specialmente in alcuni settori.

Le barriere che ostacolano lo sfruttamento di questo potenziale includono: una carente attività di informazione e formazione verso tutti gli *stakeholder* (PA, aziende e cittadini), con riferimento ai benefici ottenibili con interventi di efficientamento del parco di beni e servizi; difficoltà di accesso al capitale per l'investimento iniziale necessario, la percezione di un rischio elevato dell'investimento e la mancanza di strumenti e dati sul ritorno economico dell'investimento stesso e, infine, la piccola dimensione dei progetti associata ad alti costi di transazione.

Il superamento delle barriere esistenti richiede che si verifichino una serie di condizioni: attività di RS&D sulle tecnologie energetiche innovative/non mature al fine di favorirne una più rapida introduzione sul mercato; l'esistenza di un bilanciato mix di regole e incentivi per le politiche di efficienza energetica; efficaci azioni di formazione, informazione, sensibilizzazione per promuovere comportamenti energeticamente consapevoli; la messa a punto di semplici strumenti di valutazione dei benefici economici energetici/ambientali degli interventi effettuati, un quadro legislativo certo e stabile nel medio periodo indispensabile per attrarre gli investimenti.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

I miglioramenti di efficienza nei diversi settori, valutati mediante l'indice di efficienza energetica ODEX che mette in relazione sia il consumo energetico per produrre beni e/o servizi con la quantità di beni e/o servizi prodotta che il consumo di energia dei beni/servizi per la realizzazione della loro funzione.

I vari settori dell'economia italiana hanno contribuito in modo diverso all'ottenimento di questo risultato: il civile è quello che ha avuto miglioramenti regolari e costanti, mentre l'industria ha avuto significativi

miglioramenti solo negli ultimi anni.

Nel periodo 2003-2011, l'industria manifatturiera ha fatto registrare un miglioramento dell'intensità energetica pari al 26,3%. Circa i due terzi dell'energia elettrica utilizzata nel settore industriale viene consumata attraverso l'utilizzo dei motori elettrici, il regolamento 640/2009 della Commissione Europea recante specifiche per la progettazione ecocompatibile dei motori elettrici prevede che essi debbano rispettare elevate performance in termini di rendimento energetico e che i Paesi Membri si dotino di sistemi di monitoraggio e verifica dei prodotti di mercato. A tutt'oggi nel nostro Paese non è stato ancora predisposto alcuno strumento in tal senso.

L'introduzione di limiti prestazionali più restrittivi sulle prestazioni energetiche termiche degli edifici ha decisamente inciso sulle tecnologie costruttive e di climatizzazione degli stessi fornendo un forte stimolo per le industrie del settore alla ricerca verso l'innovazione. Inoltre, la normativa emanata in attuazione delle direttive europee richiede che gli impianti di produzione di energia termica per edifici nuovi o edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti devono essere progettati e realizzati in modo da garantire la copertura di almeno il 20% del fabbisogno termico di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento da fonti rinnovabili.

Gli obiettivi previsti dal decreto potrebbero risultare particolarmente ambiziosi, in particolare per complessi edilizi ad alta densità abitativa, dove l'adozione di tecnologie capaci di produrre la necessaria energia termica da fonte rinnovabile potrebbero trovare difficoltà applicativa, per mancanza di spazi o per difficoltà integrative, tali da spingere i progettisti a invocare il vincolo tecnico. In questo contesto si ritiene particolarmente importante analizzare le potenzialità delle reti energetiche locali come possibile soluzione ai vincoli tecnici che contrastano la diffusione delle fonti rinnovabili.

Il recente sviluppo di efficienti motori termici per la generazione distribuita sta cambiando il fulcro della produzione di energia verso unità di produzione locali sparse sul territorio e si fa, dunque, avanti la necessità di strumenti nuovi per affrontare l'analisi e la pianificazione delle risorse energetiche distribuite. L'accoppiamento di sistemi di cogenerazione per refrigeratori ad assorbimento/elettrico o pompe di calore, così come le interazioni con fonti rinnovabili, consentono la creazione di multi-generazione di sistemi combinati per la produzione locale di diversi vettori energetici come l'energia elettrica, calore (entalpia a livelli diversi), potenza di raffreddamento.

L'industria alimentare - che insieme ad agricoltura, indotto e distribuzione rappresenta la prima filiera economica del Paese - acquista e trasforma circa il 70% delle materie prime nazionali e rappresenta la seconda industria manifatturiera del Paese dopo quella metalmeccanica con un fatturato di export pari a circa a 20 miliardi di euro. In tale contesto, un ruolo primario assume la cosiddetta "catena del freddo" che a livello mondiale consuma l'8% dell'energia. Gli stili di vita determinano la continua crescita del settore dei surgelati o dei piatti pronti che devono essere conservati a temperatura controllata. Si consideri che nel 1984 la produzione era di circa 200000 tonnellate mentre nel 2004 si sono state commercializzate oltre 750000 tonnellate di prodotto. L'appropriata e costante temperatura delle derrate alimentari dalla fase di produzione a quella di consumo è uno degli elementi più importanti per la conservazione del prodotto e per la conseguente riduzione dei consumi energetici. Tra le tecniche di conservazione degli alimenti la refrigerazione è quella di maggiore interesse dal punto di vista della efficienza energetica a causa della necessità di tenere sotto stretto controllo l'umidità.

L'evoluzione tecnologica di questi ultimi anni ha portato a celle frigorifero sempre più evolute che cercano di ottenere un controllo sulla temperatura sempre più accurato, anche in condizioni critiche di esercizio, migliorando l'omogeneità della temperatura all'interno della cella, fattore critico per proteggere il carico, mediante opportuni ventilatori e prese d'aria. Per quanto riguarda i materiali utilizzati, fino a qualche decennio fa, i soffitti e le pareti erano costituiti da pannelli sandwich prefabbricati consistenti in due cortecce in lamiera zincata e verniciata fra le quali veniva espanso il materiale isolante, in genere poliuretano. Attualmente in modo sempre più marcato, specie in condizioni di esercizio critiche, questi materiali sono stati sostituiti da pannelli sandwich in resina poliesterica caricata con fibre di vetro fra le quali viene espanso il materiale isolante, in genere sempre poliuretano.

In tale scenario l'impiego dei materiali a cambiamento di fase (Phase Change Material, PCM) potrebbe migliorare notevolmente l'isolamento termico delle strutture sandwich, affiancando/sostituendo, dipen-

dentemente dalle applicazioni, lo strato espanso di poliuretano.

La COM(2011)889 del 15/12/2011, emessa dalla Commissione Europea, conferma l'importanza del mercato dell'illuminazione a stato solido, oggi e nel prossimo futuro, dato che l'illuminazione genera il 14% dei consumi di energia elettrica in Europa (19% nel mondo).

I LED sono oggi una tecnologia matura a differenza degli OLED (disponibili sul mercato solo ad alto costo e in esemplari di piccole dimensioni), la cui importanza è destinata a crescere nei prossimi anni. La tecnologia SSL (Solid-State Lighting, comprende LED e OLED) rappresenta una svolta nell'illuminazione generale sotto diversi aspetti fondamentali: l'efficienza energetica, qualità dell'illuminazione e comfort visivo, design ed estetica. Oggi i LED bianchi d'avanguardia hanno già raggiunto un'efficienza energetica pari al 30-50%, hanno un'efficacia luminosa che va da 100 a 150 lumen/Watt (lm/W) e il loro indice di resa cromatica (IRC) è pari a 80. I valori obiettivo previsti per i LED bianchi caldi nei prossimi 10 anni sono un'efficienza del 50-60%, un'efficacia superiore a 200 lm/W e un IRC superiore a 90. I prodotti OLED più moderni hanno oggi un'efficacia superiore ai 100 lm/W, con l'obiettivo di raggiungere dispositivi commerciali a 150 lm/W entro il decennio. I materiali con cui vengono prodotti gli OLED permettono di ottenere dispositivi virtualmente su qualsiasi materiale substrato anche flessibile: vetro, plastica, metallo, ceramica, carta, tessuto, ecc.. La flessibilità dei materiali organici rende gli OLED di grande interesse per la produzione di dispositivi avvolgibili, che potrebbero essere integrati anche in capi di vestiario o utilizzati per il rivestimento di pareti o soffitti, modificando radicalmente il modo di illuminare edifici e abitazioni. L'unico inconveniente rispetto ai LED tradizionali è la durata: le sorgenti luminose a semiconduttore inorganico hanno una vita praticamente infinita, mentre gli OLED sono più soggetti a degradarsi.

La combinazione e lo sfruttamento delle numerose caratteristiche e dei molti vantaggi della tecnologia SSL creeranno molte nuove opportunità commerciali per l'industria dell'illuminazione e determineranno un cambiamento dei modelli di impresa.

La Direttiva 2012/19/UE del 4 luglio 2012 sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche mira a contribuire all'uso efficiente delle risorse e al recupero di materie prime secondarie di valore, attraverso un corretto riutilizzo, riciclaggio e trattamento di tali rifiuti; essa affronta esplicitamente l'importanza di un trattamento adeguato dei RAEE e stabilisce obiettivi di recupero minimi per le diverse categorie individuate. D'altra parte se la normativa ha previsto, da un lato, l'eliminazione di alcune sostanze pericolose per l'uomo e l'ambiente dalla produzione delle apparecchiature, nei prodotti High Tech di nuova generazione si fa uso di sostanze che, per le proprietà intrinseche e per le caratteristiche di valore e scarsa disponibilità, rendono importante sviluppare strategie finalizzate al loro recupero, attraverso processi innovativi e sostenibili. Per tale motivo, e per ottemperare a quanto richiesto dai nuovi obiettivi di recupero europei, il trattamento delle apparecchiature deve spingersi oltre a quanto realizzato sinora.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale dell'attività consiste nello sviluppo di strumenti e metodi, che mirano al miglioramento di tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di stimolare nel mercato la circolazione di prodotti più performanti.

Poiché il panorama degli *stakeholder* è piuttosto complesso e caratterizzato da diverse tipologie le attività sono state suddivisi in cinque linee di attività principali, che si articolano a loro volta in differenti obiettivi.

L'attività a termine, con un orizzonte temporale triennale, si articola attraverso le seguenti sette linee di attività, più una dedicata alla diffusione dei contenuti e dei risultati ottenuti:

- a. Reti di poligenerazione
- b. gestione ottimale reti di edifici
- c. Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione
- d. Tecnologie per l'industria del freddo
- e. Recupero di elementi pregiati presenti nei RAEE
- f. Realizzazione di una facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza
- g. Analisi di soluzioni tecniche per l'efficientamento dei processi produttivi nelle PMI
- h. Comunicazione e diffusione dei risultati

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Il Ministero dello Sviluppo Economico, accogliendo anche le indicazioni presentate dai comitati di sorveglianza degli Accordi di Programma, ha ritenuto opportuno disporre la costituzione di gruppi di lavoro con lo scopo di garantire quanto previsto nel Piano triennale, ovvero coordinare le attività comuni ed affini tra i vari soggetti affidatari, con lo scopo di evitare inutili sovrapposizioni.

ENEA ha coordinato il Gruppo di Lavoro "Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia nei settori: industria, servizi e civile" per raccordare ed ottimizzare le attività con CNR e RSE nei seguenti temi:

- a) Sistemi e tecnologie per il solar cooling
- b) Sistemi illuminazione innovativi LED OLED
- c) Sviluppo pareti opache
- d) Politiche energetiche nazionali e comunitarie.

ENEA ha partecipato, insieme a CNR e RSE, alle attività del Gruppo di Coordinamento del progetto "Ricerche su reti attive, generazione distribuita e sistemi di accumulo di energia elettrica", che ha predisposto un documento che assicura la pianificazione in termini quantitativi, qualitativi e temporali delle attività svolte dagli affidatari sui seguenti argomenti comuni:

- Studio di reti di distribuzione attive in MT e BT (RSE, ENEA, CNR)
- Sviluppo sistemi di accumulo avanzati integrati nelle reti elettriche nelle seguenti applicazioni: Power Quality, Peak Shaving, servizi ancillari, sistemi ibridi a fonte rinnovabile (minieolico, fotovoltaico) operanti in isola, trasporto elettrico (CNR, RSE, ENEA)

In particolare, il presente progetto contiene una linea di attività incentrata sul tema dello sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione (linea C), tale tema è affrontato anche da RSE, ma con argomenti complementari. In particolare, nella linea C ENEA studia, sintetizza ed implementa su dispositivo, LED organici (quindi adatti ad applicazioni elettroniche ed indoor), mentre RSE studia dispositivi a stato solido (quindi adatti ad usi per segnaletica e illuminazione outdoor).

Inoltre, a dimostrazione del coordinamento e della collaborazione tra i due enti assegnatari si ricorda che una risorsa di RSE è stata distaccata presso il laboratorio ENEA di ISPRA UTTEI-SISP, che ospita le suddette attività.

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

Lo sviluppo delle tecnologie per l'efficienza energetica, l'uso di nuove tecnologia, la conoscenza di dati tipologici e dei consumi energetici degli edifici sono le principali azioni con le quali è possibile far fronte alla riduzione dei consumi termici e alla diminuzione della richiesta di energia elettrica nel settore civile, industria e servizi.

Da considerare che il settore del civile è, al momento, quello maggiormente responsabile dei consumi negli edifici; i consumi infatti hanno registrato un aumento da 46,9 Mtep del 2009 a circa 48Mtep nel 2010 con incrementi percentuali di circa l'8%. Questo incremento di consumi va imputato, principalmente, all'utilizzo del vettore elettrico per gli impianti di climatizzazione estiva, sempre più diffusi, e all'utilizzo di apparecchi "bianchi" e "bruni".

In tutti settori economici le potenzialità di contenimento dei consumi energetici dei dispositivi di poligenerazione distribuita derivano prevalentemente dalla riduzione delle "perdite" energetiche legate al vettoriamento dell'energia ad elevata distanza ed ai frequenti funzionamenti a carichi parziali tipici degli impianti di taglia elevata ed esse possono contribuire in maniera considerevole agli ambiziosi obiettivi della direttiva EU 20-20-20. Una gestione "centralizzata" può fornire vantaggi economici, che potrebbero essere sfruttati da ESCo per incrementare la redditività economica, i risparmi energetici nonché benefici dovuti alla maggiore indipendenza energetica dell'utenza e legati ad un più razionale utilizzo stagionale del gas naturale e dell'energia elettrica.

In tale contesto si inserisce anche la linea di attività relativa alla realizzazione di una facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici, che, allo stato attuale e in ambito pubblico, costituisce un esempio unico in Italia. La disponibilità di una tale struttura inserita in un ambiente tecnico-scientifico e super partes, come ENEA, rappresenta uno strumento essenziale sia per il mondo produttori di componenti

elettrotecnici ed elettronici che per gli utenti finali, i quali vengono garantiti nell'acquisto ed uso di tali prodotti, infine grandi vantaggi ottiene l'amministrazione centrale che potrà usufruire del laboratorio anche per dare seguito agli adempimenti di legge relativi al controllo del mercato di tali prodotti.

In aggiunta agli aspetti energetici, il miglioramento dello stato di efficienza del sistema produttivo non può trascurare gli effetti benefici provenienti dal recupero di materiali pregiati dalle apparecchiature elettriche ed elettroniche a fine vita. Infatti, tali apparecchiature contengono fino a 60 elementi chimici diversi, tra cui metalli preziosi, metalli di specialità (elevate prestazioni Hi-Tech), metalli ferrosi, terre rare, etc. La gestione dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) è regolata dalla Direttiva 2012/19/EU (recepita in Italia con D. Lgs 49/2014) che ha l'obiettivo di limitare il danno ambientale derivante da un loro smaltimento non appropriato, ma nel contempo costituisce per l'Europa una delle maggiori opportunità di approvvigionamento di risorse e materie prime ad elevato valore aggiunto. La Direttiva RAEE infatti rafforza l'opportunità di crescita sostenibile con obiettivi e vincoli che stimolano una virtuosa chiusura del ciclo delle risorse. Lo sviluppo di tecnologie innovative dedicate al recupero/riciclo di materie prime seconde ricopre un ruolo fondamentale nella chiusura delle catene del valore, rispondendo alla criticità di approvvigionamento di materie prime e alla contestuale necessità di ridurre le quantità dei rifiuti smaltiti in discarica e salvaguardare le risorse naturali. Per un Paese come l'Italia, povero di risorse primarie, il recupero di materiali pregiati da RAEE rappresenta dunque una priorità per motivi economici, ambientali e strategici.

In conclusione, le attività di questo progetto costituiscono la base per l'applicazione di soluzioni tecnologiche e lo sviluppo di strumenti di governance atti a favorire il consenso verso tali strategie e la loro diffusione capillare. E' da evidenziare che, la disponibilità di poter accedere e utilizzare informazioni e soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica negli edifici, di nuova costruzione o da riqualificare, è un fattore di cui beneficia il sistema Paese, in generale, e l'utente finale, in particolare.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione degli obiettivi

a. Reti di poligenerazione

L'attività proposta in questa linea è finalizzata al completamento dell'obiettivo del piano triennale sulle reti di poligenerazione distribuita che è incentrato sulla realizzazione e sull'applicazione di una piattaforma software avanzata in grado di simulare il comportamento di reti energetiche in assetto poligenerativo e sull'identificazione di indici e parametri caratteristici (anche mediante altri strumenti software), idonei a valutarne le prestazioni.

Nelle annualità precedenti le attività di sviluppo software hanno riguardato singoli componenti di una rete ed aspetti parziali della rete stessa (quali le perdite lungo le singole tratte, i sistemi di generazione, le sottostazioni di scambio termico, gli indici di prestazione); pertanto le numerose campagne di simulazione effettuate sono state condotte con configurazioni (semplificate) tese a verificare e mettere a punto le soluzioni implementate e non rappresentanti (per estensione e potenze impegnate) configurazioni reali o realistiche.

Nel corso dell'attuale annualità sarà quindi continuato e portato a termine lo sviluppo di codice relativo a componenti di una rete e sarà realizzata la piattaforma software ENSim (Energy Network Simulator) in cui confluiranno i modelli di calcolo sviluppati nel corso dell'intero triennio. La piattaforma consentirà di analizzare soluzioni tecnologiche avanzate per le reti energetiche esistenti e per le nuove installazioni, valutando possibili ampliamenti dei servizi offerti agli utenti finali (gestione di generatori distribuiti in regime di scambio sul posto).

La nuova piattaforma si configurerà come uno strumento particolarmente utile alla valutazione di reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento efficienti, sulle quali la Direttiva 2012/27/UE ha posto grande attenzione, e che vengono definite nel D.Lgs. 4 luglio 2014, n.102, di recepimento della direttiva stessa, come sistemi che usano *"in alternativa, almeno: il 50 per cento di calore di scarto; il 50 per cento di energia derivante da fonti rinnovabili; il 50 per cento di una combinazione delle precedenti; il 75 per cento di calore*

cogenerato".

I risultati proposti nelle annualità precedenti, di natura puramente qualitativa, non hanno avuto una valenza generale in grado di evidenziare le potenzialità dello strumento in via di sviluppo. Si ritiene pertanto indispensabile affiancare al completamento dell'attività di sviluppo, l'analisi approfondita di alcuni casi reali scelti in base ad un elevato fattore di replicabilità e/o alla possibilità di disporre di dati sui consumi reali, che consenta di produrre risultati generalizzabili utili ad esprimere il potenziale delle reti energetiche per i settori simulati.

Un tale risultato può essere raggiunto se, come ci si propone di fare, le simulazioni e le valutazioni tecnico-economiche conseguenti, saranno effettuate con un approccio progettuale.

In particolare i casi affrontati saranno di due tipologie:

- contesto territoriale con destinazione d'uso civile in cui non è presente una rete energetica: per questo caso partendo dal rilievo (documentale) dello stato dell'arte si ipotizzerà preliminarmente la realizzazione di una nuova rete energetica valutandone i principali aspetti realizzativi (predisposizione del sito, scelta dei materiali, vincoli di installazione, caratteristiche climatiche del sito, tracciato planimetrico, dimensioni, etc.) in modo che tutte le scelte impiantistiche siano effettuate sulla base di prodotti reperibili nel mercato.
- contesti in cui esiste una rete di teleriscaldamento: in questo caso si valuterà la trasformazione della rete in una configurazione poligenerativa in cui sono presenti utenze attive, che cioè possono prelevare dalla o cedere energia alla rete.

La valutazione per entrambe le tipologie sarà condotta in condizioni tariffarie, economiche e fiscali reali e confrontando più soluzioni impiantistiche, con particolare attenzione all'utilizzo delle fonti rinnovabili e al calore di scarto, in modo da valutare la relazione fra configurazione impiantistica e caratteristiche del settore di utenza (residenziale, terziario, commerciale, industriale) esaminato.

a.1 Realizzazione e ottimizzazione della piattaforma ENSim per la simulazione di reti termiche in assetto poligenerativo

Per consentire la simulazione di nuovi scenari di gestione delle reti in assetto poligenerativo, sarà necessario nel corso del presente obiettivo costruire una struttura software capace di implementare una procedura agevolata di inserimento dei dati di input che costituiscono la rete energetica (edificio, condotte principali e derivazioni, scambiatori a piè di stabile, mix impiantistico) e i relativi sistemi di gestione da simulare.

La piattaforma software verrà configurata anche per l'acquisizione in real time dei profili di carico dei singoli piè di stabile, compresi eventuali nodi attivi (utenti connessi in regime di net metering termico) al fine di monitorare in tempo reale gli indici di efficienza della rete (già implementati nelle precedenti annualità) e fornire i set point di regolazione che possano massimizzare la performance complessiva della rete.

Oltre all'integrazione dei modelli già sviluppati nelle annualità precedenti, verranno implementati nuovi componenti per simulare diversi layout di rete (ad albero o ad antenna) e nuovi modelli per il calcolo delle perdite e delle temperature di rete. Ciò consentirà di poter valutare con maggiore precisione la reale capacità della rete di offrire servizi integrativi rispetto alle gestione di partenza, come l'immissione di calore da parte di terzi e la gestione in scambio sul posto di utenti attivi (già modellata la scorsa annualità); tali servizi sono strettamente dipendenti dal livello termico nel punto di immissione. Infine, la piattaforma verrà calibrata e validata utilizzando i dati acquisiti dal monitoraggio di reti reali, effettuato tramite l'installazione presso i singoli piè di stabile, iniziata nelle annualità precedenti, di strumentazione per l'acquisizione da remoto dei profili di carico e delle temperature dei singoli nodi della rete.

In particolare, le attività si articoleranno secondo le seguenti azioni:

- strutturare la gestione dei dati di input dei singoli componenti della rete per simulare configurazioni base e tecnologicamente evolute (generazione distribuita, sistemi a pompa di calore con accumulo, calore di scarto industriale, ecc);
- implementare la struttura software per consentire la simulazione dei carichi di rete in numero variabile

utilizzando i profili semplificati degli edifici tipo sviluppati nel sotto obiettivo a.2;

- implementare la struttura software all'interno di ENSim per acquisire curve di carico in tempo reale: sviluppo della connessione tra i sensori di acquisizione (misuratore remoto a piè di stabile) ed il codice di comunicazione attraverso rete LAN (protocollo TCP/IP); implementazione di una interfaccia all'interno dell'ambiente simulink per comunicare con i singoli strumenti;
- implementare nuovi modelli che consentano di simulare diversi layout di rete: da struttura lineare a struttura ad albero;
- estendere, rispetto ai modelli sviluppati nelle precedenti annualità, la possibilità di simulare la sottostazione bidirezionale in ciascun nodo che costituisce la rete in presenza di diversi sistemi di generazione distribuita (es. solare termico e microcogeneratori). Il modello dettagliato di rete con nodi attivi consentirà di valutare il profilo di temperatura della rete e come lo stesso influenzi il comportamento energetico delle utenze al variare di punti di immissione in regime di scambio sul posto;
- implementare un nuovo modello di accumulo stratificato per meglio valutare i livelli di temperatura del fluido di ritorno in centrale termica e per consentire la simulazione di immissione in rete di cascami termici abbinati a storage con funzione pluri giornaliera;
- ottimizzare il codice Matlab/Simulink per piattaforma ENSim;
- eseguire una campagna sperimentale di misurazione dei singoli piè di stabile di una rete reale di un quartiere di Torino, utilizzando la strumentazione installata nei singoli nodi nell'annualità precedente, per la lettura da remoto dei profili di temperatura e carico termico;
- mettere a punto il sistema di acquisizione da remoto dei singoli piè di stabile e post elaborare le misure per analizzare la prestazione energetica delle rete tramite gli indici di performance elaborati nelle annualità precedenti;
- Calibrare e validare la piattaforma ENSim con i dati acquisiti dal monitoraggio dei piè di stabile della rete di Torino.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività descritta.

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino Dipartimento DENERG

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2 Reti poligenerative in contesti territoriali in assenza di reti termiche

Nell'ottica di realizzare un caso studio relativamente all'efficientamento di contesti territoriali reali che non sono dotati di reti termiche, nel corso della presente annualità le attività si articoleranno nei punti seguenti.

- Individuazione del contesto territoriale oggetto dello studio. Le dimensioni ideali del contesto territoriale nel quale ipotizzare l'inserimento di una rete poligenerativa, nell'ambito del presente studio, sono quelle di un piccolo quartiere o di un agglomerato di piccole dimensioni con utenze di tipo residenziale e/o terziarie e/o industriali.
- Raccolta dati sul sito: saranno recuperate le informazioni sulle caratteristiche geometriche, urbanistiche e morfologiche del sito e sulle caratteristiche tipologiche e termo-fisiche delle utenze presenti nel contesto territoriale; laddove presenti, saranno acquisiti dati sulla domanda termica delle utenze.
- Implementazione del modello della baseline esistente e sua simulazione: sulla base delle informazioni raccolte sul sito e sulle utenze, l'insieme degli edifici (utenze) sarà implementato nella piattaforma di simulazione e sarà realizzata una valutazione energetico-economica in regime dinamico della baseline.
- Definizione della nuova rete: sarà definita l'ipotesi di nuova rete energetica, con valutazione dei principali aspetti realizzativi (tracciato planimetrico, dimensioni, materiali, ecc.).
- Implementazione nel modello della nuova rete e di più soluzioni impiantistiche poligenerative: saranno individuati più scenari di adozione nella nuova rete di tecnologie di generazione termica

distribuita, ipotizzando ad esempio di utilizzare energia rinnovabile o calore di scarto in uno o più punti della rete stessa, sulla base delle caratteristiche del sito e della disponibilità delle stesse.

- Valutazione energetica ed economica degli scenari di rete: gli scenari individuati ed implementati nel modello di rete saranno simulati e sarà realizzata l'analisi energetico-economica rispetto alla baseline. Ai fini dell'analisi saranno utilizzati in particolare gli indici di valutazione energetica per reti sviluppati nelle precedenti annualità.

Un'ulteriore attività sarà rivolta alla identificazione di profili di carico termico specifici associati a edifici "tipo" che rappresenteranno i punti di prelievo dalla rete e che agevoleranno l'implementazione del modello della baseline esistente anche in presenza di informazioni limitate sulle caratteristiche termofisiche delle utenze. Tale identificazione è rivolta alla prospettiva di utilizzo della piattaforma anche come strumento di pianificazione.

Nell'ambito dell'efficientamento energetico di contesti territoriali tramite l'adozione di nuove reti termiche, possono ricoprire un particolare interesse le isole minori del nostro paese che non dispongono di un collegamento con il sistema elettrico nazionale. Tali isole usufruiscono della componente tariffaria UC4 della bolletta elettrica, introdotta dall'art. 7 della L. 10/91 al fine di garantire pari condizioni di trattamento agli utenti di contesti territoriali disagiati, di cui le isole minori rappresentano oltre l'80%. La componente UC4 negli ultimi anni ha comportato ricadute, in termini di maggiori costi sostenuti a carico di tutti gli utenti del sistema elettrico, pari a circa 70 milioni di euro. Con il fine di valutare una possibile riduzione della componente UC4 della bolletta elettrica sarà realizzata un'analisi dei potenziali servizi termici erogabili, sulle principali piccole isole del territorio nazionale, dai gestori di reti elettriche tramite i propri gruppi diesel in co-trigenerazione. A tal fine sarà realizzata l'analisi della domanda termica delle principali piccole isole del territorio nazionale (soggette alla componente UC4) che può essere potenzialmente soddisfatta da nuove reti termiche.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività di studio dell'applicazione di nuove reti poligenerative in contesti territoriali reali

Principali collaborazioni: Università di Sapienza Dipartimento DIAEE, Università di Palermo Dipartimento DREAM

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.3 Trasformazione di reti di teleriscaldamento esistenti in reti poligenerative con presenza di scambio attivo

Nell'ottica di una trasformazione delle reti di teleriscaldamento esistenti in reti efficienti, ed in particolare nella prospettiva di un loro efficientamento tramite la trasformazione in reti poligenerative con presenza di scambio attivo, tramite la connessione a sorgenti termiche distribuite (solare termico, cascami termici, cogenerazione ad alto rendimento a piccola taglia), nel corso della presente annualità saranno presi in considerazione possibili scenari di trasformazione di reti reali e le attività si articoleranno nei punti seguenti.

Individuazione delle reti reali oggetto dello studio. La rete ottimale per tale fase di studio è una rete medio-piccola (o una porzione di una rete di grandi dimensioni) con utenze di tipo residenziale e/o terziarie e/o industriali.

Per ciascuna delle reti individuate saranno effettuati:

- Raccolta dati: saranno recuperate le informazioni sul numero e le caratteristiche tipologiche e termo-fisiche delle utenze asservite alla rete, e saranno acquisite le informazioni relative alla geometria della rete (schema geometrico, disposizione nodi ed utenze, ecc.)
- Acquisizione consumi e monitoraggio: saranno raccolte informazioni sul funzionamento della rete (portate circolanti, potenze richieste dalle utenze, temperature sui rami di mandata e di ritorno, ecc.) e sulle logiche di gestione della stessa. Saranno inoltre monitorate, dal punto di vista degli scambi energetici, una o più sottostazioni mediante l'installazione di appositi dispositivi di misura.
- Implementazione del modello della rete esistente e simulazione della baseline esistente: sulla base

delle informazioni raccolte su rete ed utenze da essa servite, l'insieme edifici (utenze)-rete sarà implementato nella piattaforma ENSim e sarà realizzata una valutazione energetico-economica in regime dinamico della baseline, ovvero sarà implementato nel software IHENA per un'analisi della baseline in condizioni stazionarie.

- Introduzione nel modello di uno o più sistemi di generazione termica distribuita: saranno individuati più scenari di introduzione nella rete esistente di tecnologie di generazione termica distribuita e di nodi attivi, sulla base della disponibilità locale di cascami termici e/o della possibilità di installazione di impianti (solari, microgeneratori, ecc.) in corrispondenza di una o più utenze.
- Valutazione energetica ed economica degli scenari di rete in assetto poligenerativo con nodi attivi: gli scenari individuati ed implementati nel modello di rete saranno simulati e sarà realizzata l'analisi energetico-economica rispetto alla baseline. Ai fini dell'analisi saranno utilizzati in particolare gli indici di valutazione energetica per reti sviluppati nelle precedenti annualità

Utilizzando il modello di una delle reti reali implementate, ed in continuità con l'attività effettuata nell'annualità 2013 sul Net Metering termico (incentrata sull'analisi della presenza di un singolo utente attivo), saranno realizzate analisi di sensibilità basate sulla presenza di più utenti attivi in una rete reale. Saranno valutati gli aspetti tecnici (effetti sulle caratteristiche funzionali di rete, quali ad es. i profili di temperatura nella rete e i relativi livelli entalpici necessari per ulteriori potenze immissibili) al variare della presenza di utenti attivi ed al variare della potenza immessa in rete in modo distribuito. Saranno analizzati scenari di ottimizzazione della potenza immessa in modo distribuito prosumer-side o utility-side.

Prendendo in considerazione una delle reti reali oggetto dello studio, sarà realizzata la progettazione di una sottostazione di scambio termico attivo, nell'ipotesi di sostituzione di una sottostazione realmente al servizio di un'utenza della rete. La sottostazione reale sarà individuata tenendo conto delle caratteristiche dell'utenza, della possibilità logistica di installazione in loco di un sistema di generazione termica locale, e sarà oggetto di monitoraggio mediante appositi dispositivi di misura. Sulla base dei dati raccolti sulla sottostazione scelta e sull'utenza da essa servita saranno definiti lo schema di scambio attivo con la rete e le logiche di gestione. Sarà quindi realizzato il progetto del sistema di scambio attivo, dimensionando i componenti principali e la logica di controllo.

In ultimo si vuole affrontare un problema fondamentale e strettamente correlato all'attività di sviluppo di indici prestazionali svolta nelle annualità precedenti, quale quello legato alla migliore scelta della strumentazione per il monitoraggio delle prestazioni delle reti termiche. Dall'esperienza maturata, anche in altre attività, e dai numerosi confronti avuti con operatori del settore emerge che la variegata offerta di strumentazione di misura (particolarmente per il campo termico) che propone il mercato e la conoscenza non sempre completa dei fenomeni fisici che governano tali strumentazione da parte di utenti, gestori e progettisti, dà luogo a problematiche che non consentono il corretto monitoraggio energetico degli impianti e si traducono in perdite di efficienza (energetica ed economica) non trascurabili. Tale attività sarà articolata nei seguenti punti:

- individuazione dei parametri principali utili ad identificare le prestazioni termiche di una rete energetica sulla base delle tipologie di rete di teleriscaldamento e teleraffreddamento più comuni e più rappresentative;
- classificazione degli intervalli di lavoro dei parametri individuati;
- progettazione di un laboratorio di test in grado di replicare le reali condizioni di lavoro delle grandezze fisiche identificate dai parametri individuati e che consenta di valutare le prestazioni degli strumenti di misura termici comunemente utilizzati dagli operatori del settore e reperibili nel mercato
- valutazione di fattibilità economica del laboratorio di test

Inoltre, nell'ottica dello sviluppo delle reti energetiche integrate e degli smart metering multi servizio, ovvero strumenti in grado di telegestire contemporaneamente la fornitura di gas, luce, calore e acqua, nonché di fornire dati e informazioni sull'efficienza e sul risparmio energetico, si procederà nel corso della presente annualità, in continuità a quanto già avviato, alla caratterizzazione in campo di misuratori per la misura di grandezze caratteristiche di utenze elettriche, da installare presso campus/laboratorio universitario. In particolare l'attività proposta si articolerà secondo i seguenti punti:

- Realizzazione di alcuni misuratori (replicando gli smart meter realizzati nelle annualità precedenti)
- Realizzazione di concentratori dati (replicando il concentratore realizzato nelle annualità precedenti)
- Verifica delle prestazioni metrologiche di rete attraverso la sperimentazione in ambiente reale (campus/laboratorio universitario)
- Confronto dei risultati ottenuti con quelli di strumentazione di misura convenzionale

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività di studio di trasformazione di reti termiche esistenti in reti poligenerative in presenza di scambio attivo

Principali collaborazioni: Università di Cassino Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica, Università di Bologna Dipartimento DIN

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b. Gestione ottimale di rete di edifici

L'obiettivo di questa linea di attività riguarda lo sviluppo di una metodologia per la gestione integrata di una rete di edifici terziari da applicare in una rete aperta o in un distretto urbano o in una facility a controllo centralizzato quali complessi direzionali, universitari, ospedalieri, scolastici, sportivi, commerciali ("Smart Village") al fine di supportare il gestore energetico nell'attuare politiche di efficientamento e controllo della domanda basate su una modellistica avanzata che non penalizzi il comfort dell'utente.

In particolare l'idea di base è quella di dotare la rete di edifici di sensoristica, sistemi di attuazione e di trasmissione dati ed un sistema centrale dove viene sviluppata la modellazione della rete, la diagnostica su ogni edificio della rete, la comparazione tra le prestazioni dei vari edifici, la gestione ottimale e la gestione della domanda.

Gli obiettivi che si vogliono perseguire nel triennio riguardano quindi metodologie di modellazione dei consumi termici ed elettrici, metodologie di analisi dati avanzata (diagnostica) e controllo adattivo, metodologie per l'impostazione automatica di set point per la gestione ottimale degli edifici al fine di attuare strategie di gestione della domanda.

Nella precedente annualità del triennio le metodologie sviluppate sono state applicate alla diagnostica e controllo adattivo di un edificio reale, è stato sviluppato un simulatore semplificato di consumi termici/elettrici di una rete di edifici e sono state sviluppate metodologie di ottimizzazione multi-obiettivo le quali sono state sperimentate su dati simulati. Inoltre sono state svolte le attività di approvvigionamento di strumentazione propedeutiche ad una reale gestione della domanda energetica.

In questa annualità conclusiva le attività saranno prevalentemente sperimentali e si applicheranno le metodologie sviluppate ai casi reali analizzando i benefici reali conseguiti. Oltre a ciò si prevede anche una parte di "studio di fattibilità" per lo sviluppo di metodologie che guardano ad un triennio successivo, ovvero la gestione integrata di domanda/produzione in un distretto (smart district).

Per conseguire tali fini si prevedono quindi le seguenti attività.

b.1 Implementazione ed applicazione alla rete di edifici dei modelli diagnostici, controllo ed ottimizzazione

Nel presente obiettivo sarà dapprima implementato e validato su singolo edificio il modello diagnostico sulla linea termica sviluppato nella precedente annualità e successivamente sarà esteso alla rete di edifici insieme ai modelli diagnostici elettrici (luce e condizionamento) sviluppati precedentemente attraverso un'attenta attività di calibrazione dei modelli stessi.

Le metodologie di controllo adattivo (energy on demand) delle linee condizionamento e luci, applicate nelle precedenti annualità al caso singolo edificio, saranno applicate alla rete di edifici mentre per la parte di ottimizzazione ed active demand sarà dapprima esteso su simulatore il lavoro dell'annualità precedente (riferito alla sola energia termica) al caso elettrico/termico invernale ed estivo e quindi saranno applicate tali metodologie al caso reale del singolo edificio (F40).

Per implementare tali metodologie nell'ambito della piattaforma 'smart town' sarà esteso il modulo di

supervisione dei BEMS sviluppato nell'annualità precedente. I risultati di tali sperimentazioni saranno quindi attentamente valutati per avere un riscontro reale dei benefici che si ottengono in casi reali e ne sarà generata una reportistica opportuna. Oltre a questo continuerà la fondamentale attività di validazione e benchmarking dei dati. La piattaforma sarà estesa con un opportuno modulo di previsione dati meteo, fondamentale per poter implementare logiche di ottimizzazione predittiva, con un modulo di calcolo dei KPI (Key Performance Indicators) sviluppati nelle annualità precedenti e con un modulo di diagnostica a basso livello che mira ad individuare anomalie funzionali ed operative dei singoli sensori.

Infine, sarà migliorato lo strumento di supporto alla gestione energetica dello smart village e si provvederà anche alla necessaria manutenzione del sistema di griglia computazionale sulla quale poggia tutta l'architettura 'smart village'.

Risultati/Deliverable

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività

Principali collaborazioni: Università Roma Tre, Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b.2 Sviluppo di metodologie in ottica "smart district"

Nella precedente annualità, è stato sviluppato un simulatore in Matlab/Simulink dei consumi termici/elettrici in grado di riprodurre gli effetti prestazionali di differenti strategie di controllo a livello di singolo edificio grazie all'impostazione automatica dei setpoint di temperatura (termostati di stanza e centrale termica) e dei valori di dimmerazione delle luci indoor. Tale simulatore ha la finalità di messa a punto di strategie di controllo e differisce sostanzialmente dai simulatori sviluppati ai fini di progettazione degli edifici. Sulla base di un processo di calibrazione su un database di learning (apprendimento) il simulatore è stato in grado di raggiungere una notevole precisione su scala giornaliera e pertanto si è deciso di utilizzarlo anche come predittore nei moduli di ottimizzazione. Inoltre, una calibrazione preliminare del simulatore della rete di edifici è stata affrontata.

In questa annualità si prevede di introdurre il concetto di 'dynamic pricing', ovvero simulando che il costo dell'energia possa variare nel corso della giornata in modo tale da andare verso l'implementazione in futuro di strategie di demand/response e strategie di ottimizzazione multi-obiettivo che tengano in considerazione simultaneamente consumi-comfort-costo. Il simulatore del cluster di edifici sarà calibrato sui smart building realizzati presso il CR Casaccia a partire dai dati sperimentali in modo tale da cercare di ottenere livelli di precisione simili a quelli del simulatore singolo edificio. In secondo luogo sarà integrato con gli algoritmi di ottimizzazione e controllo in modo che questi comunichino in modo analogo a quanto già fatto per il simulatore singolo edificio. Inoltre questo integrerà anche alcuni moduli preliminari di produzione, come ad esempio moduli fotovoltaici, e storage in modo tale da avere una versione embrionale di 'smart district', tema che, con le sue problematiche di gestione ottimale, sarà sviluppato in annualità successive.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività.

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b.3 Le tecnologie locali integrate per abilitare le "smart building network"

Un fronte essenziale per rendere competitivo il modello delle building network management è quello di disporre di alcune tecnologie di rilevazione e controllo locale integrate con la possibilità di dialogo a livello superiore. Le attuali tecnologie sensoristiche e di attuazione locale attualmente sono frammentate su diversi "prodotti" commerciali, tipicamente chiusi o caratterizzato da diversità di protocollo di comunicazione e specifiche problematiche di installazione che fanno salire il costo di investimento quando devono essere utilizzate in modo capillare (es: un insieme di sensori/controlleri in ogni stanza). A tal scopo verrà sviluppato un concept progettuale per l'integrazione della sensoristica e controlleri di una tipica stanza ufficio in un unico sistema (rilevazione T/umidità/presenza/CO2/apertura finestre, controllo

prese/luci/climatizzatore, dialogo remoto). Lo scopo è l'avvio di un percorso di abbattimento dei costi strumentali e di installazione, la facilitazione del colloquio con BEMS (che in prospettiva dovrebbe molto snello), il colloquio con il sistema di supervisione della rete ed infine con l'utente. In una prospettiva applicativa futura uno "smart energy box" dovrebbe essere installato in ogni stanza dello smart building e distribuire a livello locale parte della intelligenza della rete. In questa annualità verrà progettato ed approvvigionato un prototipo preliminare che in futuro verrà installato e sperimentato in una specifica stanza ("smart room") dell'edificio più avanzato realizzato presso il CR Casaccia in termini di sensorialità e funzionalità smart ed impiegate alcune tecnologie già in commercio (es. smart plug, smart valve) per valutarne la fattibilità nella gestione della domanda attraverso la loro integrazione nei sistemi di supervisione e controllo.

Un'altra tipologia chiave di informazione per implementare il concetto di "energy on demand" (controllo adattivo sulla necessità istantanea e locale di energia) e quindi raggiungere elevati saving energetici è la informazione sulla presenza di persone. Le scelte attualmente utilizzate in ambienti ad accesso non controllato (sensori di presenza + trasmissione remota del dato) hanno il difetto di incidere pesantemente sui costi di acquisto ed installazione. Altre alternative, quali il test sull'uso della postazione di lavoro (PC) o sulla presenza di uno smart phone del lavoratore potrebbero essere molto vantaggiose. A tal fine si svilupperà uno studio di fattibilità sulla possibilità di utilizzare una "app" installata sullo smart phone del lavoratore che comunicherà al sistema centrale se una unità mobile (quindi evitando problemi di archiviazione di dati sensibili) è presente all'interno del centro o dell'edificio o all'interno di una specifica area (o stanza). Verrà sviluppato a tal fine un prototipo preliminare e testato nella "smart room" di cui sopra.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche

Durata: ottobre 2014- settembre 2015

c. Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione

c.1 Sperimentazione OLED

L'attività parte dai risultati ottenuti nelle scorse annualità e vede sempre coinvolto il dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Napoli (UniNA) per la sintesi del materiale luminescente per applicazioni OLED.

L'obiettivo è quello di aumentare le performance del dispositivo, in termini di efficienza, sostituendo il materiale fluorescente, fino ad ora sintetizzato da UniNA, con un materiale fosforescente, anche questo sviluppato da UniNA.

Il vantaggio offerto dai materiali fosforescenti sta nel fatto che, essendo caratterizzati da stati mescolati di singoletto e tripletto, possono facilmente dare luogo, per il forte accoppiamento spin-orbita, ad un efficiente intersystem crossing, che sfrutta tutti gli eccitoni prodotti, sia quelli nello stato di singoletto, sia quelli nello stato di tripletto. Tale meccanismo consente, potenzialmente, di arrivare ad un efficienza quantica interna prossima al 100%.

Sulla base di tali premesse l'attività di sintesi dell'unità UniNA-Dip. Scienze Chimiche sarà incentrata sulla sintesi di materiali fosforescenti ed in particolare di complessi dell'iridio(III) con ligandi organici biocompatibili.

Si tratta di una attività di punta, grazie alla quale si spera di ottenere un significativo miglioramento di efficienza per gli OLED sostituendo i materiali fluorescenti con quelli fosforescenti di sintesi innovativa grazie alle competenze del Dip. di Scienze chimiche di UniNA.

Risultati/Deliverable:

- Disponibilità di almeno una molecola fosforescente di sintesi innovativa da impiegare come materiale attivo in dispositivi luminescenti OLED.
- Rapporto tecnico: "Sintesi di molecole fosforescenti innovative e loro applicazione in dispositivi

luminescenti OLED”

Principali collaborazioni: Dipartimento di Scienze Chimiche dell’Università di Napoli, Federico II

Durata: ottobre 2014-settembre 2015

c.2 Progettazione e sperimentazione con sistemi a LED innovativi

Proseguendo le attività delle due precedenti annualità, la ricerca si articolerà sulla progettazione e sperimentazione di sistemi innovativi a LED in diversi ambiti applicativi.

- Ambienti di lavoro/tipo uffici: verrà rivisto e aggiornato il progetto dell’apparecchio COELO (sviluppato nella prima annualità del triennio) per renderlo in linea con i componenti più avanzati disponibili oggi sul mercato. Ne verrà quindi realizzato un prototipo che sarà dapprima testato in laboratorio e poi, dopo eventuali rettifiche, installato in un ufficio presso l’ENEA di Ispra per un test sul campo a lungo termine.
- Ambienti di lavoro/tipo industriale: verranno installati e testati i nuovi dispositivi ottici / di controllo per il sistema HumbleBee nel locale-laboratorio dell’ENEA di Ispra (assimilabile come tipologia architettonica a un ambiente industriale), identificati e in parte già acquisiti nella scorsa annualità. In particolare:
 - il nuovo riflettore, di cui il primo esemplare verrà testato in laboratorio per determinarne il solido fotometrico e confrontarlo con il progetto; ne saranno quindi realizzati più esemplari e applicati agli apparecchi HumbleBee esistenti, per verificare sul campo il miglioramento delle caratteristiche ottiche
 - il sistema di movimentazione degli apparecchi HumbleBee, per agevolare le operazioni di modifica degli apparecchi nelle varie fasi della sperimentazione
 - il nuovo sistema di gestione e controllo dell’impianto
 - Dopo l’installazione e il test sui singoli dispositivi / componenti e la fase di commissioning, ci sarà una prolungata fase di test sul campo dell’intero sistema.
 - Inoltre, sarà testato sul campo in parallelo, sia in ambiente industriale (locale-laboratorio) sia in ufficio, presso l’ENEA di Ispra, il dispositivo di illuminazione localizzata prototipale L@W, progettato e realizzato nella scorsa annualità. Scopo delle sperimentazioni in campo è quello di testare sia le caratteristiche illuminotecniche, prestazionali ed energetiche delle soluzioni proposte, sia gli aspetti legati alla fruizione dell’illuminazione artificiale da parte degli utenti, comprendendo quindi aspetti percettivi e di comfort.
 - L’attività comprenderà anche lo sviluppo e la realizzazione prototipale di piccoli dispositivi innovativi e a basso costo per controllo e misure di parametri illuminotecnici su dispositivi a LED (come temperatura prossimale di colore, flicker).
- Ambiente domestico: verrà svolto uno studio preliminare di un sistema di illuminazione per l’ambito domestico, con particolare attenzione verso i problemi di efficienza energetica, comfort, resa cromatica, economicità del prodotto, integrazione nell’ambito domestico. Il target di utenti per il quale l’apparecchio verrà concepito, studiato e prototipato è quello degli anziani che vivono nella propria casa (ageing in place): è questa una realtà particolarmente importante dato il progressivo innalzamento dell’età media in Europa. Verranno proposti concept, selezionati anche attraverso una survey volta alla migliore definizione dei requisiti del prodotto non solo in termini di performance luminose, funzionalità ma anche di accettazione della tecnologia, elemento delicato data la fascia di utenti a cui lo studio si rivolge.

Proseguirà l’attività di definizione di norme sia a livello nazionale (UNI, CEI, CIE-Italia) che europeo (Delegazione Italiana per implementazione Direttive Etichettatura ed Ecodesign su prodotti di illuminazione).

Sarà sviluppato un software relativo alla procedura di calcolo del LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) secondo la norma EN 15193:2015. Il software sarà realizzato in doppia lingua inglese/italiano e sarà un applicativo gratuito (ENEA + UNI): per la presente annualità si prevede la progettazione del software nel suo insieme e la realizzazione di un primo step sperimentale.

Proseguirà la sperimentazione sul sistema GIS per la mappatura dell’illuminazione pubblica in Italia,

particolarmente significativa per evidenziare i risultati del progetto Lumière.

In occasione dell'anno internazionale della luce (il 2015), saranno svolte attività di diffusione della ricerca e della cultura della luce, in generale, tramite diverse iniziative: nelle scuole e con collaborazioni per trasmissioni radiofoniche.

In parallelo proseguiranno le attività di ricerca legate alla definizione e caratterizzazione della resa dei colori, con raffinamento e completamento degli esperimenti dell'anno trascorso: valutazione e confronto dell'effetto di apparenza usando oggetti bidimensionali e tridimensionali, al variare dell'illuminante; superamento delle criticità riscontrate nell'esperimento per lo studio dell'influenza della disposizione spaziale dei colori nella scena rispetto al cambio di apparenza dovuto al mutare dell'illuminante, (attraverso l'illusione visiva di "Albers") e ampliamento dello stesso attraverso nuove configurazioni visive; studio del rapporto tra la dinamica dell'illuminamento e l'indice di resa cromatica.

Saranno identificati test da svolgere in Antartide, per verificare se la vita in situazioni ambientali particolari (periodo di buio, quindi solo illuminazione artificiale) ha un qualche impatto sulla percezione: se possibile saranno anche svolti questi test.

Sulla scorta dei risultati ottenuti nel lavoro svolto nei due anni precedenti riguardante l'indagine degli effetti non-visivi delle nuove sorgenti luminose, proseguirà la sperimentazione estendendo la ricerca ad altre sorgenti ed ampliando l'oggetto di indagine. Lo studio vuole replicare l'indagine sulle facoltà attentive utilizzando nuovi scenari luminosi LED, al fine di confrontare i nuovi risultati con i precedenti, nonché estendere lo studio a problematiche relative all'impatto di queste sorgenti sulla qualità e quantità del sonno. Per questa attività si prevede di preparare e validare appositi questionari.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle attività sperimentali svolte
- Prototipo di COEEO
- Prototipo del sistema HumbleBee con nuovo sistema di controllo e ottica migliorata

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma, Università di Milano Dip. Informatica, Università di Napoli Federico II, Politecnico di Milano Dip.Design

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c.3 Progetto Lumière: assessment del modello gestionale realizzato, trasferimento degli standard e sviluppo di nuovi strumenti attuativi

Il progetto Lumière nel corso delle precedenti annualità ha impostato un programma operativo ed organizzato un Network di esperti tanto per il monitoraggio e valutazione costante dell'impianto e del servizio di pubblica illuminazione quanto per il supporto alle amministrazioni ed operatori settoriali ai fini della riduzione dei consumi energetici e della programmazione d'interventi riqualificativi degli impianti. L'obiettivo è quello di migliorare le prestazioni energetiche, funzionali ed illuminotecniche del servizio oltre che di rendere l'infrastruttura dell'impianto idonea a diventare struttura portante di tecnologie Smart, potendo dunque avviare il processo di trasformazione dei centri urbani in città "intelligentemente" gestite.

La riorganizzazione e la riprogrammazione delle modalità gestionali del settore sono state identificate quali le soluzioni ottimali ed uniche alle attuali disfunzioni. A tale scopo il progetto ha sviluppato un Modello di management dell'impianto e del servizio, definendone la filiera ed individuando attività, standard di riferimento, tool ed appositi strumenti operativi atti a favorirne l'applicazione. Tra questi alcuni sono stati sviluppati e condivisi (censimento, Linee guida), altri sono in fase di discussione e perfezionamento (audit energetico) e ulteriori in fase di programmazione (piattaforma di certificazione energetica e monitoraggio real time della qualità degli impianti IP).

Lo sviluppo e l'operatività dell'Osservatorio Lumière completano le attività progettuali concentrandosi sulla diffusione della cultura della luce quale strumento di valorizzazione del nostro patrimonio pubblico, sul supporto agli amministratori ai fini di renderli soggetti gestionali attivi e sullo sviluppo di proposte strategiche nazionali atte a rendere l'impianto ed il servizio energeticamente efficienti, sostenibili e rispondenti alle esigenze dei cittadini.

I task dell'annualità sono:

a. Assessment delle linee guida e degli standard Lumière

Aggiornamento delle Linee Guida Lumière in funzione dell'evoluzione settoriale in campo normativo, tecnologico, gestionale e sociale; analisi delle forme di finanziamento degli interventi legati al conseguimento degli obiettivi previsti dai Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) del Patto dei Sindaci (PDS), in particolare per l'obiettivo IP.

b. Trasferimento al sistema nazionale del Modello di management sviluppato, applicazione ed eventuale perfezionamento dei standard di supporto realizzati

- Coordinamento dei lavori dell'Osservatorio nazionale
- Coinvolgimento diretto delle amministrazioni e supporto all'utilizzo del Modello gestionale sviluppato e dei suoi standard applicativi.
- Organizzazione di 2 giornate di formazione dedicate agli amministratori e tecnici comunali ai fini di coinvolgerli attivamente nei processi di gestione e controllo dei consumi e delle prestazioni degli impianti di IP.
- Promozione, analisi e sviluppo di proposte pre-normative: sviluppo della proposta di Legge Regionale per la Lombardia sull'inquinamento luminoso quale primo passo per l'avviamento di una proposta di legge nazionale sul tema.
- Organizzazione di una giornata dedicata al ruolo della luce nella gestione e valorizzazione del patrimonio urbanistico, architettonico e monumentale.
- Collaborazione e partecipazione al Concorso AIDI "Riprenditi la città".
- Programmazione e perfezionamento dell'iter di inserimento presso le pubbliche amministrazioni della scheda censimento sviluppata con Consip.
- Supporto ai fini della costituzione di unioni di Comuni per la realizzazione di interventi di riqualificazione energetica degli impianti IP.
- Coinvolgimento e trasferimento ai comuni del Patto dei Sindaci della metodologia Lumière
- Partecipazione attiva al coordinamento nazionale del PDS sul tema della IP.
- Coinvolgimento e supporto delle amministrazioni appartenenti al PDS ai fini di supportarli per il conseguimento dell'obiettivo IP: creazione di un DB dei Comuni del Patto dei Sindaci, trasferimento del software per la gestione degli impianti IP e della scheda sviluppata con Consip.

c. Sviluppo di un tool di validazione dell'audit secondo il modello Lumière (CRIET/ENEA)

A valle della standardizzazione del censimento dei dati, il progetto Lumière si concentra sul tema della validazione di audit di impianti illuminotecnici al fine di verificare la qualità dell'intervento progettato in termini di adeguatezza del progetto, la credibilità dei benefici energetici e prestazionali prospettati nell'audit. Il tool ha lo scopo di dare un supporto verso le municipalità, verso i gestori, gli enti finanziatori, gli enti regionali e centrali della PA per la implementazione di policies per il finanziamento di audit. Il tool verrà integrato nel framework sulla certificazione energetica e monitoraggio real time della qualità degli impianti IP sviluppato nel par 2013. In particolare le attività si articoleranno sui seguenti task:

- input dei dati relativi all'intervento previsto dall'audit
- verifica della congruità dei dati di censimento
- analisi di congruità prestazionale della soluzione proposta con le normative vigenti
- verifica delle risparmi energetici attesi a valle dell'intervento menzionati nell'audit
- integrazione nella Piattaforma sviluppata nel par 2013

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività descritte nei punti 1-3
- Prototipo di un "modulo di certificazione dell'audit di impianti IP" (sw) e integrazione nella Piattaforma di certificazione energetica degli impianti IP sviluppata nel par 2013. (Task 3-CRIET/ENEA)
- Realizzazione di 2 giornate formative per gli amministratori per promuovere l'utilizzo del Modello gestionale sviluppato e dei suoi standard applicativi ai fini di un loro coinvolgimento attivo nei processi di gestione dell'impianto e del servizio IP

d. Tecnologie per l'industria del freddo

d.1 Sviluppo di un sistema automatico di monitoraggio dei prodotti alimentari freschi nelle celle frigorifero usate per lo stoccaggio ed il trasporto al fine di ottimizzarne consumi e prestazioni energetiche

Lo sviluppo di un sistema automatico di monitoraggio dei prodotti alimentari freschi avverrà a partire da quanto fatto nei due anni precedenti, utilizzando come punto di partenza i nodi wireless sviluppati da testare con opportune campagne di monitoraggio sui prodotti ortofrutticoli refrigerati grazie al laboratorio allestito ed alla relativa strumentazione per seguire il monitoraggio stesso, in particolare il naso elettronico commerciale (PEN3), l'analizzatore NDIR selettivo per anidride carbonica (ETG) ed infine un rivelatore selettivo e particolarmente sensibile per l'etilene (EDT-300 della SensorSense in grado di misurare da pochi ppb fino a 5 ppm di etilene). Siamo anche attrezzati per il campionamento di volumi opportuni dell'atmosfera della cella refrigerata per analizzarla off-line con tecniche analitiche, quali la gascromatografia e la spettrometria di massa.

L'obiettivo principale è quello di individuare sia la configurazione dell'array di sensori dedicato che la procedura di campionamento che meglio possa svolgere il compito di monitorare lo stato di conservazione dell'ortofrutta nelle celle refrigerate di stoccaggio al fine di ottimizzarne i consumi energetici.

Le campagne di misura potranno essere eseguite in condizioni che si avvicinano a quelle reali avendo a disposizione nel laboratorio oltre alla cella refrigerata da 110 litri anche quella da 4 metri cubi. Inoltre il sistema automatico di campionamento con 6 diversi punti di prelievo consentirà il monitoraggio con il naso elettronico commerciale (PEN3) in diversi punti della cella refrigerata da 4 metri cubi ma anche della cella da 110 litri ed eventualmente della frutta nei contenitori rendendo possibile la valutazione degli effetti sull'evoluzione dello stato di conservazione sia della temperatura che dell'ozono e monitorando online anidride carbonica ed etilene.

I dati dei nodi sensoriali saranno confrontati con i dati del naso elettronico commerciale e degli analizzatori di anidride carbonica ed etilene anche per individuare alcune specifiche situazioni sperimentali di particolare interesse per quel che riguarda eventuali altri composti volatili organici (p.e. etanolo) che possano essere poi analizzati in modo quantitativo. Tali test saranno supportati da analisi gas cromatografica in spettrometria di massa (GC/MS) previa micro-estrazione in fase solida.

Punti critici nello sviluppo di un sistema automatico di monitoraggio sono stati principalmente l'elevato consumo energetico dei sensori ad ossido metallico da un lato e la difficoltà di definire opportunamente il sistema di campionamento dell'atmosfera dall'altro. Verrà conseguentemente portato avanti il lavoro di sviluppo dei nodi sensoriali e dell'array di sensori dedicato al monitoraggio dell'atmosfera delle celle refrigerate sia a livello del software di visualizzazione ed analisi dei dati dei singoli sensori che a livello dell'hardware, provando diverse combinazioni dei singoli sensori da montare sulla piattaforma Libelium e diverse modalità di distribuzione dei nodi sensoriali stessi. Grazie alla collaborazione con il Gruppo Sensori dell'Università di Roma Tor Vergata, sarà possibile allestire il laboratorio durante le campagne di monitoraggio anche con i loro nasi elettronici. Inoltre si valuterà nel corso della sperimentazione la possibilità e l'opportunità di implementare alcuni dei sensori sviluppati dallo stesso Gruppo di Tor Vergata nei nostri nodi sensoriali che al momento possono montare solo sensori commerciali a ossidi metallici o elettrochimici (p.e. sensore per O₂). I sensori sviluppati dal Gruppo Sensori a Tor Vergata sono tipicamente basati su film sensibili che lavorano anche a temperatura ambiente usando come trasduttore un quarzo oscillante. La trasduzione in massa consente di valutare una classe più ampia di materiali sensibili che tipicamente possono lavorare bene anche a basse temperature e quindi non implicano elevati consumi energetici solo per il riscaldamento del singolo sensore.

L'altro punto critico nello sviluppo di un sistema automatico di monitoraggio è definire il campionamento dell'atmosfera all'interno della cella frigorifero carica di prodotti alimentari. Un naso elettronico tradizionale come il PEN3 deve infatti gran parte del suo costo di sviluppo alla definizione del sistema di campionamento. Date le caratteristiche della "open platform" da noi utilizzata, prezzo contenuto del

singolo nodo sensoriale e possibilità di elaborazione e trasmissione dei dati anche tra i vari nodi, allestiremo molti nodi sensoriali da utilizzare nelle campagne di monitoraggio per ottimizzarne numero, posizione e tipologia di comunicazione anche in funzione del sistema di campionamento compatibile con la situazione sperimentale di interesse.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività.

Principali collaborazioni: Università Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Elettronica.

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

d.2 Utilizzo dei materiali a cambiamento di fase (PCM) per l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche e qualitative delle celle frigorifero usate per lo stoccaggio e trasporto di prodotti alimentari freschi

I primi due anni di ricerca sono stati imperniati sull'indagine di valutazione del risparmio energetico per la refrigerazione delle celle frigorifere utilizzando uno strato di PCM (Phase Change Material) all'interno della parete di involucro della cella stessa, generalmente costituita da uno strato omogeneo di materiale isolante (poliuretano espanso). Per assorbire il calore entrante dall'ambiente esterno, come somma dei contributi associati all'assorbimento della radiazione solare da parte della superficie esterna dell'involucro e al flusso termico entrante per differenza di temperatura tra l'aria ambiente e quella refrigerata all'interno della cella, il PCM è stato posizionato nella parte più esterna della parete di involucro al fine di creare uno scudo termico. In questo modo il risparmio energetico derivante dallo sfasamento temporale del flusso entrante per effetto dell'inerzia termica introdotta dal PCM risulta mediamente del 12%. Questo risultato, confermato sia dalle indagini numeriche che da quelle sperimentali, sembra essere lusinghiero, visto l'elevato grado di efficienza raggiunto dai sistemi frigoriferi in genere.

A questo punto si ritiene di poter ancor più efficacemente aumentare il grado di efficienza delle celle frigorifere per il trasporto di prodotti alimentari freschi utilizzando opportunamente i materiali a cambiamento di fase anche all'interno della cella frigorifero. La logistica e distribuzione dei prodotti alimentari freschi è criticamente dipendente dalla qualità ed efficienza della catena del freddo nel suo complesso per cui anche piccoli miglioramenti in termini energetici o qualitativi possono avere un notevole peso finale se effettuati su punti critici della catena stessa.

Nel terzo anno di attività si intende verificare il beneficio derivante dalla presenza di strati di PCM posizionati nel vano interno della cella, sia come parte integrante delle pareti di involucro, sia installato all'interno di una intercapedine ventilata in corrispondenza dell'evaporatore della macchina frigorifera, con la finalità di ottenere il passaggio di stato (dalla fase liquida a quella solida) alle basse temperature della cella. In questo modo è possibile far funzionare la macchina frigorifera durante i periodi di basse temperature esterne ed assenza di radiazione solare, come i periodi notturni portando così all'incremento dell'efficienza dell'apparato frigorifero in quanto il ciclo termodinamico di funzionamento della macchina richiede un minore lavoro di compressione del gas frigorifero con il conseguente abbassamento del consumo elettrico.

L'introduzione di PCM all'interno del volume delle celle frigorifere può inoltre contribuire sensibilmente alla stabilizzazione delle temperature interne, sia dell'aria sia della media radiante, offrendo vantaggi qualora la merce trasportata richieda l'instaurazione di temperature interne più stabili. Il PCM applicato all'interno della cella frigorifera funziona da volano termico in grado di assorbire e rilasciare calore in funzione della temperatura interna. Tale funzionamento stabilizza la temperatura dell'aria interna, riducendone la variazione repentine dovute principalmente ai cicli di accensione e spegnimento della macchina frigorifera, all'apertura della cella oppure derivanti dal calore generato dai prodotti trasportati.

Infatti nel comparto agricolo il processo di refrigerazione è quello che comporta la maggiore richiesta di energia rispetto alle altre fasi di lavorazione. I vegetali trasportati emettono calore che fa aumentare il costo energetico per il raffreddamento e può determinare gradienti di temperatura interni che potrebbero incidere sulla omogeneità di maturazione dei vegetali stessi.

Tale aspetto può essere di aiuto anche al fine di coprire eventuali malfunzionamenti temporanei della macchina frigorifera, causati anche da black-out. In questo caso si può garantire un periodo di tempo all'interno del quale il PCM raffreddato può assorbire il calore in eccesso, assorbendolo sotto forma di

calore latente senza modificare la propria temperatura e mantenendo inalterata quella dell'aria nella cella frigorifera.

Si ipotizza, inoltre, uno studio dettagliato riguardante l'integrazione del PCM posto all'interno della cella con i ventilatori dell'evaporatore della macchina frigorifera, che potrebbe portare notevoli benefici, in particolare:

- la stabilizzazione della temperatura di fuoriuscita del flusso d'aria, che se troppo bassa o alta può determinare un deterioramento o congelamento della merce direttamente esposta all'aria;
- l'incremento e il controllo dello scambio termico convettivo del PCM con l'ambiente refrigerato passando da naturale a forzato e con la possibilità di controllo al fine di stabilizzare la temperatura;
- la corretta distribuzione delle temperature dell'aria all'interno dell'ambiente al fine di evitare fenomeni di stratificazione.

La presenza di uno strato uniforme di PCM sulla superficie interna delle pareti di involucro viene pensata inoltre per assorbire i carichi sensibili latenti derivanti dalla presenza di sostanze da refrigerare che producano calore durante il trasporto. C'è inoltre da considerare che, visti i livelli di temperatura dell'interno delle celle, i PCM utilizzati sono sostanze molto economiche e di facile reperibilità, non dovendo ricorrere a produttori specializzati del settore.

Al fine di valutare l'impatto dell'utilizzo del PCM sul consumo energetico e la qualità dell'ortofrutta stoccata nelle celle frigorifere verranno condotte campagne sperimentali con diversi tipi di ortofrutta monitorando sia il consumo elettrico della cella stessa che i parametri chimico-fisici indicativi dello stato di conservazione dell'ortofrutta. Sarà inoltre possibile testare in queste campagne il tool di calcolo sviluppato dall'Università Politecnica delle Marche, il tool darà come output il tipo di PCM da inserire nello speciale vano all'interno della cella e le dimensioni del sistema di contenimento al fine di mantenere la temperatura costante nella cella, qualunque sia la natura del vegetale inserito e determinare elevati coefficienti di prestazione del gruppo frigo durante le diverse fasi del trasporto.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività

Principali collaborazioni: Politecnica delle Marche, Dip. IISM

Durata: ottobre 2014-settembre 2015

e. Recupero elementi pregiati presenti nei RAEE

e.1 Sviluppo di processi ecoinnovativi per il recupero di metalli ad elevato valore aggiunto da RAEE

In questa linea di attività si estenderanno le competenze già acquisite relative al recupero di metalli ad elevato valore aggiunto da prodotti elettrici ed elettronici a fine vita (RAEE- Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche). In particolare, il processo idrometallurgico già sviluppato da UTTAMB per il recupero di oro, argento, rame, piombo, stagno da schede elettroniche (Brevetto ENEA n. IT RM20130549) sarà esteso al recupero di palladio e si verificherà la possibilità di valorizzare altre frazioni di materiali di potenziale interesse. Di seguito si illustrano sinteticamente le fasi di studio programmate:

Il recupero del Palladio da schede elettroniche

L'applicazione del processo brevettato sopra menzionato a schede elettroniche provenienti da computer permette di selezionare una frazione solida relativamente ricca in Palladio; per definire un processo di recupero e purificazione del Palladio sarà necessario:

- caratterizzare la matrice attraverso mineralizzazione a microonde e successive analisi chimiche tramite metodi spettrofotometrici (ad es. AAS, MPAES, ICP)
- determinare la cinetica e le migliori condizioni di dissoluzione della matrice variando i vari parametri chimici e chimico-fisici quali ad esempio la natura del lisciviante, la relativa concentrazione, il rapporto solido/liquido e la temperatura.
- valutare la selettività e l'efficacia dell'estrazione con solvente per il recupero e la purificazione del Palladio dalla dissoluzione sopra descritta
- studiare un metodo di riduzione/cementazione del palladio separato e purificato

Ancora si cercherà di definire in questa linea di attività un processo basato su tecnologie idrometallurgiche per il recupero di terre rare da lampade a fluorescenza e da magneti permanenti provenienti da Hard Disk:

Il recupero di metalli e terre rare da Lampade a Fluorescenza

Il rifiuto da studiare è costituito da lampade fluorescenti esauste, contenenti vetro, metalli e terre rare; allo scopo di recuperare e riciclare tali materiali, sarà necessario:

- caratterizzare la matrice attraverso mineralizzazione a microonde e successive analisi chimiche tramite metodi spettrofotometrici (ad es. AAS, MPAES, ICP)
- determinare la cinetica e le migliori condizioni di dissoluzione della matrice variando i vari parametri chimici e chimico-fisici quali ad esempio la natura del lisciviante, la relativa concentrazione, il rapporto solido/liquido e la temperatura
- valutare la selettività e l'efficacia delle seguenti tecniche di separazione e purificazione per il recupero dei metalli e delle terre rare dalla dissoluzione sopra descritta:
 - tecniche elettrochimiche (parametri V, A, pH, conc. ...)
 - precipitazione frazionata (prodotto di solubilità, pH, conc., T)
 - estrazione con solvente (rapporto liquido/liquido, rapporto molare estraente/analita, pH, T)
 - riduzione/cementazione delle terre rare separate e purificate

Il recupero di metalli e terre rare da Magnet permanenti

Il rifiuto da studiare è costituito da magneti permanenti provenienti dal disassemblaggio manuale di Hard Disk di personal Computer a fine vita, contenenti metalli e terre rare. Allo scopo di recuperare e riciclare tali materiali, sarà necessario:

- caratterizzare i magneti attraverso mineralizzazione a microonde e successive analisi chimiche tramite metodi spettrofotometrici (ad es. AAS, MPAES, ICP)
- determinare la cinetica e le migliori condizioni di dissoluzione della matrice variando i vari parametri chimici e chimico-fisici quali ad esempio la natura del lisciviante, la relativa concentrazione, il rapporto solido/liquido e la temperatura.
- valutare la selettività e l'efficacia delle seguenti tecniche di separazione e purificazione per il recupero dei metalli e delle terre rare dalla dissoluzione sopra descritta:
 - precipitazione frazionata (prodotto di solubilità, pH, conc., T)
 - estrazione con solvente (rapporto liquido/liquido, rapporto molare estraente/analita, pH, T)

Tutte le attività sopra descritte includeranno una valutazione sulla produzione dei reflui prodotti ed uno studio del loro trattamento. Sarà inoltre verificata la possibilità di progettazione di impianti dimostrativi e/o industriali sulla base dei processi studiati, valutati su scala banco.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico relativo ai risultati conseguenti lo sviluppo di processi eco-innovativi per il recupero di metalli ad elevato valore aggiunto da RAEE (Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche)

Principali collaborazioni: Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica dell'Università Politecnica delle Marche; Università La Sapienza (Dipartimento di Chimica)

Durata: ottobre 2014-settembre 2015

e.2 Recupero di materiali ad elevato valore aggiunto da AEE

L'obiettivo di questa linea di attività è la valutazione della fattibilità del recupero di elementi pregiati da AEE (Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche) di ultima generazione. Le attività comprenderanno uno studio preliminare sullo stato dell'arte del recupero di elementi pregiati da prodotti elettrici ed elettronici di recente introduzione sul mercato (LED, OLED), che entreranno nella filiera dei RAEE nell'arco di qualche anno.

La promozione dell'illuminazione LED a risparmio energetico è un obiettivo prioritario dell'Agenda digitale europea ed è stato previsto che, nei prossimi anni circa 8 miliardi di lampadine a incandescenza nelle case, negli uffici e nelle strade d'Europa dovranno essere sostituite con forme di illuminazione più efficienti dal punto di vista energetico. Tra queste figurano le tecnologie LED e OLED (LED organico), note anche come Solid State Lighting (SSL), che offrono sia illuminazione di alta qualità che rendimento visivo, oltre a

soluzioni estetiche sempre più raffinate. Grazie a queste caratteristiche, i LED (Light Emitting Diodes), hanno trovato enorme diffusione commerciale nell'arco di poco tempo e sono utilizzati in numerosi prodotti elettronici. Alcune applicazioni più comuni sono:

- telecomandi a infrarossi;
- indicatori di stato (lampadine spia);
- retroilluminazione di display LCD (pc, tv, cellulari);
- semafori stradali;
- dispositivi luminosi obbligatori di autovetture e motocicli;
- lampeggianti dei veicoli d'emergenza di ultima generazione (ambulanze, carabinieri, polizia, ecc.);
- cartelloni a messaggio variabile;
- Illuminazione.

Le prestazioni dei LED dipendono dall'utilizzo di composti che contengono materie prime strategiche quali gallio, indio e terre rare. La sempre più elevata diffusione dei LED comporterà nel breve-medio termine un aumento delle necessità di approvvigionamento di gallio, indio e terre rare per rispondere alle esigenze di una produzione che sta aumentando in maniera esponenziale. Tuttavia l'approvvigionamento di questi elementi presenta notevoli criticità in quanto la loro estrazione primaria è limitata ad alcuni Paesi nel mondo, che ne detengono il monopolio commerciale (Cina, soprattutto). I LED a fine vita possono diventare una ottima risorsa di materie prime strategiche, tuttavia al momento non esistono tecnologie già sviluppate per il recupero di materiali ad elevato valore aggiunto da LED.

Analogo discorso può essere fatto nel caso degli OLED (Organic Light Emitting Diodes), per la cui produzione è necessario l'utilizzo di ITO (IndiumTinOxide). La diffusione commerciale degli OLED è ancora piuttosto limitata ma è prevedibile una crescita di applicazioni nei prossimi anni; dunque, anche nel caso degli OLED, i prodotti a fine vita costituiranno una ottima opportunità per recuperare materie prime strategiche quali l'indio.

Lo studio che sarà condotto durante questo anno comprenderà la valutazione del fine vita dei prodotti in termini di filiera e di potenzialità.

Inoltre sarà effettuato uno studio sullo stato dell'arte relativo ai processi di recupero di materiali da LED. Lo studio comprenderà una ricerca bibliografica su riviste scientifiche nazionali ed internazionali. Sarà inoltre effettuata una ricerca finalizzata all'individuazione di progetti finanziati a livello Europeo (FP7, Horizon 2020, Life, CIP Ecoinnovation) relativi al recupero di elementi pregiati da LED e OLED.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo studio preliminare per il recupero di materiali ad elevato valore aggiunto da AEE di ultima generazione.

Principali collaborazioni: Non sono previste collaborazioni

Durata: ottobre 2014-settembre 2015

f. Realizzazione di una facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza

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 1000 kW) e definisce i parametri per una nuova classe di rendimento (IE4).

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.

Dunque, l'obiettivo di questa linea di attività mira a realizzare una facility predisposta appositamente per la verifica dei motori elettrici sul mercato e il supporto alla sperimentazione di nuovi sistemi ad alta efficienza.

f.1 Analisi di mercato e definizione delle specifiche

In questa prima fase verrà definito il campo di applicazione sulla quale la facility dovrà operare, definendo delle specifiche per i motori che potranno essere testati.

A tal proposito la IEC 60034-30-1:2014 è applicabile per motori con le seguenti caratteristiche:

- motori elettrici a velocità singola (mono e trifase), 50 e 60 Hz;
- 2, 4, 6 o 8 poli;
- potenza nominale compresa tra 0,12 kW e 1000 kW
- tensione nominale superiore a 50 V fino a 1 kV
- motori in grado di operare in servizio continuativo alla rispettiva potenza nominale con sovratemperatura che rientri nei limiti della specifica classe di isolamento termico
- motori marcati con range di temperatura ambiente compreso tra -20° C e +60° C
- motori marcati con altitudine massima di 4000 m sul livello del mare.
- I seguenti motori non sono inclusi nello standard IEC 60034-30-1:2014
- motori a velocità singola a 10 o più poli o motori a più velocità
- motori totalmente integrati in una macchina (ad esempio pompe, ventilatori o compressori) che non possono essere testati separatamente dalla macchina
- motori elettrici autofrenanti, se il freno non può essere smontato o alimentato separatamente.

Mentre il regolamento 2009/640/CE, essendo basato sulla IEC 60034-30:2008, definisce come massima classe di rendimento la IE3 inoltre, il campo di applicazione del suddetto regolamento include soltanto i motori a induzione a gabbia, monovelocità e trifase, con una frequenza di 50 Hz o 50-60 Hz che abbiano:

- tensione nominale fino a 1.000 V;
- potenza nominale compresa tra 0,75 kW e 375 kW;
- da 2 a 6 poli;
- Per servizio continuo.

Vista la discrepanza a livello normativo e legislativo si rende necessario effettuare una analisi di mercato con l'obiettivo di individuare una gamma di motori sul quale indirizzare la ricerca e sviluppo in modo da avere un riscontro immediato e massimizzare l'impatto sull'efficientamento energetico globale.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti

Principali collaborazioni: ANIE Energia

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

f.2 Progettazione e approvvigionamento delle componenti della facility

Sulla base dei risultati ottenuti in precedenza in questa fase si procederà alla progettazione delle componenti della facility tenendo conto non solo della gamma dei motori interessati ma anche delle

metodologie di misura necessarie, infatti, i motori che vengono contrassegnati in base al sistema di classe di rendimento della IEC 60034-30-1:2014 (Codice IE) devono essere sottoposti a prova utilizzando i nuovi metodi di misura definiti nella IEC 60034-2-1:2007 (aggiornata alla IEC 60034-2-1:2014). Questi metodi consentono di ottenere dati più precisi sulle perdite addizionali a carico.

Infine, fase verranno reperiti i materiali necessari per la messa in opera della facility e verranno sviluppate tutte le operazioni necessarie all'installazione e collaudo della stessa.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Principali collaborazioni: Università dell'Aquila, ANIE Energia

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

g. Analisi di soluzioni tecniche per l'efficientamento dei processi produttivi nelle PMI

g.1 Valutazione dell'impatto potenziale dell'implementazione di audit energetico nelle PMI del settore industria

L'obiettivo di questa linea di attività è la valutazione dell'impatto potenziale derivante dall'implementazione di audit energetici all'interno di PMI del settore industriale, in termini di risparmio energetico e costi da sostenere per l'esecuzione dei necessari interventi di efficientamento.

Come noto, l'art. 8 della Direttiva Efficienza Energetica relativo a *Audit energetici e sistemi di gestione dell'energia*, prevede al comma 2 che "gli Stati membri elaborano programmi intesi ad incoraggiare le PMI a sottoporsi a audit energetici e favorire la successiva attuazione delle raccomandazioni risultanti da tali audit". Il comma 9 dell'art. 8 del Decreto Legislativo 102/2014 che recepisce la citata Direttiva nell'ordinamento italiano, prevede che entro il 31 dicembre 2014 sia pubblicato un "bando per il cofinanziamento di programmi presentati dalle Regioni finalizzati a sostenere la realizzazione di diagnosi energetiche nelle PMI o l'adozione nelle PMI di sistemi di gestione conformi alle norme ISO 50001".

La promozione di strumenti di informazione e di analisi dei consumi all'interno delle PMI rappresenta quindi un obiettivo preliminare prioritario per il perseguimento dei citati obiettivi, al fine di facilitare e rendere maggiormente efficace l'effettiva implementazione dell'audit energetico, nonché per avere contezza dell'ordine di grandezza dei risparmi energetici effettivamente conseguibili e dei relativi costi da sostenere.

Facendo seguito al secondo degli obiettivi menzionati, si farà riferimento ad un campione di 100 imprese italiane che, nell'ambito del progetto *CEEM - Central Environmental and Energy Management as a kit for survival* (<http://www.friulinnovazione.it/progetti/ceem>), oltre ad aver già partecipato ad azioni di sensibilizzazione e formazione rivolte ai manager e agli intermediari economici delle regioni italiane coinvolte (Provincia Autonoma di Trento e Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia), hanno anche eseguito l'autodiagnosi delle proprie performance energetiche ed ambientali tramite il tool informatico *3EMT*, sviluppato dal progetto stesso. Tale software permette il benchmarking tra le aziende europee che gratuitamente e liberamente utilizzano il tool per il pre-audit e consente l'elaborazione automatica di un report finale, completo di una strategia personalizzata di miglioramento della performance energetica ed ambientale.

Questa linea di attività prevede l'analisi puntuale dei report elaborati per le 100 imprese italiane, suddivise per comparto, delineando le principali tipologie di intervento di efficientamento previste, il risparmio energetico conseguibile, nonché una valutazione dei costi da sostenere e dei relativi strumenti finanziari cui poter fare ricorso, sia a livello nazionale sia a livello locale.

Tale analisi sarà completata da una valutazione complessiva degli interventi di efficientamento suggeriti dai report personalizzati scaturiti dall'autodiagnosi delle oltre 400 imprese degli altri paesi europei (Austria, Slovenia, Ungheria, Repubblica Ceca) che hanno partecipato al progetto CEEM, in termini di risparmi energetici potenziali, costi attesi e, in particolare, strumenti finanziari a disposizione, al fine di fornire anche un confronto internazionale dell'impatto potenziale di audit energetici all'interno delle PMI dell'industria.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti

Principali collaborazioni: Università di Udine

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

g.2. Redazione di studi di settore per comparti industriali

Gli usi energetici nelle attività industriali sono tipologicamente noti quando intesi come componente dei fattori di produzione, insieme alle materie prime, il personale, la tecnologia, ecc.

La loro quantificazione tuttavia pone problemi spesso irrisolti. In termini di fabbisogno teorico, ogni processo produttivo può senz'altro esibire un dato ben definito. Quando si passa dal laboratorio al processo industriale la questione si complica molto per una serie di motivi: perdite energetiche, irreversibilità, irrazionalità gestionali, modifiche nei tempi e nelle modalità di produzione, ecc. possono far aumentare di molto il consumo specifico rispetto al valore teorico.

Le basi di dati reperibili in letteratura spesso scontano lo scarso aggiornamento, la non rappresentatività, la genericità. Gli stessi dati presenti sui rapporti Bref-Bat reference documents, prodotti nell'ambito della direttiva IPPC, seppur validati a livello EU, spesso mostrano campi di variabilità troppo elevati, e sono troppo sito-specifici per poter essere utilizzati al fine di pianificare attività di razionalizzazione energetica nei diversi comparti industriali sul territorio nazionale.

Considerata l'attenzione che il D.Lgs. 102/04 dedica all'efficienza energetica nelle attività produttive, sarebbe auspicabile poter disporre di informazioni di dettaglio sui vari cicli di processo associati ai consumi energetici delle singole fasi produttive, allo scopo di individuare gli aspetti più energivori ed orientare in tal modo una politica settoriale di riduzione dei consumi.

Si propone quindi la redazione di studi di settore per diversi comparti industriali caratterizzati da alti consumi energetici specifici nei relativi cicli produttivi, con descrizione del processo, lo stato dell'arte tecnologico, le opportunità di razionalizzazione energetica, il potenziale di risparmio esteso al territorio nazionale. Si potranno utilizzare dati ed informazioni contenuti nella banca dati finora sviluppata nell'ambito dell'attività sui certificati bianchi. I rapporti saranno elaborati in cooperazione con le rispettive associazioni industriali, con Esco, professionisti del settore, produttori di macchinari, ecc.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente la descrizione delle attività svolte e dei risultati raggiunti.

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

h. Comunicazione e diffusione attività e risultati

Al fine di dare ampia comunicazione dei risultati ottenuti, oltre alla diffusione dei rapporti di ricerca realizzata attraverso il sito istituzionale, dal quale saranno resi scaricabili i deliverables, sono previste e programmate numerose altre iniziative di disseminazione. Le principali azioni di diffusione e comunicazione riguarderanno principalmente:

- pubblicazioni ed articoli sulla stampa, generica e specializzata;
- elaborazione dei rapporti tecnici, che riportano informazioni e dettagli di grande importanza, ma destinati a un pubblico ristretto di tecnici e specialisti del settore ed in parallelo la diffusione di testi e strumenti informativi destinati ad un pubblico più vasto e ad esso più accessibili ;
- organizzazione di eventi (workshop, seminari, manifestazioni espositive) il più possibile distribuiti sul territorio nazionale, sia per illustrare i risultati nella loro totalità, che 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 via di comunicazione dei risultati sarà rappresentata dalle riunioni con i gestori e gli operatori, dall'organizzazione di convegni e seminari didattici rivolti a associazione di categoria e/o professionali.

Infine, come ulteriore strumento di scambio di risultati si segnala la attività di ricerca attraverso la partecipazione al gruppo di lavoro denominato Annex 54 dell' IEA ("Sistemi ibridi di micro-cogeneratori negli edifici") e le attività presso l'organizzazione internazionale EERA sul tema "smart grid" e "smart cities"(di cui ENEA ha il coordinamento), 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 elaborato, tecnico e a carattere divulgativo sarà reso disponibile sul sito ENEA e tutti i canali e le iniziative previsti nel piano, finalizzati a creare interesse e coinvolgimento, rimanderanno al sito web gli interlocutori interessati a informazioni di dettaglio.

Risultati/Deliverable:

- Relazione sintetica di presentazione delle principali attività di diffusione.

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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	Reti di poligenerazione									
	a.1 Realizzazione e ottimizzazione della piattaforma ENSim per la simulazione di reti termiche in assetto poligenerativo	2200	77	46	0	12	0	4	35	174
	a.2 Analisi di scenari di efficientamento di aree territoriali mediante lo sviluppo di reti termiche locali in assetto poligenerativo valutandone i risparmi energetici ed economici	2100	74	44	6	5	0	4	40	173
	a.3 Trasformazione di reti di teleriscaldamento esistenti in reti poligenerative con presenza di scambio attivo	2100	74	44	8	5	0	7	85	223
	<i>Subtotale Ob.a</i>	6400	225	134	14	22	0	15	160	570
b	Gestione ottimale di rete di edifici									
	b.1 Implementazione ed applicazione alla rete di edifici dei modelli diagnostici, controllo ed ottimizzazione	2450	86	51	0	20	0	0	103	260
	b.2 Sviluppo di metodologie in ottica 'smart district'	2400	84	50	0	0	0	6	40	180
	b.3 Le tecnologie locali integrate per abilitare le "smart building network"	2430	85	51	50	0	0	0	0	186
	<i>Subtotale Ob.b</i>	7280	255	152	50	20	0	6	143	626
c	Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione del settore civile									
	c.1 Strutture OLED con materiali di sintesi innovativa	450	15	9	0	10	0	0	40	74
	c.2 Progettazione e sperimentazione di installazioni efficienti a LED	2920	102	61	20	48	0	5	95	331
	c.3 Progetto Lumiere: sviluppo del progetto Osservatorio e del tool di monitoraggio degli impianti riqualificati	2300	81	48	0	0	0	4	40	173
	<i>Subtotale Ob.c</i>	5670	198	118	20	58	0	9	175	578
d	Tecnologie per l'industria del freddo									
	d.1 Caratterizzazione mediante naso elettronico commerciale, dell'atmosfera interna della cella frigorifera caricata con ortofrutta fresca	2184	76	45	5	7	0	13	25	171
	d.2 Ottimizzazione e caratterizzazione di pannelli sandwich contenenti <i>Materiali a Cambiamento di Fase</i> (PCM) per la realizzazione di celle frigorifere per il trasporto ferroviario	2185	77	45	0	12	0	7	25	166
	<i>Subtotale Ob.d</i>	4369	153	90	5	19	0	20	50	337
e	Recupero elementi pregiati presenti nei RAEE									
	e.1 Sviluppo di processi ecoinnovativi per il recupero di metalli ad elevato valore aggiunto da RAEE	6650	234	140	0,5	20	0	4	100	499
	e.2 Recupero di materiali ad elevato valore aggiunto da AEE	750	26	15	0	0	0	1	0	42
	<i>Subtotale Ob.e</i>	7400	260	155	0,5	20	0	5	100	541
f	Realizzazione di una facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza									
	f.1 Analisi di mercato e definizione delle specifiche	3120	109	65	0,5	0	0	2	30	207
	f.2 Progettazione e approvvigionamento delle componenti della facility	1890	66	39	0	60	0	2	0	167
	<i>Subtotale Ob.f</i>	5010	175	104	0,5	60	0	4	30	374
g	Analisi di soluzioni tecniche per l'efficientamento dei processi produttivi nelle PMI									
	g.1 Valutazione dell'impatto potenziale dell'implementazione di audit energetico nelle PMI del settore industria	1476	52	31	0	0	0	3	37	123
	g.2 Redazione di studi di settore per comparti industriali	1450	51	30	0	0	0	3	0	84
	<i>Subtotale Ob.g</i>	2926	103	61	0	0	0	6	37	207
h	Comunicazione e diffusione dei risultati	1188	41	24	0	0	0	3	0	68
	TOTALE	40243	1410	838	90	199	0	68	695	3300

* 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

1. Elenco delle principali attrezzature da acquisire nel PAR 2014 e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a	Quote di ammortamento PAR 2012 e 2013	--	14000	Non esclusivo
a	Misuratori di calore	6000	200	Non esclusivo
a	Sensoristica termica	2500	200	Non esclusivo
b	Sviluppo smart energy box (prototipo 100%)	50000	50000	Esclusivo
c	Quote di ammortamento PAR 2012 e 2013	--	9700	Non esclusivo
c	5 Riflettori per prototipo Humblee	8000	8000	Esclusivo
c	Flickrometri e supedimmer	2000	2000	Esclusivo
d	Sensori di acquisizione	3000	200	Non esclusivo
e	Cella elettrolitica	20000	100	Non esclusivo
e	Macinatore	10000	100	Non esclusivo
e	Forno a induzione	20000	100	Non esclusivo
e	Separatore correnti indotte	40000	100	Non esclusivo
e	XRF per caratterizzazione materiali eterogenei	20000	100	Non esclusivo
f	Banco attivo modello ACM/L/4500/180	85000	200	Non esclusivo
f	Strumento Resistance Meter per rilievo DT	6000	100	Non esclusivo
f	Strumento ohmetro per misura resistenza avvolgimenti	4000	100	Non esclusivo
f	Strumento Capacimetro	2000	100	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	Rinnovo licenza DigSilent	5000
a	Librerie e Tool software (Real time Simulink)	6000
a	Rinnovo licenza sofMcubo	5000
a	Componenti elettronici	3000
a	Convertitori Modbus/TCI IP	3000
b	Manutenzione sw per gestione sistemistica grid	20000
c	Materiale LED	10000
c	Licenza software en15193	22000
c	Licenza software x GIS	3000
c	Materiale consumo e installazione prototipo "Coelo"	4000
c	Indagine mercato illuminazione	3000
c	Licenze oxytech	9000
c	Manutenzione strumenti	5000
c	Materiale elettronico vario	3000
d	Mass flow controller con relativa unità di lettura, elettrovalvole e componenti elettronici	7000
d	Varie tipologie di PCM e sistemi di contenimento,	2000
d	Materiale elettronico di consumo	1000
e	Modulo per dissoluzione in acqua regia	30000
e	Standard, acidi minerali, basi, estraenti, liscivianti, solventi	20000
f	Alimentatore elettronico mod. HPS100kVA	34000
f	Allestimento BASE chiavi in mano	33000

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

Non è previsto alcun servizio 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	<p>Politecnico di Torino, Dipartimento Energia - Calibrazione e validazione della piattaforma ENSim con i dati acquisiti dal monitoraggio di una rete reale.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>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.</p>	35
a.2	<p>Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica - Validazione di indicatori exergetici per l'identificazione delle performance poligenerative</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>Pluriennale esperienza del Dipartimento DIAEE in materia di modelli di studio e analisi simulativa di sistemi complessi. Competenza in ambito di analisi exergetica di reti energetiche, comprovata dal supporto fornito durante il PAR 2013.</p>	20
a.2	<p>Università di Palermo Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici (DEIM) - Analisi della richiesta termica delle isole minori finalizzata all'ipotesi di efficientare il sistema di generazione elettrico tramite l'adozione di sistemi trigenerativi a servizio di nuove reti termiche</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>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 approfondito in particolare 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> <p>Il DEIM offrirà la possibilità di analizzare le richieste termiche dei contesti territoriali energeticamente svantaggiati come le isole minori non connesse al fine di valutare la possibilità di migliorare l'efficienza degli obsoleti gruppi diesel tramite l'integrazione di reti termiche.</p>	20
a.3	<p>Seconda Università di Napoli, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Caratterizzazione in campo di misuratori di grandezze caratteristiche di utenze elettriche, da installare presso campus/laboratorio universitario</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>La scelta del Dipartimento è stata motivata dalla pluriennale esperienza dello stesso in materia di misure elettriche; in particolare, il Dipartimento ha consolidate competenze scientifiche e tecnologiche nel settore delle metriche e delle tecnologie di misura sui sistemi elettrici, con specifico riferimento all'analisi, determinazione e misura certificata e riferibile delle caratteristiche dell'energia elettrica fornita, e ai relativi indici di qualità.</p>	30
a.3	<p>Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Analisi di reti termiche reali finalizzata alla progettazione di sottostazioni d'utente con scambio attivo ottimizzata per tipologia di fonte distribuita-</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>Pluriennale esperienza del Dipartimento DIN in materia di integrazione di sistemi cogenerativi innovativi di piccolissima 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 simulare una rete di teleriscaldamento reale valutando gli effetti termici ed energetici generati dalla presenza di utenti attivi con diversa fonte di generazione individuando soluzioni progettuali che consentono la sostituzione di una sottostazione di utente reale con sistemi bidirezionali che consentono o scambio attivo con la rete, di particolare interesse scientifico vista l'integrazione dei servizi apportati ad una rete reale con soluzioni ancora non adottate sul territorio nazionale (scambio attivo).</p>	30
a.3	<p>Università di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica - Definizione di specifiche per misuratori certificati nell'ambito delle reti di poligenerazione</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>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 aspirazione 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>	25
b.1	<p>Politecnico di Torino, Dipartimento Energia - Validazione e benchmarking dati energetici rete di edifici, implementazione diagnostica energetica su rete di edifici reale, sviluppo nuovi algoritmi di rilevazione delle anomalie.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>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</p>	55

b.1	<p>Università di Roma Tre, Dipartimento di ingegneria - Implementazione di : diagnostica a basso livello (anomalie sensori) , algoritmi di controllo utenze energetiche su rete di edifici reale, ottimizzazione consumi su edificio reale, previsione dati meteo.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> 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>	48
b.2	<p>Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche - Calibrazione simulatore rete di edifici ed integrazione con algoritmi di ottimizzazione, implementazione preliminare di smart district, implementazione dynamic pricing</p> <p><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.</p>	40
c.1	<p>Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Scienze Chimiche - Sintesi di molecole fosforescenti innovative e loro applicazione in dispositivi luminescenti OLED</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Napoli "Federico II" è coinvolto quale Istituto Universitario nazionale competente nel settore della sintesi organica. Il Responsabile proposto per l'Accordo di Collaborazione è la Dr Paola Manini che vanta un'esperienza riconosciuta sia a livello nazionale che internazionale nella sintesi, caratterizzazione e studio delle proprietà di sistemi eterociclici. In particolare la Dr Manini ha già collaborato con ENEA nelle scorse annualità, durante le quali ha sintetizzato e nuovi derivati a scheletro trazatruxenico e ne ha studiato le proprietà optoelettroniche per applicazioni in dispositivi OLED.</p>	40
c.2	<p>Università di Milano, Dipartimento di Informatica - Studio sulle variazioni locali dell'indice di resa cromatica e approcci per sue possibili modellizzazioni.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il dipartimento di Informatica dell'Università di Milano è coinvolto quale Istituto Universitario nazionale competente nel settore dello studio del colore. Il Responsabile proposto per l'Accordo di collaborazione è il prof.re Alessandro Rizzi, riconosciuto a livello nazionale ed internazionale come esperto sulla percezione del colore, sul colore ed imaging digitale. Recentemente è stato nominato segretario della Divisione 8 – Image Technology della CIE Internazionale, oltre ad essere membro della stessa divisione 8 per la CIE Italia.</p>	15
c.2	<p>Università Sapienza di Roma, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica - Approfondimento sperimentale sulla capacità delle nuove sorgenti di illuminazione artificiale LED di influenzare il ciclo circadiano.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il dipartimento DIAEE di Roma Sapienza è coinvolto quale Istituto Universitario nazionale competente nel settore dello studio degli effetti dell'illuminazione artificiale sulla risposta di soggetti umani in termini di vigilanza e attenzione. Il Responsabile proposto per l'Accordo di collaborazione è l'ing. Fabio Bisegna, ricercatore di DIAEE, riconosciuto a livello nazionale ed internazionale come esperto degli effetti dell'illuminazione artificiale sugli esseri umani, responsabile della Divisione 6 - Photobiology and Photochemistry della CIE Italia.</p>	15
c.2	<p>Politecnico di Milano, Dipartimento di Design - Studio sulle variazioni locali dell'indice di resa cromatica e approcci per sue possibili modellizzazioni</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Design del Politecnico di Milano è Istituto Universitario nazionale competente nel settore della progettazione dell'illuminazione. In particolare ha già collaborato con ENEA nelle scorse annualità, durante le quali il Dipartimento ha progettato apparecchi modulari a LED per illuminazione urbana che sonon poi stati anche realizzati come prototipi. On March 2012 elected President of the Associazione Italiana Colore. Il Responsabile dell'accordo di collaborazione è il prof. Maurizio Rossi, responsabile del Light & Color Lab at Politecnico di Milano, Chairman della Italian Color Conference, MIDECH Designing Designers, membro di SIOF, EOS e AIDI.</p>	55
c.2	<p>Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Studio sperimentale sulla qualità dell'ambiente luminoso in ambiente di lavoro confinato</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Pluriennale esperienza del Dipartimento in fisica tecnica ambientale con un ambito di studi dedicato all'illuminotecnica e alle misure in campo.</p>	10
c.3	<p>Università Milano Bicocca, CRIET - Realizzazione di un tool per la validazione dell'audit di impianti di illuminazione secondo il percorso Lumière e supporto alla diffusione di tutti strumenti sviluppati nel progetto.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> La scelta del Centro di Ricerca è stata motivata dalla pluriennale esperienza dello stesso in tema di efficientamento energetico. Nello specifico CRIET collabora al Progetto Lumière da ormai 4 anni e, oltre ad aver maturato una profonda conoscenza del settore della pubblica illuminazione, può mettere a disposizione del progetto figure professionali dalle comprovate competenze multidisciplinari. In particolare, del Dipartimento di Informatica per lo sviluppo del software e del Dipartimento di Scienze Economico Aziendali e Diritto per l'Economia per la gestione dei dati relativi agli impianti e la valutazione economico-finanziaria degli investimenti richiesti.</p>	35

d.1	<p>Università Tor Vergata di Roma, Dipartimento di Ingegneria Elettronica - Studio di materiali sensibili a temperatura innovativi dedicati al monitoraggio di prodotti freschi refrigerati valutati utilizzando nati elettronici basati su trasduttori QMB (Quartz MicroBalance) durante il monitoraggio di ortofrutta refrigerata</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>Il "Gruppo Sensori" vanta approfondite competenze multidisciplinari in chimica e ingegneria elettronica che consentono di affrontare con cognizione di causa ogni elemento dei sistemi sensoriali, dal materiale sensibile, all'elettronica necessaria al sistema, all'applicazione specifica ed all'analisi dei dati; vanta un'esperienza pluriennale nella tecnologia dei sensori chimici e biosensori con particolare focalizzazione sulle nanostrutture molecolari e sull'applicazioni mediche, alimentari ed ambientali dei sistemi di sensori.</p>	25
d.2	<p>Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche - Ottimizzazione energetica di celle refrigerate per lo stoccaggio ed il trasporto di prodotti alimentari freschi mediante utilizzo Materiali a Cambiamento di Fase (PCM) sia per realizzare pannelli multistrato che all'interno della cella stessa.</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>Il Dipartimento ha un'esperienza pluriennale nella realizzazione di materiali in passaggio di fase (PCM) da utilizzare nella costruzione di pannelli di celle frigorifere.</p>	25
e.1	<p>Università La Sapienza, Dipartimento di Chimica - Caratterizzazione del refluo prodotto nel processo idrometallurgico per il recupero di elementi pregiati da schede elettroniche (RAEE) sviluppato da ENEA</p> <p><i>Motivazione della scelta:</i></p> <p>Decennale esperienza del Dipartimento di Chimica in ottimizzazione, validazione ed applicazione a studi di campo di nuove metodiche per l'analisi elementare in diverse matrici ambientali. Il laboratorio dispone di diverse strumentazioni (plasma accoppiato induttivamente a rivelazione ottica e di massa; spettrofotometro di fluorescenza atomica, strumentazione dedicata per l'analisi di mercurio a vapori freddi in liquidi e solidi), che rendono possibile la valutazione della robustezza delle metodiche ottimizzate mediante confronti intertecnici.</p>	50
e.1	<p>Politecnico delle Marche, Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica – Elaborazione progettuale per lo scale-up industriale del processo per il recupero di elementi pregiati da schede elettroniche (RAEE) sviluppato da ENEA</p> <p><i>Motivazione della scelta:</i></p> <p>Il Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica del Politecnico delle Marche possiede pluriennale esperienza nella progettazione di impianti chimici prototipali e industriali. In particolare ha realizzato per ENEA la progettazione di un impianto dimostrativo per il recupero di metalli da rifiuti attraverso tecnologie idrometallurgiche.</p>	50
f.1	<p>Università dell'Aquila, Dipartimento Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia - Definizione per le procedure di verifica dei motori ad alta efficienza</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i></p> <p>Il Dipartimento ha un'esperienza pluriennale nell'attività nello studio delle macchine elettriche e degli azionamenti elettrici.</p>	30
g.1	<p>Università di Udine, Dipartimento di Ingegneria Elettrica Gestionale e Meccanica - Definizione di indicatori per la valutazione dell'impatto di politiche di efficienza energetica nelle PMI</p> <p><i>Motivazione della scelta:</i></p> <p>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.</p>	37
TOTALE		695

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.

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob.	Risultati ottenuti PAR 2013	Ob.	Risultati attesi PAR 2014
a	<p>a.1 Sviluppo di indici per la valutazione delle prestazioni di reti energetiche in assetto poligenerativo .</p> <p>a.2 Soluzioni progettuali per l'implementazione di nuovi servizi nelle reti di reti termiche.</p> <p>a.3 Analisi del potenziale di reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento innovative.</p>	a	<p>a.1 Estensione delle funzionalità della piattaforma ENSim per la simulazione di reti termiche in assetto poligenerativo.</p> <p>a.2 Studio di fattibilità dell'efficientamento di un contesto territoriale reale dotato di rete termica; identificazione di profili di carico termico specifico associati a edifici "tipo" che rappresenteranno i punti di prelievo dalla rete.</p> <p>a.3 Analisi di soluzioni per la trasformazione di reti di teleriscaldamento esistenti in reti poligenerative con presenza di scambio attivo.</p>
b	<p>b.1 Implementazione e sperimentazione di modelli diagnostici e di controllo su una rete di edifici.</p> <p>b.2 Sviluppo di un simulatore elettrico/termico di una rete di edifici e sperimentazione su questo di algoritmi di ottimizzazione finalizzati alla domanda attiva</p> <p>b.3 Definizione di una metodologia di valutazione di progetti 'smart cities', per la realizzazione di una roadmap per la pianificazione delle smart cities a servizio dei comuni.</p>	b	<p>b.1 Implementazione ed applicazione alla rete di edifici dei modelli diagnostici, controllo ed ottimizzazione</p> <p>b.2 Sviluppo di metodologie in ottica 'smart district'</p> <p>b.3 Tecnologie locali integrate per abilitare le "smart building network"</p>
c	<p>c.1 Sintesi e caratterizzazione di materiali innovativi luminescenti e loro applicazione in dispositivi OLED.</p> <p>c.2 Seconda fase di prototipizzazione dei sistemi di illuminazione (HumbleBee); studi relativi alla resa cromatica delle sorgenti luminose.</p> <p>c.3 Sviluppo di un Osservatorio per la promozione dell'Efficienza Energetica nella pubblica illuminazione; tool del monitoraggio degli impianti riqualificati.</p>	c	<p>c.1 Sintesi di molecole fosforescenti innovative e loro applicazione in dispositivi luminescenti OLED e disponibilità di almeno una molecola fosforescente di sintesi innovativa da impiegare come materiale attivo in dispositivi luminescenti OLED</p> <p>c.2 Attività sperimentale su illuminazione: COELO (ambiente ufficio) e HumbleBee (ambiente industriale); studio su "lighting design per il benessere", innovazione della illuminazione in ambito domestico per gli Anziani ; indagine sperimentale sulla capacità delle nuove sorgenti di illuminazione artificiale di influenzare il ciclo circadiano; indagine sulle variazioni locali dell'indice di resa cromatica e approcci per sue possibili modellizzazioni</p> <p>c.3 Assessment delle linee guida e degli standard Lumière; trasferimento al sistema nazionale del modello di management sviluppato, applicazione ed eventuale perfezionamento dei standard di supporto realizzati; sviluppo di un tool di validazione dell'audit secondo il modello Lumière; giornate formative per amministratori pubblici</p>
d	<p>d.1 Seconda fase di realizzazione di un naso elettronico finalizzato al risparmio energetico.</p> <p>d.1 Ottimizzazione di pannelli PCM per celle frigoriferi di vagoni ferroviari.</p>	d	<p>d.1 Sviluppo e test in opportune campagne sperimentali di uno o più nodi sensoriali che possano monitorare lo stato di conservazione dell'ortofrutta ottimizzando il risparmio energetico delle celle frigorifero utilizzate per lo stoccaggio ed il trasporto dei prodotti alimentari freschi. Valutazione della possibilità di implementazione anche di sensori innovativi (sviluppati dal Gruppo Sensori di Tor Vergata) sui nodi sensoriali dedicati.</p> <p>d.2 Utilizzo dei materiali a cambiamento di fase (PCM) per l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche e qualitative delle celle frigorifero usate per lo stoccaggio e trasporto di prodotti alimentari freschi. Test di un tool informatico (sviluppato da UNIPM) in grado di ottimizzare il risparmio energetico e la conservazione dei prodotti alimentari freschi mediante opportune campagne sperimentali su prodotti ortofrutticoli conservati e monitorati in celle frigorifero dotate di diverse tipologie di PCM posizionato in quantità e modalità tali da ridurre i consumi energetici ed ottimizzare le prestazioni delle celle frigo.</p>

e	<i>Linea non presente nel PAR2013</i>	e	<p>e.1 Caratterizzazione della matrice schede elettroniche per il contenuto di palladio, caratterizzazione della matrice lampade a fluorescenza per il contenuto di terre rare.</p> <p>Effettuazione degli studi per valutare la cinetica e le migliori condizioni di dissoluzione della matrice lampade a fluorescenza.</p> <p>e.2 Studi preliminari per la valutazione del refluo del processo idrometallurgico per il recupero di elementi pregiati da schede elettroniche (RAEE).</p>
f	<i>Linea non presente nel PAR2013</i>	f	Facility per la sperimentazione e verifica di motori elettrici ad alta efficienza
g	<i>Linea non presente nel PAR2013</i>	g	<p>g.1 Valutazione dell'impatto potenziale derivante dall'implementazione di audit energetici all'interno di PMI del settore industriale, in termini di risparmio energetico e costi da sostenere per l'esecuzione dei necessari interventi di efficientamento</p> <p>g.2 Redazione di studi di settore per diversi comparti industriali caratterizzati da alti consumi energetici</p>

AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO 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

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

L'efficienza energetica negli edifici, come riportato nella Strategia Energetica Nazionale (SEN), è un obiettivo nazionale di primaria importanza. Un significativo contributo lo recitano le attività di R&S che sono in grado di fornire proposte e soluzioni ad alto valore aggiunto che investono non solo i prodotti e le tecnologie ma anche lo sviluppo di strumenti e metodologie necessarie alle politiche per le programmazioni e gli indirizzi di interventi di efficienza energetica negli edifici.

Le attività, pertanto, consisteranno 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 ad indirizzare le politiche degli interventi di riqualificazione, con riferimento agli edifici della Pubblica Amministrazione (PA). Le attività terranno in debito conto gli impegni assunti dalla SEN e presenti nel PAEE 2013 e gli adempimenti che le nuove Direttive europee impongono agli Stati Membri. Si farà riferimento alle indicazioni e prescrizioni contenute nella direttiva 27/2012/CE e nel decreto di recepimento DLgs 102/2014, in cui viene data particolare attenzione agli edifici del settore pubblico, residenziali e non residenziali, per i quali si chiedono una serie di dati di caratterizzazione del parco immobiliare, e sui dati dei consumi energetici stimati e/o da bolletta sui quali poter sviluppare misure e standard di intervento accompagnati da una diagnosi energetica e da una sensibilizzazione e formazione del personale tecnico delle PA. Si è predisposto, da parte del Ministero dello Sviluppo Economico, un Piano di Interventi Nazionale che, sulla base dei dati raccolti e sulla previsione degli interventi di efficienza energetica da effettuare, per rispondere a quanto prescritto negli artt. 4 e 5 del DLgs 102/2014. Inoltre è stato predisposto un Piano di interventi per gli edifici della Pubblica Amministrazione Centrale ed istituita una Cabina di Regia che dovrà promuovere e gestire gli interventi di riqualificazione energetica di questa popolazione di edifici per rispondere all'obbligo previsto da Decreto di riqualificare il 3% per anno della superficie occupata dalla Pubblica Amministrazione Centrale. In relazione a quanto previsto dalla Legge 90/2013 è stato predisposto un piano per incentivare gli edifici Nearly Zero Energy Building (NEZB). Infatti, per gli edifici pubblici, tali livelli di prestazione energetica saranno obbligatori dal 1° gennaio 2019 mentre lo saranno dal 1° gennaio 2021 per tutti gli edifici privati. Oltre a questo aspetto gli Stati Membri dovranno mettere in campo adeguate misure e provvedimenti per dare un forte impulso all'efficientamento energetico degli edifici del pubblico già dal 2014. Questo comporta, oltre che lo studio di particolari forme per il finanziamento degli interventi di efficientamento degli edifici, anche lo sviluppo di strumenti, per la valutazione degli indicatori di efficienza energetica, componenti, per migliorare le prestazioni dell'involucro e degli impianti, e servizi tecnologici integrati in grado, a parità e qualità di servizio reso, di offrire il risultato migliore tenendo presente il fattore costo/beneficio. Per la realizzazione degli interventi si dovranno predisporre una serie di attività che investiranno la parte tecnico-amministrativa (contrattualistica, bandi, ecc.) e quella per la conoscenza di strumenti e procedure, che le PA possono utilizzare, per l'accesso ai fondi messi a disposizione dalla UE.

In quest'ambito una grande importanza è da attribuire allo sviluppo di strumenti e modelli applicativi per la diagnosi energetica, per la Certificazione energetica degli edifici, per il calcolo della prestazione energetica (EP) in regime estivo e per la definizione di nuovi benchmark per le singole destinazioni d'uso, per l'accesso a finanziamenti europei e nazionali, per la sensibilizzazione dell'utenza sulla convenienza nell'applicazione di interventi per l'efficienza energetica e sull'applicazione di sistemi per la misura dell'efficacia degli interventi.

Lo svolgimento delle attività dovrà considerare i recepimenti normativi nazionali delle direttive UE e le nuove indicazioni delle direttive stesse che hanno definito con un'attenzione molto specifica lo sviluppo di azioni a supporto degli edifici della Pubblica Amministrazione che, oltre a rivestire il ruolo di esempio di eccellenza per l'efficienza energetica dei propri edifici, dovranno dotarsi di strumenti e modelli per utilizzare le opportunità finanziarie messe a disposizione dalla UE e da quelli nazionali e per le strategie da mettere in atto in modo da favorire l'aggregazione della domanda. Saranno sviluppati schemi e strumenti per la definizione di misure, modelli d'intervento ed utilizzo di tecnologie innovative, anche con l'integrazione delle fonti rinnovabili, per ottenere edifici con alte prestazioni energetiche "NZEB", con una attenzione mirata agli edifici esistenti delle PA per le diverse destinazioni d'uso. In questo ambito saranno sviluppate, anche, una serie di attività mirate, in un'ottica sistemica e che guarda alla economie di scala, per la messa a punto di tali modelli e schemi, applicabili dalla PA, per l'ingaggio sul territorio degli operatori privati, in particolare le ESCo, per proporre la realizzazione di interventi utilizzando le risorse disponibili dal Fondo europeo (ELENA, JESSICA ecc.) o da altri analoghi e la definizione di procedure tecnico-amministrative per l'assegnazione degli appalti e degli strumenti finanziari più adeguati da adottare.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

La recente Direttiva 27/2012/UE e il DLgs 102/2014 di recepimento, evidenziano il ruolo determinante dell'efficienza energetica nel settore del civile e prescrive agli Stati Membri una serie di azioni e interventi negli edifici della PA centrale tra cui la riqualificazione energetica del 3%/anno, a partire dal 2014, della superficie utile degli edifici della PA centrale, azioni di formazione e diffusione e la promozione di sistemi tecnologici quali la cogenerazione e il teleriscaldamento. Tale direttiva riprende alcuni dei criteri presenti nella direttiva 31/2010/CE che obbliga, tra l'altro, gli Stati Membri a dotarsi di standard e strumenti in grado di assicurare e accelerare l'attuazione dei programmi per l'efficienza e il risparmio energetico e raggiungere l'obiettivo del Nearly Energy Zero Building.

In particolare viene richiesto di determinare, nell'ambito delle destinazioni d'uso residenziale e non residenziale la definizione di nuovi standard di prestazione energetica degli edifici, la definizione degli edifici NEZB, l'applicazione della metodologia comparativa, per la verifica dell'efficacia degli standard utilizzati, e altri criteri mirati al miglioramento dell'efficienza energetica con particolare attenzione agli edifici della Pubblica Amministrazione nuovi e, in modo più mirato, a quelli esistenti.

Il quadro è molto complesso e si dovranno attivare una serie di studi per superare la parcellizzazione dei possibili interventi, assicurarne la razionalità e la convenienza economica, e mettere a punto modelli applicabili per le PA. Per rendere efficaci e fattibili gli interventi individuati sarà indispensabile che si sviluppino modelli per agevolare e utilizzare da parte delle PA contratti di garanzia e ingaggiare operatori privati, in particolare le ESCo e istituti di credito congruenti con le Direttive Europee 27/2012/CE e 31/2010/CE (Direttiva EPBD recast), e la 2005/32/CE (Direttiva EuP) per la creazione di un quadro sull'ecodesign delle apparecchiature utilizzanti energia.

A questo riguardo, l'efficienza energetica, intesa nel suo più ampio senso di riduzione del consumo di energia a parità di servizio e di uso razionale dell'energia, è uno strumento funzionale alla costruzione di un quadro organico con un orizzonte di medio e lungo periodo; la sua doppia natura legata ai miglioramenti tecnologici ma anche a comportamenti consapevoli e responsabili verso gli usi energetici la rendono lo strumento più efficace dal punto di vista della praticabilità tecnica, finanziaria e socio-economica. In questo ambito riveste una innovazione il fatto che anche per gli edifici vincolati si dovrà intervenire per rendere più efficienti gli impianti e formulare proposte che prevedano l'integrazione con le fonti rinnovabili.

L'impegno particolarmente intenso necessario per raggiungere tali obiettivi, per gli edifici delle PA, richiede efficaci politiche energetiche che facilitino lo sviluppo di tecnologie, processi, prodotti e servizi a ridotto consumo di energia e, nello stesso tempo, permettano di orientare i comportamenti dei consumatori e/o utenti finali verso un uso razionale dell'energia

In Italia al momento non esiste una normativa definita che consenta il calcolo del fabbisogno energetico per il condizionamento estivo degli edifici, si dovrà sviluppare una serie di strumenti per definire gli standard prestazionali per il Nearly Energy Zero Building e si dovranno definire modelli, per l'efficienza energetica degli edifici delle PA, per favorire l'accesso a fondi europei e nazionali e per l'utilizzo delle ESCo.

Le direttive UE 27/2012 e 31/2010 richiedono, inoltre, 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. Il decreto "Linee Guida Nazionali per la Certificazione energetica degli edifici" prevede una valutazione qualitativa dell'involucro per il fabbisogno estivo, l'obbligo di schermatura esterna per tutti gli edifici nuovi e per quelli da ristrutturare fino a 1000 m², e il calcolo dell'indicatore energetico per l'illuminazione, per gli edifici del terziario; tuttavia mancano delle linee guida su come utilizzare detti schermi e sull'influenza che questi hanno sull'illuminazione naturale degli edifici e le procedure di calcolo da applicare per la determinazione dell'Indice di Prestazione energetica in regime estivo.

Obiettivo finale dell'attività

L'obiettivo finale è quello di dare un significativo contributo al raggiungimento degli obiettivi europei e nazionali sull'efficienza energetica degli edifici e definire valori di benchmark e standard prestazionali a supporto della normativa e delle politiche energetiche; questo sarà sviluppato tenendo conto delle esigenze del mercato e degli utenti finali nel rispetto dell'ambiente e con un uso razionale dell'energia. Elementi per raggiungere questo obiettivo sono:

- analisi, con applicazioni di tecnologie e sistemi di rilevamento e controllo, dei consumi energetici da bolletta e di sistemi innovativi di monitoraggio degli edifici del non residenziale, con particolare attenzione a quelli ad uso pubblico;
- 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 e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile;
- 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
- progetto e l'espletamento di una gara per realizzazione di un intervento dimostrativo in un edificio della PA.
- studio e sviluppo di metodologie e strumenti per le valutazioni di interventi di efficienza energetica per gli edifici pubblici e privati finalizzati al NEZB.
- sviluppo e la promozione di strumenti software per la comunicazione e la sensibilizzazione presso l'utenza.
- realizzazione di un piano di comunicazione e formazione per l'informazione e la sensibilizzazione per l'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili indirizzati a diversi target di utenza pubblica e privata (cittadini, operatori, professionisti ecc.).

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Non sono previste attività di coordinamento con RSE e CNR dal momento che ENEA è l'unico affidatario per questa tematica.

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

Lo sviluppo delle tecnologie per l'efficienza energetica, l'uso di nuove tecnologie e la conoscenza di dati tipologici e dei consumi energetici degli edifici sono le principali azioni con le quali è possibile far fronte alla riduzione dei consumi termici e alla diminuzione della richiesta di energia elettrica nel settore civile.

Le attività di questo progetto costituiscono la base per l'applicazione di soluzioni tecnologiche e lo sviluppo di strumenti di governance atti a favorire il consenso verso tali strategie e la loro diffusione.

Lo sviluppo delle nuove tecnologie, la possibilità di poter utilizzare strumenti e modelli di valutazione per le

scelte di involucro e di impianto, da definire nell'ambito della riqualificazione energetico-ambientale degli edifici, la diffusione e l'informazione all'utenza che concorrono a migliorare l'efficienza energetica, la competitività e lo sviluppo del mercato del settore dell'edilizia. E' da evidenziare che, la possibilità di poter accedere e utilizzare informazioni e soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica negli edifici, di nuova costruzione o da riqualificare, è un fattore di cui beneficia il sistema Paese, in generale, e l'utente finale, in particolare.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Il progetto si articola in due parti, una Parte A che ha come organo esecutore ENEA e una Parte B con organo esecutore il Polo Tecnologico del Sulcis. Quest'ultima prevede sia attività che hanno come organo esecutore SOTACARBO (B.1) sia attività con organo esecutore ENEA (Parte B.2).

Descrizione degli obiettivi

Parte A: Attività ENEA

a. Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole, Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica

Il recente cambiamento del quadro normativo, europeo e nazionale sull'efficienza energetica comporterà una profonda revisione degli standard prestazionali e delle procedure da sviluppare in tale ambito. Il recepimento della direttiva recast 31/2010/UE e il prossimo recepimento della 27/2012/UE non riguardano solo l'efficienza energetica degli edifici dal punto di vista tecnico e tecnologico, ma prevedono lo sviluppo di modelli e strumenti per il finanziamento degli interventi e per la messa a punto di contratti di Energy Performance Contract non rispondenti come indicato dalla direttiva 21/2012/UE. I temi che saranno affrontati sono quelli relativi alla realizzazione di edifici Nearly Energy Zero Building, per il nuovo e l'esistente da riqualificare, l'applicazione della metodologia cost-optimal in fase di revisione, e che dovrà essere integrata da un'analisi di sensibilità sugli standard prestazionali proposti in considerazione del fattore costo/beneficio, la messa a punto di strumenti e modelli per favorire gli interventi di riqualificazione negli edifici della PA, la realizzazione di un dimostratore, e la definizione di modelli di aggregazione della domanda rivolta, in modo particolare, alle PA di medie e piccole dimensioni. Una particolare attenzione dovrà essere stata posta all'integrazione delle fonti rinnovabili negli interventi di efficientamento energetico degli edifici. Il tema è molto sentito soprattutto per gli interventi da effettuare nel patrimonio esistente in cui è necessario sviluppare un'attività che metta in condizione gli operatori di poter valutare, tecnicamente ed economicamente, tali interventi. A completamento di questa linea sarà messo a punto un piano di comunicazione e informazione indirizzato ai diversi target di utenza. Le attività dovranno tener in considerazione le disposizioni introdotte in materia di monitoraggio dei consumi degli edifici ed il recepimento delle Direttive 2010/31/CE, 27/2012/CE, il DLgs 28/11 ed il D.L. 90/2013. Saranno sviluppati: modelli di supporto alla programmazione e valutazione; applicazione del SW SEAS, un tool informatico per le diagnosi energetiche degli edifici, per un ospedale; metodologie finalizzate all'ottimizzazione e alla valutazione degli interventi e attività di ricerca sui prodotti e sistemi per gli edifici.

a.1 Analisi

- Atlante per la scelta rapida degli interventi da realizzare per la riqualificazione degli edifici.
Sviluppo di un modello per la definizione di interventi ottimali tenendo conto del costo dell'energia risparmiata. Il metodo si basa sul calcolo del costo dell'energia risparmiata (CCE, espresso in €/kWh) tenendo conto sia del costo della fonte energetica di riferimento (di solito il gas naturale), sia degli investimenti richiesti dall'adozione dei singoli interventi, sia delle condizioni climatiche.
Il CCE non si pone come uno strumento alternativo dei metodi di ottimizzazione utilizzati per definire gli

investimenti ottimali che ogni Stato Membro deve fornire alla CE ai sensi della Direttiva EPBD e per definire i limiti di legge, bensì come uno strumento efficiente e di facile comprensione per utenti, progettisti e costruttori atto a selezionare e confrontare diverse ipotesi di riqualificazione in tempi molto rapidi. Il calcolo del CCE è da inquadrare soprattutto in un'ottica operativa e dove sono necessarie informazioni chiare e comprensibili anche da parte di soggetti non specializzati.

Risultati/Deliverable:

- Redazione di un atlante per la scelta rapida degli interventi di riqualificazione degli edifici.

Principali collaborazioni: CTI

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- *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*
 - L'attività si pone l'obiettivo di definire le tipologie degli edifici di riferimento per le diverse destinazioni d'uso, settore residenziale e non residenziale, in modo da poter disporre di modelli di edificio descritti con le specifiche caratteristiche prestazionali del sistema edificio/impianto con particolare definizione ai componenti di involucro, opaco e trasparente, e delle relative proprietà energetiche. Tali modelli saranno utilizzati per le simulazioni e valutazioni delle prestazioni energetiche con diverse configurazioni stratigrafiche e/o di sistemi da analizzare. Sulla base di questi modelli saranno svolte delle analisi delle prestazioni energetiche con software stazionari e codici dinamici per valutare le differenze dei risultati considerando tali prestazioni nell'arco dell'intero anno

Risultati/Deliverable:

- Definizione degli edifici tipo con destinazione d'uso residenziale e non residenziale.
- Confronto delle prestazioni energetiche per gli edifici tipo, residenziali e non residenziali, nelle diverse fasce climatiche utilizzando SW stazionari e codici dinamici.

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Definizione di nuovi modelli matematici che rappresentino il comportamento dell'utente sviluppati sulla base dell'analisi statistica di dati ottenuti dal monitoraggio della reale interazione uomo-edificio.
Gli output previsti dovrebbero risultare in una combinazione di metodi per misurare e ottenere i dati sulle interazioni degli utenti, nuovi modelli comportamentali, moduli software che descrivono e simulano il comportamento degli utenti, l'integrazione dei moduli software all'interno dei programmi di simulazione dinamica delle prestazioni energetiche degli edifici, e l'utilizzo di casi di studio per dimostrare l'applicazione dei modelli per risolvere i problemi reali di migliorare il progetto dell'edificio, il suo funzionamento di esercizio e il retrofit per ridurre i consumi un'indicazione dell'abilità dei modelli comportamentali di replicare l'interazione dell'occupante con i sistemi di controllo e con l'involucro edilizio e le eventuali differenze d'influenza di diversi profili di operatività. Tale scopo sarà raggiunto mediante la definizione e l'analisi di differenti profili tipo di utenza domestica (pattern comportamentali) e la valutazione della loro influenza sul comfort termico e i consumi energetici in edifici residenziali. Seguendo tale approccio, l'attività di ricerca tenta di evidenziare quale combinazione di profilo comportamentale di utenze tipo sia il più "energy-waster" o "energy-saver" nell'ambito residenziale, come negli edifici per uffici.

Risultati/Deliverable:

- Analisi dell'influenza del comportamento dell'utenza sui consumi energetici finali degli edifici: fattori influenzanti, modelli probabilistici per la simulazione degli occupanti e profili comportamentali tipo.

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Aggiornamento DOCET. In collaborazione con il CNR si svilupperà una nuova versione del DOCET in relazione alle nuove normative di attuazione del DL 90/2013

Risultati/Deliverable:

- Aggiornamento del SW semplificato DOCET per la certificazione energetica degli edifici residenziali esistenti per l'adeguamento alle nuove norme in vigore

Principali collaborazioni: ITC- CNR

Durata: ottobre 2015 - settembre 2015

- Sviluppo del SEAS light per le diagnosi energetiche nel settore del residenziale e corsi e-learning per l'utilizzo del SW SEAS per gli edifici del non residenziale e residenziale
 1. Predisposizione di una sezione di F.A.Q. (FrequentlyAskedQuestions) per fornire documentazione di assistenza e supporto agli utenti su problematiche legate ai seguenti aspetti: download, installazione, compatibilità, funzionalità, gestione del database, gestione delle schede, lancio delle routine esterne, esportazione dei risultati, destinazioni d'uso, servizi, zonizzazione, configurazioni impiantistiche, parametri di analisi economica. Le FAQ saranno caricate sul sito istituzionale di SEAS. Per la costruzione delle risposte alle domande più frequenti degli utenti, si prevede di analizzare le segnalazioni inviate all'apposita e-mail info.seas@enea.it.
 2. E-Learning: Per la formazione di base su SEAS, si prevede di elaborare un corso in modalità e-learning su contenuti tecnici del software e sul suo utilizzo come efficace strumento per lo svolgimento di diagnosi energetiche degli edifici. Il corso audiovisivo, a cura degli sviluppatori di SEAS, sarà registrato presso le strutture messe a disposizione da ENEA, che lo renderà fruibile agli utenti in maniera gratuita e continuativa sul sito istituzionale di SEAS
 3. SEAS Light: Nell'ottica di semplificare e rendere maggiormente economiche le diagnosi energetiche nel residenziale, si prevede lo sviluppo di un metodo semplificato per la stima delle prestazioni energetiche e dell'utilizzo annuale dei vettori energetici in sistemi edificio-impianto tipici della realtà italiana, adatto all'implementazione in una futura versione "light" di SEAS. Tale procedura semplificata richiederà un numero sensibilmente ridotto di dati di ingresso, permetterà un'analisi di sensibilità a questi dati e guiderà sia il tuning rispetto alle fatturazioni energetiche disponibili, sia la selezione degli interventi di efficientamento energetico. La metodologia elaborata rispetterà i criteri minimi per un audit energetico di qualità, così come definito dall'All. 2 al D.Lgs. 102/2014.

Risultati/Deliverable:

- Documento di F.A.Q. su SEAS
- Corso audiovisivo di base su SEAS
- Relazione tecnica della metodologia "SEAS Light" per audit semplificati nel residenziale

Principali collaborazioni: Università di Pisa, Dipartimento Energia

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2 Strumenti

- Analisi della dotazione impiantistica di climatizzazione (estiva ed invernale) del patrimonio edilizio ad uso residenziale e terziario e valutazione dell'impatto economico in relazione a misure di politiche energetiche e ambientali finalizzate a incidere sensibilmente sull'efficienza negli usi finali e alla promozione di fonti di energia rinnovabile. L'attività si svilupperà nelle seguenti fasi:
 1. misurazione della dotazione impiantistica per tipologie abitative (e dei nuclei famigliari abitanti) e terziarie. L'analisi sarà sviluppata per zone climatiche e regioni, tipologia edilizia e socioeconomica

- dei possessori immobiliari, età del patrimonio e frequenza della sostituzione, ecc.
2. analisi dei settori economici/industriali coinvolti nelle ipotesi di mutamento degli scenari di riferimento attuali;
 3. analisi delle problematiche attraverso le opinioni degli *stakeholder* e valutazione dell'impatto economico derivante da un cambiamento (o accelerazione) di politica energetica

Risultati/Deliverable:

- Analisi sulla dotazione impiantistica di climatizzazione (estiva ed invernale) del patrimonio edilizio ad uso residenziale e terziario e valutazione dell'impatto economico in relazione a misure di politiche energetiche e ambientali

Principali collaborazioni: CRESME

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Modelli di regressione per la stima dei fabbisogni energetici per la climatizzazione degli edifici
Definizione di una metodologia di stima dei fabbisogni energetici degli edifici residenziali attraverso l'utilizzo di modelli di regressione. Si intende sviluppare un metodo di calcolo speditivo che consenta di definire, attraverso pochi e semplici parametri, il fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale valutato secondo la metodologia standardizzata prevista dalla normativa italiana sulla certificazione energetica degli edifici (D.Lgs. 19/08/2005 n.192 e successive modifiche ed integrazioni). Partendo da tre diverse tipologie di edifici, monofamiliare, piccolo condominio e grande condominio, si eseguiranno delle simulazioni numeriche per la valutazione del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale, attraverso un codice di calcolo stazionario che utilizza la metodologia definita dalle Norme UNI TS 11300. I test verranno effettuati per delle località di riferimento poste in diverse zone climatiche invernali, rappresentative dei diversi climi italiani.
Questo strumento sarà di supporto al legislatore in fase di definizione delle caratteristiche prestazionali dell'involucro edilizio, in quanto consente di verificare rapidamente come le variazioni di tali caratteristiche vadano a modificare i fabbisogni energetici degli edifici.

Risultati/Deliverable:

- Modelli di regressione per la stima dei fabbisogni energetici per la climatizzazione degli edifici

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Analisi delle principali metodologie di calcolo dell'energia incorporata nei materiali e nei sistemi energetici disponibili
Analisi di studi e ricerche di letteratura e database rilevanti in riferimento al tema dell'energia incorporata sia nei materiali da costruzione che negli impianti energetici in ogni fase del ciclo di vita. I risultati ottenuti saranno confrontati per tipologia di edificio e caratteristiche dell'involucro. Saranno inoltre analizzate le principali metodologie di calcolo dell'energia incorporata nei materiali e nei sistemi energetici disponibili in letteratura. A complemento delle attività di ricerca descritte, si prevede la partecipazione alle attività e ai meeting dell'IEA EBC Annex 57 "Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction".

Risultati/Deliverable:

- Analisi e principali metodologie di calcolo dell'energia incorporata nei materiali e nei sistemi energetici disponibili

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Dip. DERSE

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Sviluppo di modelli di modelli per la quantificazione del potenziale Ventilative Cooling nell'edilizia
Sviluppo di modelli innovativi rivolti alla quantificazione del potenziale di "Ventilative Cooling" in sostituzione alle tecniche di raffrescamento standard nell'edilizia. La necessità di combinare i requisiti di comfort indoor con il contenimento dei consumi energetici per raffrescamento nell'edilizia ha favorito la diffusione dell'utilizzo di tecniche di ventilazione naturale, meccanica e ibrida proprie del "Ventilative Cooling". Generalmente il "Ventilative Cooling" si riferisce all'uso di strategie di ventilazione naturale o meccanica aventi per obiettivo il raffrescamento degli ambienti indoor. L'uso di aria esterna può ridurre il consumo di energia dei sistemi di raffrescamento mantenendo elevati standard di comfort termoigrometrico negli ambienti confinati.
A complemento delle attività di ricerca descritte, si prevede inoltre la partecipazione alle attività e ai meeting dell' IEA EBC Annex 62 "Ventilative Cooling".

Risultati/Deliverable:

- Modelli per la quantificazione del potenziale di Ventilative Cooling nell'edilizia: stato dell'arte e metodologie innovative

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Dip. DERSE

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Potenzialità e limiti delle strategie di ventilazione in aree urbane
Lo studio in esame intende dunque esplorare un doppio binario: da un lato analizzare le potenzialità dei sistemi e delle strategie di ventilazione per ottimizzare le prestazioni energetiche degli edifici, dall'altro si esploreranno i limiti di queste soluzioni quando applicate in ambiente urbano. Le attività saranno dunque.
 1. Monitoraggio delle temperature in zone prestabilite all'interno della città di Roma
 2. Analisi numerica per valutare le potenzialità di ventilazione naturale e meccanica in funzione dei diversi profili termici misurati.

Risultati/Deliverable:

- Potenzialità e limiti delle strategie di ventilazione in aree urbane

Principali collaborazioni: Università Roma 3

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.3 Sviluppo sistemi

- Sviluppo di sistemi e di tecnologie di sicurezza e di smart metering per la diffusione dell'utilizzo del vettore gas per l'efficientamento degli edifici pubblici di grandi dimensioni
L'attività proposta per la seconda fase della ricerca riguarda la realizzazione di un modello sperimentale in scala 1 a 1 di un sistema tecnologico di controparete attrezzata e opportunamente areata in modo da poter distribuire il vettore gas in tutti gli ambienti degli edifici da efficientare e da connettere i dispositivi "plug and play" con i componenti/apparecchi utilizzatori. Tale attività consentirà la verifica dei risultati ottenuti tramite l'utilizzo di codici di calcolo, certificati, la corretta analisi dei flussi di ventilazione e la verifica delle concentrazioni di gas in caso di eventi incidentali finalizzati al controllo della efficienza dei sistemi di sicurezza installati.
Verrà poi ottimizzata l'integrazione del sistema con un microgeneratore da 5 kW studiandone l'interazione col sistema generale in funzione di una apparecchiatura di smart metering messa a punto in collaborazione con un importante gruppo di produzione italiana di sistemi di controllo del gas leader nel mercato mondiale del settore. Infine verranno valutati e studiati a fondo i costi di installazione, gestione e manutenzione del sistema proposto attraverso una serie di casi di studio esemplificativi per valutarne la convenienza tecnico economica alla luce del mercato attuale dell'energia e delle sistema normativa che lo regola.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di un modello sperimentale di parete ventilata per l'utilizzo del vettore gas per l'efficientamento degli edifici pubblici di grandi dimensioni. Valutazioni tecnico-economiche del sistema proposto.

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma, Dip. DIAEE

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- L'accumulo di energia termica per la realizzazione di edifici NZEB

Definizione di un sistema ibrido formato da PdC reversibile, solare termico con accumulo e PV del relativo sistema di regolazione e delle modalità di integrazione delle tecnologie negli edifici. L'attività prevede di valutare l'ottimizzazione del sistema, per almeno per tre tipologie di edificio (es.: abitazione monofamiliare, collettiva e edificio commerciale o pubblico) e per tre zone climatiche, finalizzata a minimizzare i consumi elettrici da rete e per conseguire gli obiettivi voluti dalla definizione nazionale di edifici nZEB e di effettuare delle valutazioni economiche degli investimenti.

Risultati/Deliverable:

- L'accumulo di energia termica quale importante strumento per la realizzazione di edifici NZEB

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Realizzazione di un sistema di controllo intelligente per la valutazione dei consumi energetici degli edifici e definizione di indicatori di prestazione ex ante ex post l'utilizzo di sistemi di Building Automation. Il sistema valuterà e valorizzerà, in particolare, l'energia elettrica prodotta da impianti PV mediante l'impiego della domotica e l'utilizzo di sistemi di accumulo.

Saranno analizzati i flussi energetici di un gruppo di utenze del terziario finalizzate allo studio di fattibilità di un consorzio di utenze e di un sistema cogenerativo/trigenerativo ad alta efficienza e l'incidenza della building automation nella prestazione energetica degli edifici. Saranno individuate le funzioni attivabili attraverso Custom Power Devices gestite da remoto il risparmio energetico e il comfort per l'ambiente residenziale tramite innovazioni tecnologiche e domotiche

Risultati/Deliverable:

- Modello di valutazione della qualità energetica degli edifici integrati con sistemi di BA e fonti rinnovabili, tramite l'utilizzo di specifici indicatori

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma, Dip. DIAEE

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Sviluppo di un sistema informatico per valutare in modo dinamico le prestazioni energetiche del sistema edificio impianto finalizzato alla certificazione energetica degli edifici. Il sistema prevede, facendo riferimento a quanto prodotto nel modello messo a punto nella precedente annualità, di poter valutare in modo dinamico l'edificio, per la valutazione dei consumi energetici di edifici esistenti, per una valutazione annuale (riscaldamento e raffrescamento), per la verifica del funzionamento degli impianti (con la soluzione inversa) o, anche, per analisi progettuali degli impianti termici. Il sistema si dovrà allineare con quanto previsto dal quadro normativo nazionale per la definizione dei fabbisogni del fabbricato in modo particolare per il condizionamento invernale e per quello estivo. L'obiettivo dell'attività è quello di colmare una carenza del sistema di certificazione energetica degli edifici, soprattutto del terziario, e mettere a disposizione, degli operatori e del mercato, uno strumento che consenta di poter effettuare la certificazione energetica e redigere il conseguente Attestato di Prestazione Energetica (APE).

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di un sistema informatico dinamico per la certificazione energetica degli edifici

Principali collaborazioni: Università di Catania

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b. Modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni

Saranno promosse con le PA, tramite i Tavoli 4E - ENEA, azioni e modelli per la programmazione, monitoraggio e verifiche delle misure promosse sui temi dell'efficienza energetica al fine di proporre e definire criteri armonizzati, saranno sviluppati degli strumenti informatici semplificati a supporto delle PA per il calcolo dinamico delle prestazioni energetiche degli edifici, per il controllo dei consumi degli edifici della PA con le evidenze delle anomalie rispetto al benchmark di riferimento, e una serie di strumenti e modelli tecnico-amministrativi che riguardano i contratti con garanzia e la promozione dell'utilizzo di ESCo per gli interventi di efficientamento energetico degli edifici pubblici e modelli per facilitare l'accesso ai fondi europei.

Verranno sviluppati modelli di supporto alla programmazione e valutazione; linee guida e schemi per i contratti con garanzia di risultato e per l'accesso ai fondi; progetto esecutivo del dimostratore, istruzione e aggiudicazione della gara.

- Linee guida per l'analisi dei dati di assorbimento elettrico di edifici del terziario pubblico. Sarà implementata, in questa annualità, la metodologia di indagine sviluppata, nel precedente PAR. Saranno acquisiti gli ulteriori dati nel corso di questa annualità per il parco edifici del Politecnico, e sarà prodotto uno strumento, replicabile in altri edifici e facilmente utilizzabile da parte della PA, per la gestione del patrimonio edilizio potranno recepire agevolmente. L'obiettivo è quello di redigere delle linee guida, che conterranno script di macro precostituite in Visual Basic per implementare fogli elettronici di gestione, elaborazione e rappresentazione grafica dei dati utili ai fini delle analisi dei consumi energetici, in particolare per quelli elettrici.

Risultati/Deliverable:

- Linee guida per l'analisi dei dati di assorbimento elettrico di edifici del terziario pubblico

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano, Dip. ABC

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Sviluppo di uno strumento di gestione da mettere a disposizione delle amministrazioni pubbliche.
Le attività prevedono la progettazione e realizzazione di un cruscotto gestionale destinato agli energy manager delle pubbliche amministrazioni, basato su uno strumento software open source, finalizzato a:
 - il monitoraggio e l'analisi di serie storiche di dati energetici relativi a edifici, strutture e impianti pubblici;
 - l'interfacciamento bidirezionale di tali informazioni tra il livello di gestione (energy manager – cruscotto gestionale) e quello di pianificazione locale (LEB per Patto dei Sindaci e/o Piani Energetici Regionali);
 - il calcolo e l'analisi, a partire dall'incrocio tra i flussi energetici acquisiti sulle singole strutture e i dati LEB di bilancio energetico locale, delle emissioni di gas serra relative al comparto del terziario pubblico;
 - la verifica dei risultati conseguibili con interventi di efficienza energetica, in linea con gli impegni previsti dalla Direttiva EED per edifici pubblici;
 - la rappresentazione interattiva dei risultati e la gestione dinamica delle ipotesi di calcolo

Tale strumento dovrà collocarsi come interfaccia tra le attività degli energy manager e quelle dei pianificatori, in modo da consentire una standardizzazione di approccio e il raggiungimento di un'unicità di conoscenza in merito nel comparto del terziario pubblico. Tale funzione assume particolare rilevanza sia in termini di presupposto abilitante alla definizione di azioni di efficienza energetica, che come strumento di verifica dei risultati (come richiesto dalla Direttiva EED).

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di uno strumento di gestione da mettere a disposizione delle amministrazioni pubbliche

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Sviluppo di un modello di calcolo e la costruzione di un semplice software per l'automatizzazione delle operazioni di valutazione.

Il sistema di valutazione, dei consumi e degli interventi di risparmio, qui proposto viene strutturato per adattarsi a qualsiasi tipologia di sport praticato e di dimensione di impianto.

Una delle principali criticità del lavoro consisterà nel reperire i dati dei piccoli centri sportivi per i quali la gestione, spesso a causa delle limitate disponibilità economiche, viene gestita senza una corretta guida. Per lo svolgimento delle attività si renderà necessario studiare i dati di consumo di circa cento strutture sportive, tra cui le più piccole palestre urbane, che normalmente non dispongono di misure o di una organizzazione in qualità che possa fornire utili informazioni.

Per tali motivi si ritiene essenziale produrre un sistema informatico, semplice e gratuito, che possa aiutare i gestori di impianto ad effettuare scelte energeticamente valide.

Lo studio viene effettuato, a tutto campo, per la parte elettrica e per la parte termica non potendo scindere né gli impianti né le diverse forme di energia.

Risultati/Deliverable:

- Modello matematico e strumento informatico *user-friendly* per la valutazione del consumo e degli interventi di risparmio energetico dei centri sportivi.

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma, Dip. DIAEE

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Analisi dell'impatto delle valvole termostatiche sui consumi finali degli utenti collegati alle reti di teleriscaldamento dei comuni montani di zona climatica E e F.

Realizzazione di un'indagine per analizzare in dettaglio i risultati conseguiti attraverso l'installazione di valvole termostatiche presso edifici residenziali e del terziario nei comuni serviti da reti di teleriscaldamento in zone climatiche E e F, grazie alla collaborazione della Fiper, l'associazione di categoria che raccoglie i gestori di tali reti. Si è scelto di analizzare tali soggetti in ragione della disponibilità di dati di monitoraggio per gli ultimi anni. La direttiva sulle prestazioni energetiche degli edifici (2010/31/UE) e la direttiva sull'efficienza energetica (2012/27/UE) pongono in primo piano l'efficientamento del parco immobiliare, sia pubblico, sia privato. Un intervento tipico riguarda l'installazione delle valvole termostatiche. Sebbene le valvole termostatiche consentano di conseguire dei buoni risultati in diverse zone del nostro Paese, manca ancora una evidenza sul campo dei risparmi conseguibili. Da considerare che l'installazione di tali dispositivi, già obbligatoria in alcune Regioni, come Lombardia e Piemonte, nel 2016 lo diventerà a livello nazionale.

Risultati/Deliverable:

- Analisi sull'andamento dei consumi per clienti residenziali e del terziario allacciati a reti di teleriscaldamento in zona climatica E e F

Principali collaborazioni: FIRE

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Sviluppo di un sistema informatico per gli edifici ad uso scolastico per le valutazioni tecnico-economiche degli interventi

L'attività si pone l'obiettivo di sviluppare uno strumento informatico da mettere a disposizione delle PA e dei soggetti proprietari per la valutazione, nell'ambito del settore degli edifici scolastici, gli interventi di efficienza energetica tenendo conto anche degli aspetti di sostenibilità. Il sistema sarà in grado di poter effettuare delle simulazioni con un report di autovalutazione per le scelte di intervento previste.

Risultati/Deliverable:

- Sistema informatico per gli edifici ad uso scolastico per le valutazioni tecnico-economiche degli interventi.

Principali collaborazioni: ANCE, ANCI

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Sviluppo di una metodologia per la valutazione dell'impatto occupazionale per interventi di efficienza energetica nella green economy

L'attività è mirata a sviluppare una metodologia di analisi per valutare gli impatti occupazionali nel settore dell'efficienza energetica per il settore residenziale con particolare riferimento alla green economy. Le attività saranno indirizzate in modo da definire i settori coinvolti nel campo dell'efficienza energetica degli edifici residenziali, il quadro di riferimento allo stato attuale i criteri /fattori da utilizzare per poter creare una prima banca dati di riferimento sugli aspetti occupazionali. L'obiettivo dell'attività sarà di definire la metodologia, creare la banca dati e ottenere una prima valutazione ex-post.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di una metodologia per la valutazione degli impatti occupazionali con interventi di efficienza energetica nel residenziale

Principali collaborazioni: Università Roma Tre, Dip. Economia

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Linee guida per l'Energy Performance Contract, contratto e capitolato, coerente con il DLgs 102/2014, da utilizzare dalle PA.

Risultati/Deliverable:

- Linee guida per un contratto Energy Performance Contract secondo il DLgs 102/2014

Principali collaborazioni: Conferenza Unificata Stato Regioni

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Sviluppo della certificazione energetico ambientale degli edifici come strumento per l'efficienza energetico-sostenibile e l'aumento della qualità ambientale interna.

La ricerca proposta dal centro CITERA dell'Università di Roma Sapienza riguarda il tema della certificazione ambientale degli edifici, che è oggi di grande attualità sia sul fronte della ricerca che su quello della vita economica del paese. L'opportunità e l'esigenza di promuovere una certificazione ambientale degli edifici nasce dall'idea di voler completare la certificazione energetica, oggi obbligatoria, con una di tipo ambientale, volontaria e complementare, che affronta problematiche legate all'impatto ambientale e alla qualità degli edifici, senza trascurare attraverso l'analisi LCA, il considerevole dispendio energetico relativo alle filiere produttive dei materiali da costruzione e degli impianti.

In questa ricerca si propone quindi una rivisitazione critica dei protocolli esistenti con l'attuazione di sostanziali correttivi sulle tematiche energetico ambientali degli edifici, in maniera tale da rendere il sistema di certificazione ambientale più confacente alla realtà edilizia italiana e più attento al consumo energetico che avviene nei processi industriali di produzione dei componenti e dei sistemi tecnologici con l'applicazione sistematica dei criteri di "life cycle assesment" implementati su base di dati provenienti da realtà produttive del nostro paese. Risulta infatti evidente come tali correttivi siano efficaci sia dal punto di vista della effettiva riduzione dei consumi energetici legati all'intero ciclo di vita dell'edificio, che dal punto di vista del miglioramento complessivo della qualità ambientale degli edifici stessi.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo della certificazione energetico ambientale degli edifici come strumento per l'efficienza energetico-sostenibile e l'aumento della qualità ambientale interna degli edifici

Principali collaborazioni: CITERA

Durata: ottobre 2014- settembre 2015

c. Implementazione di una metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di illuminazione naturale

Definizione di una metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico per l'illuminazione degli edifici che consideri il contributo dell'illuminamento naturale e che superi i limiti della normativa tecnica di riferimento attualmente in vigore (UNI EN 15193 – 2008) che, applicata nel nostro Paese, sovrastima notevolmente tale fabbisogno. Con il progressivo aumento del target di efficienza energetica negli edifici, dettato dalle attuali e future prescrizioni di legge, il fabbisogno di energia per l'illuminamento è, infatti, destinato a pesare in misura percentualmente crescente rispetto al fabbisogno totale e una sua corretta stima appare quindi necessaria e opportuna.

In questa annualità saranno affrontate le seguenti problematiche;

- Dati climatici. Sviluppo e verifica di modelli per la stima della efficacia luminosa (lm/W) (rapporto tra il flusso luminoso su superficie orizzontale e irradiazione solare su superficie orizzontale) sia per quanto riguarda la radiazione diffusa che quella globale, con l'obiettivo di sviluppare una metodologia che consenta di calcolare le grandezze illuminotecniche da quelle solari.
- Condizioni al contorno. Individuazione delle potenze specifiche dei sistemi di illuminazione per diverse tecnologie di illuminazione artificiale e per diversi edifici di riferimento. Individuazione del fattore di luce diurna per diversi edifici di riferimento e diverse geometrie di calcolo.
- Caso studio. Analisi tecnico-economica di un edificio sottoposto a retrofit illuminotecnico, valutato secondo la metodologia di calcolo da norma e secondo il metodo alternativo proposto.

Obiettivi finali: revisione della norma sopracitata, introducendo un metodo alternativo più accurato, e implementazione di un metodo utilizzabile dal Ministero dello Sviluppo Economico per individuare limiti e requisiti per servizio energetico in questione.

Risultati/Rapporti:

- Verifica dei modelli e costruzione di un anno tipo per i dati di illuminamento globale e diffuso su piano orizzontale
- Definizione di condizioni al contorno per l'implementazione del metodo per il calcolo dei consumi elettrici per illuminazione artificiale
- Analisi tecnico-economica per il retrofit illuminotecnico di un edificio per uffici condotta con diverse metodologie di calcolo

Principali collaborazioni: Università Sapienza di Roma

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

d. Tecnologie per involucri edilizi ad elevate prestazioni

- Sviluppo metodi di misura per invecchiamento accelerato dei cool materials e le prestazioni energetiche di sistemi trasparenti

Studi, sperimentazioni e sviluppo di metodi, sulla base di quanto fatto nella precedente annualità, su materiali e componenti per involucri ad elevate prestazioni con obiettivo nZEB (nearly Zero Energy Buildings). Lo studio sui componenti di involucro opaco sarà finalizzato alla ultimazione della procedura di invecchiamento accelerato sui cool materials per coperture, che sarà calibrata sulla conclusione del ciclo di invecchiamento naturale triennale condotto a Roma e Milano. Le attività sull'involucro trasparente saranno orientate su soluzioni innovative. Lo studio sui componenti vetrati con integrazione BiPV sarà replicato sui sistemi view through, con analisi energetica di edifici equipaggiati con soluzioni di questo tipo, condotta con codici di calcolo dinamici. Saranno infine sperimentate nuove soluzioni di

involucro trasparente avanzato in laboratorio e sul campo, con valutazione dei risultati attraverso analisi termiche in regime dinamico con codici di calcolo complessi. Saranno infine confrontati i metodi di misura e calcolo delle proprietà termiche di sistemi trasparenti con schermature integrate.

Obiettivi finali: Definizione di una metodologia di invecchiamento accelerato per Cool Roof. Test e sviluppo di sistemi semitrasparenti complessi, con integrazione di fonti rinnovabili.

Risultati/Deliverable:

- Metodologia per l'invecchiamento accelerato di *Cool Roof*
- Test e assessment di sistemi adattativi per l'involucro edilizio trasparente
- Misura e prestazioni di sistemi trasparenti integrati con PV del tipo view-through
- Misura e analisi numerica della trasmittanza termica di vetrate isolanti con schermature in intercapedine

Principali collaborazioni: IUAV, Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, Stazione Sperimentale del Vetro

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

e. Piano integrato per l'informazione, sensibilizzazione e diffusione sui temi dell'efficienza energetica verso le Pubbliche Amministrazioni

- Modelli e strumenti per la implementare campagne di informazione e sensibilizzazione sui temi dell'Efficienza Energetica per le PA

Le Pubbliche Amministrazioni centrali e locali, principali attori del cambiamento, lamentano spesso scarsi budget a disposizione per la comunicazione e la formazione rinunciando, in molti casi, ad attivare azioni di sensibilizzazione che potrebbero generare risparmi immediati pari al 10-15% e a qualificare la domanda dei propri decision maker e dei tecnici per consentire loro di interfacciarsi in maniera consapevole con le aziende che offrono servizi energetici.

Per venire incontro a tale esigenza, rispetto alle due linee del progetto (comunicazione e formazione), durante la terza annualità verranno sviluppati e realizzati in due linee:

- Strumenti per aiutare la PA ad elaborare ed implementare campagne di informazione e sensibilizzazione sui temi dell'Efficienza Energetica, valutando il loro (specifico ed isolato) effetto sui target di riferimento;
- Verrà definito, sulla base della sperimentazione realizzata nella seconda annualità, il modello online del corso EQUEM PA e verrà diffuso a livello nazionale.

Rapporti/Deliverable:

- Manuale rivolto alla PA per disegnare, implementare e valutare campagne sull'efficienza energetica;
- *Tool* per condurre una valutazione di efficacia delle campagne, adeguata alle caratteristiche e alle specificità di ognuna
- *Reporting tool* per redigere in modo standardizzato un report sul processo di realizzazione di una campagna e comprensivo degli studi di valutazione utilizzati
- Giornata di presentazione di tali materiali rivolta alla PA
- Modulo didattico definitivo del Corso EQUEM PA
- Relazione tecnica finale del percorso di implementazione
- Roadshow dedicato alla formazione sull'EE nella PA per la presentazione del corso con l'organizzazione di tre workshop a livello nazionale inseriti all'interno di eventi nazionali dedicati all'EE

Principali collaborazioni: Università di Tor Vergata, Facoltà di Economia, ISNOVA

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Risparmio di energia nel settore civile con prodotti e componenti energeticamente efficienti identificati attraverso l'etichetta energetica

Il cosiddetto "enforcement", cioè l'applicazione (attuazione, monitoraggio e controllo) delle politiche di efficienza energetica, principalmente etichettatura energetica e progettazione ecosostenibile

(ecodesign) per i "prodotti connessi all'energia" inclusa l'illuminazione, si realizza su tre piani strettamente interdipendenti: nazionale, europeo ed internazionale, e comprende prodotti del settore domestico, professionale ed industriale.

Sul piano comunitario è infatti ben più che necessario collaborare con la Commissione Europea, anche a livello informale o di Gruppi di Esperti nazionali, nella definizione degli appropriati elementi tecnici (energetici e prestazionali) da includere nelle misure di implementazione (Regolamenti comunitari) di etichettatura ed ecodesign 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 parallelo l'Italia parteciperà anche ai lavori per la revisione delle direttive quadro Etichettatura ed Ecodesign: le due nuove direttive dovrebbero essere proposte al Parlamento e Consiglio nella primavera del 2015 ma gli studi preparatori sono in corso e si protrarranno per tutto l'anno. Su un piano più strettamente nazionale è invece essenziale monitorare l'attuazione di tali misure di etichettatura/ecodesign e verificare la conformità dei prodotti immessi sul mercato per proteggere i consumatori ma anche l'industria nazionale dalla concorrenza sleale. Un terzo piano, trasversale, contemporaneamente internazionale, europeo e nazionale riguarda invece il lavoro di preparazione degli standard (metodi di misura) che sono propedeutici alla definizione prima e al controllo poi di qualsiasi misura politica. A ciascuno di questi livelli corrispondono attività diverse, che necessitano di personale scientifico e tecnico qualificato e competente per la loro realizzazione e di adeguate risorse economiche.

Risultati/Deliverable:

- Linee Guida "Elementi per una efficace sorveglianza del mercato", che descriverà il case study su illuminazione e frigoriferi, conterrà la raccolta dei laboratori di prova presenti sul territorio nazionale e l'analisi della differenza fra il nuovo e il vecchio standard dei frigoriferi, essenziali per una efficace sorveglianza del mercato
- Brochure dal titolo: "L'etichettatura energetica: dagli eldome ai componenti e sistemi"
- Report "Il consumatore pro-attivo": linee guida per gli operatori del settore per il fattivo coinvolgimento dei potenziali acquirenti sui temi dell'energia e dell'efficienza energetica, che conterrà anche l'analisi della presenza delle etichette energetiche nei negozi (indagine realizzata da una società di analisi del mercato) in un campione di negozi

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Strumento per aumentare la sensibilizzazione dell'utente finale sui temi del risparmio energetico, in riferimento alla scelta di comportamenti più consapevoli nell'utilizzo dell'energia

L'attività di ricerca proposta mira a realizzare uno strumento di facile interfaccia che tenga in considerazione le due dimensioni, domestica e spostamenti quotidiani, rivolto alla promozione del risparmio energetico, piuttosto che ad azioni di compensazione. Lo strumento dovrà essere quindi in grado di mostrare ed informare l'utente sul risparmio energetico ed economico associato a comportamenti maggiormente virtuosi, alternativi a quelli abituali, in riferimento alle scelte che egli quotidianamente effettua, sia in casa che fuori.

Risultati/Deliverable:

- Strumento per la sensibilizzazione dell'utente finale sui temi del risparmio energetico, in riferimento alla scelta di comportamenti più consapevoli nell'utilizzo dell'energia

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

- Comunicazione e diffusione delle attività IEA in materia di ricerca e innovazione tecnologica sugli usi finali dell'energia

Il progetto mira a valorizzare e sistematizzare le attività già in corso come delegato italiano al comitato IEA End-Use Working Party e chair del Building Coordination Group. Obiettivo principale è quello di facilitare comunicazione, coordinamento, monitoraggio delle attività dei diversi soggetti attivi nella ricerca IEA in materia di tecnologie per gli usi finali dell'energia ai fini di definire e migliorare l'impatto

sul sistema programmatico e normativo e sul mercato.

Attività saranno indirizzate per:

- Contribuire al coordinamento delle attività IEA insieme ai delegati nazionali CERT, SLT, EEWP e REWP
- *Redarre una reportistica* sulle attività nazionali verso IEA (descrizione dell'interazione tra programmi e politiche RD&D MISE, MIUR, iniziative private italiane e programmi IEA)
- Individuare attività RS&D e contatti di rilievo ai fini della partecipazione a iniziative e programmi IEA (es. facilitazione contributo italiano a ETP 2016)
- Facilitare della comunicazione tra diversi IA a partecipazione italiana
- Organizzare giornate EA (IA-days) nazionali per l'ottimizzazione della diffusione e dell'uso dei risultati della ricerca energetica IEA in Italia presso i diversi attori di mercato
- Contribuire alla messa a punto di una metodologia per la valutazione dell'impatto e del valore aggiunto della ricerca IEA (con riferimento a nuova procedura *Request for Extention* e valutazione IA in ambito IEA).

Risultati(Derivable):

- Rapporto sul Building Coordination Group meeting
- Rapporto sulla prossima riunione EUWP
- Aggiornamento sulle opportunità di collaborazione nell'ETP 2016 *Urban Energy* Organizzazione di giornate di comunicazione delle attività IEA con i maggiori attori di mercato
- Rapporto di sintesi delle attività di progetto sopra elencate

Durata: Ottobre 2014 - Settembre 2015

f. Comunicazione e diffusione dei risultati

Realizzazione di un portale interattivo di comunicazione. È prevista la realizzazione di un portale - web inteso come hub tecnologico con lo scopo di creare e sviluppare un circuito virtuoso di esperienze positive all'interno della P.A. e per mettere a disposizione delle stesse alcuni strumenti di comunicazione e veicolazione. La realizzazione di tale portale sarà rivolto principalmente alle pubbliche amministrazioni, ritenute protagoniste importanti nella promozione della cultura del risparmio e dell'efficienza energetica. Esse hanno infatti il duplice ruolo di promuovere al proprio interno tale cultura e di essere promotrici verso soggetti terzi della stessa cultura mirata ad offrire servizi, in merito al risparmio e all'efficientamento energetico. Questo portale sarà caratterizzato da alcune funzioni per renderlo interattivo immediato e di facile utilizzo, integrato con i social network, dinamico e aperto a future modifiche, controllabile nel feedback attraverso un sistema di statistiche e posizionato in modo visibile nei risultati dei principali motori di ricerca.

Si intende raggiungere tali obiettivi attraverso attività di ricerca per una più precisa definizione del target e dei suoi bisogni, attraverso specifiche e puntuali azioni strategiche di comunicazione e di diffusione dei risultati; le azioni saranno sviluppate e implementate utilizzando anche le attività e i risultati dei Tavoli 4E, in cui sono coinvolti un grande numero di stakeholder (<http://www.energia.enea.it/edilizia/tavoli-di-lavoro-4e/>), e le azioni integrate, relative alle linee di ricerca, da strutturare in maniera strategica per favorire il loro processo di trasferimento.

Sarà organizzato da ENEA per le attività specifiche di comunicazione e diffusione dei risultati ottenuti nel progetto un workshop per la comunicazione delle attività e dei risultati raggiunti.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di un portale interattivo di comunicazione
- Workshop per la comunicazione dei risultati raggiunti

Principali collaborazioni: Università di Perugia

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

a. Efficienza energetica negli edifici del territorio del Sulcis

L'obiettivo consiste nello svolgimento di due macro attività relative alla caratterizzazione del patrimonio edilizio pubblico e lo sviluppo di una metodologia per interventi di efficienza energetica in edifici vincolati nel territorio del Sulcis.

a.1 Realizzazione un data base degli edifici pubblici

Attività SOTACARBO

Le attività, tenendo conto di quanto previsto nel Piano straordinario per il Sulcis e della valenza strategica che dovrà acquisire il Polo Tecnologico del Sulcis, si indirizzeranno, in questa prima annualità, nello sviluppo e attuazione di metodologie e strumenti finalizzati alla realizzazione di interventi per l'efficienza energetica nel settore del civile nel territorio della Provincia dei Carbonia Iglesias, contribuendo alla crescita delle conoscenze del personale del Polo Tecnologico ed alla competitività delle PMI.

Nell'ambito della presente attività si definiranno e svilupperanno metodologie, modelli e strumenti per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, in particolare della PA, e delle prestazioni energetico - ambientali di prodotti e componenti per l'edilizia, facendo riferimento al quadro normativo vigente europeo, nazionale e regionale in materia.

Si prevede di poter testare i risultati della ricerca, con il coinvolgimento della PA, in particolare per gli edifici scolastici, per una prima indagine sul patrimonio edilizio pubblico i cui dati saranno raccolti in un apposito data base ed in un rapporto contraddistinto dalla presentazione di primi indici statistici indicatori. I risultati ottenuti potranno essere utili per la definizione strategica degli obiettivi, delle condizioni generali di sviluppo e l'attuazione dei relativi programmi nel Sulcis Ighesiente previsti nel protocollo d'Intesa- Piano Sulcis.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Realizzazione di un data base degli edifici pubblici insistenti sul territorio del Sulcis: caratterizzazione edifici e indicatori statistici"

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

Attività ENEA

Sviluppo di una metodologia di indagine finalizzata alla creazione di una banca dati regionale, realizzazione di schede tecniche per la caratterizzazione degli edifici, utilizzo di strumenti informatici per la valutazione degli interventi e realizzazione di corsi di formazione al personale Sotacarbo o personale da questa coinvolti per l'indagine conoscitiva e realizzazione di un primo inventario degli edifici pubblici del Sulcis. In questo ambito si prevede anche l'organizzazione di seminario aperto a tutti gli operatori per la comunicazione dell'attività.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo della metodologia di indagine, Realizzazione di schede tecniche moduli per la formazione del personale SOTACARBO per la creazione di un primo data base degli edifici pubblici insistenti sul territorio del Sulcis

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2. Metodologia di analisi del sistema edificio/impianto per l'efficientamento energetico di edifici vincolati

Si prevede di sviluppare, nell'ambito della certificazione energetica di edifici vincolati (di valenza storica e/o culturale) una metodologia di analisi del sistema edificio/impianto finalizzata all'individuazione di soluzioni tecniche impiantistiche per l'efficientamento energetico di edifici con queste caratteristiche. In pratica si opera sugli impianti energetici e sull'integrazione di fonti rinnovabili integrate. Tra le diverse soluzioni

saranno investigate quelle relative ai sistemi basati su pompe di calore geotermiche che ben si prestano all'integrazione con questo tipo di edifici grazie al ridotto impatto visivo. Una soluzione ulteriore è invece quella che prevede l'integrazione di impianti di illuminazione e di produzione di energia elettrica con sistemi di arredo urbano opportunamente integrati in aree verdi prospicienti agli edifici o in prossimità delle vie di accesso e dei percorsi pedonali.

Attività Sotacarbo

la Sotacarbo provvederà ad acquisire ed installare c/o il C.R. Sotacarbo un prima dotazione di dispositivi e attrezzature di mercato per l'analisi del sistema edificio (quali energymeter 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 un primo monitoraggio del sistema edificio/impianto le cui risultanze ricadono all'interno di una prima applicazione della metodologia su di un edificio a valenza storico-culturale.

Attività ENEA

L'ENEA affiancherà la Sotacarbo nella fase di scelta e acquisto della sensoristica di cui sopra e svolgerà delle attività di training ai tecnici Sotacarbo per le modalità di installazione dei dispositivi, il loro funzionamento per l'acquisizione dei dati e le relative elaborazioni. ENEA svilupperà una metodologia, che prevede la realizzazione di un sistema georeferenziato per la localizzazione dei singoli edifici e una scheda di sintesi per la loro caratterizzazione, e organizzerà corsi di formazione al personale Sotacarbo per l'indagine conoscitiva e realizzazione di un primo inventario degli edifici pubblici del territorio del Sulcis.

Si prevede di organizzare corsi di formazione sul tema dell'efficienza energetica degli edifici vincolati anche alla luce di quanto sta maturando nel contesto della Concerted Action su questi temi. Affiancamento al personale Sotacarbo per i criteri da seguire e le tecnologie da valutare in relazione alle zone climatiche e alle tipologie di edificio su cui intervenire.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico: Metodologia di analisi per migliorare l'efficienza energetica del sistema edificio/impianto in edifici vincolati

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

Programma temporale e preventivi economici

PARTE A. ATTIVITÀ ENEA

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole. Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica												
	<i>a.1 Analisi e strumenti</i>												
	<i>a.2 Caratterizzazione edifici</i>												
	<i>a.3 Sviluppo sistemi</i>												
b	Modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni												
c	Implementazione di una metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di illuminazione naturale												
d	Tecnologie per involucri edilizi ad elevate prestazioni												
e	Piano per l'informazione, sensibilizzazione e la diffusione sui temi dell'efficienza energetica verso le pubbliche amministrazioni												
f	Comunicazione e diffusione dei risultati												

PARTE B. ATTIVITÀ POLO TECNOLOGICO DEL SULCIS

Sigla	Denominazione obiettivo	2014			2015								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
PARTE B.1 – ATTIVITA' SOTACARBO													
	<i>a.1 Realizzazione un data base degli edifici pubblici</i>												
	<i>a.2 Metodologia di analisi del sistema edificio/impianto per l'efficientamento energetico di edifici vincolati</i>												
PARTE B.1 – ATTIVITA' ENEA													
	<i>a.1 Realizzazione un data base degli edifici pubblici</i>												
	<i>a.2 Metodologia di analisi del sistema edificio/impianto per l'efficientamento energetico di edifici vincolati</i>												

PARTE A. 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	Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole. Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica									
	<i>a.1 Analisi</i>	3450	130	78	0	1	70	1	85	365
	<i>a.2 Strumenti</i>	1990	75	45	0	0	30	1	150	301
	<i>a.3 Sviluppo sistemi</i>	2970	112	67	0	0	30	0	55	264
	<i>Subtotale Ob. a</i>	8410	317	190	0	1	130	2	290	930
b	Modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni	5520	208	124	0	0	0	0	110	442
c	Implementazione di una metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di illuminazione naturale	7000	264	157	8	2	0	5	30	466
d	Tecnologie per involucri edilizi ad elevate prestazioni	6900	260	156	7	3	10	3	85	524
e	Piano integrato per l'informazione e la diffusione delle tecnologie verso i cittadini, le aziende e le pubbliche amministrazioni	5520	208	124	0	2	0	10	25	369
f	Comunicazione e diffusione dei risultati	4000	151	90	0	2	0	1	25	269
TOTALE		37350	1408	841	15	10	140	21	565	3000

* 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 ENEA è stato utilizzato, tenendo conto delle attività da svolgere e della tipologia del personale impiegato, il costo diretto medio riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto C.2 del PAR 2013), pari a 37,7 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 22,6 €/h.

1. Indicazioni sulle principale attrezzature da acquistare e stima dei relativi costi

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
c	Sistema acquisizione dati misure riflettanza solare superfici esterne-Albedometro	8.000	2.000	
d	Stazione per acquisizione e il monitoraggio dati grandezze climatiche esterne e interne	2.000	600	

(*) 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	Seminario formazione /informazione	1.000
c	Aggiornamenti SW per le simulazioni e valutazioni dell'illuminazione artificiale /naturale	2.000
d.	Aggiornamenti SW e codici di calcolo per le prestazioni energetiche degli edifici	2.000
d	Forniture materiale di consumo	1.000
e	Organizzazione workshop nazionali	2.000
f	Organizzazione workshop	2.000
TOTALE		10.000

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

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Contratto ricerca (CRESME)	70.000
a.1	Contratto ricerca (CTI)	30.000
a.3	Contratto ricerca (FIRE)	30.000
d.	Contratto ricerca (SSV)	10.000
Sub Totale		140.000

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 strumenti e apparecchiature e possono svolgere attività nei propri laboratori, relative all'analisi, prove di laboratorio e le valutazioni per le prestazioni energetiche del sistema edificio impianto e di componenti dell'involucro edilizio.

La realizzazione delle attività prevedono importi, a preventivo, di circa € 30.000. Tali importi sono stati valutati sulla base del personale da impegnare per le attività e relative alle prove e/o simulazioni da effettuare con codici di calcolo complessi, considerando un impegno di circa 200 ore per personale PO e circa 450 di personale RU. Fa eccezione l'importo previsto con l'Università di Pisa Dip. Energia per cui si prevede un importo di circa € 75.000 per cui si prevede un impegno di circa 400 ore di personale PO e 950 ore di personale RU. Questa previsione è determinata dal fatto che l'Università di Pisa dovrà svolgere attività, oltre che per lo sviluppo del SEAS Light e delle lezioni e-learning per l'utilizzo del SEAS, anche ad attività di manutenzione al SEAS per la gestione del sito provvedendo a dare assistenza agli utenti tramite FAQ o consulenza alla risoluzione di problemi.

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
REQUEST: Intelligent Energy Europe (EIE)	Obiettivi: facilitare l'incontro tra DOMANDA e OFFERTA; accrescere gli interventi di efficienza energetica nel mercato residenziale: dotare le Agenzie per l'Energia nazionali e regionali di tecniche e di strumenti convalidati rivolti a supportare proprietari e imprese.

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 – Aea 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 (Stakeholders) intorno alle priorità del cost-effectiveness e cost-optimality (efficacia e ottimizzazione economica)

6. Risultati ottenuti nella annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob.	Risultati conseguiti PAR 2013	Ob.	Risultati previsti PAR 2014
a-Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole. Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica			
a.1	Analisi critica dei dati sui consumi elettrici del terziario: gli edifici del Politecnico di Milano	a.1	Analisi e principali metodologie di calcolo dell'energia incorporata nei materiali e nei sistemi energetici disponibili
a.1	Individuazione delle innovazioni ai fini del contenimento dei consumi elettrici e in generale dei consumi energetici degli edifici e dei costi dei nZEB da parte della pubblica amministrazione	a.1	Atlante per la scelta rapida degli interventi da realizzare per la riqualificazione degli edifici
a.1	Sviluppo e aggiornamento della metodologia cost optimal per la valutazione della rispondenza degli standard energetici nazionali. Analisi di sensibilità della metodologia cost optimal per gli edifici residenziali ed a uso uffici	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.1	Analisi dell'influenza del comportamento dell'utenza sui consumi energetici finali degli edifici: fattori influenzanti, modelli probabilistici per la simulazione degli occupanti e profili comportamentali tipo	a.1	Analisi dell'influenza del comportamento dell'utenza sui consumi energetici finali degli edifici: fattori influenzanti, modelli probabilistici per la simulazione degli occupanti e profili comportamentali tipo.
a.1	Materiali e sistemi innovativi per l'involucro edilizio opaco: abaco di soluzioni, modelli per la simulazione termoenergetica e metodi di analisi sperimentale	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.1	Sistemi impiantistici ad alta efficienza energetica operanti con basse differenze di temperatura: abaco delle soluzioni, metodi di dimensionamento e nuove tecnologie	a.1	Modifica e aggiornamento del sw DOCET, sw semplificato per la diagnosi energetica degli edifici del residenziale esistenti, al nuovo quadro normativo
a.1	Analisi sistematica della sostenibilità economica nell'adozione di soluzioni per l'efficienza energetica negli edifici della Pubblica Amministrazione (PA) in Italia, con particolare riferimento al comparto delle Amministrazioni Pubbliche Locali	a.1	Sviluppo di una metodologia per la certificazione energetico-ambientale degli edifici con una valenza energetico-sostenibile

a.1	Analisi delle barriere che ostacolano l'accesso, da parte dei Comuni italiani, ai fondi disponibili a livello europeo e locale a supporto degli interventi di efficienza energetica nella PA	a.1	Sviluppo di una metodologia per valutare gli impatti occupazionali imputabili ad interventi di efficienza energetica
a.a	Sviluppo del SW SEAS per le diagnosi energetiche di ambienti ospedalieri dedicati alla degenza e Corsi informativi/formativi del Tool informatico semplificato per le diagnosi energetiche degli edifici	a.1	Analisi e principali metodologie di calcolo dell'energia incorporata nei materiali e nei sistemi energetici disponibili
a.1	Applicazione della metodologia comparativa di cui all'articolo 5 della direttiva 2010/31/UE, a tipologie di edifici esistenti soggetti a ristrutturazione e riqualificazione energetica, con adattamento al contesto italiano	a.2	Analisi della dotazione impiantistica di climatizzazione (estiva ed invernale) del patrimonio edilizio ad uso residenziale e terziario e valutazione dell'impatto economico in relazione a misure di politiche energetiche e ambientali
a.2	Caratterizzazione degli edifici non residenziali ad uso scolastico della PA siciliana	a.3	L'accumulo di energia termica per la realizzazione di edifici NZEB
a.2	Valutazione di applicabilità del metodo RTS come codice di calcolo per la certificazione energetica degli edifici.	a.3	Sviluppo di sistemi e di tecnologie di sicurezza e di smart metering per la diffusione dell'utilizzo del vettore gas per l'efficientamento degli edifici pubblici di grandi dimensioni
a.3	Efficientamento energetico degli edifici caratterizzati da grandi volumi mediante l'utilizzo del gas come un unico vettore energetico e sistemi tecnologici di micro generazione distribuita	a.3	Sviluppo di attività di ricerca per l'implementazione di metodologie atte a valutare l'intensità dell'isola di calore urbana, l'impatto energetico a larga scala
a.3	Potenzialità offerte dall'accumulo termico a lungo periodo dell'energia solare, sia per soddisfare la produzione di riscaldamento e raffrescamento ambienti, sia per quello che riguarda l'integrazione nella struttura dell'edificio delle tecnologie captanti la radiazione e di accumulo dell'energia prodotta per gli edifici NEZB	a.3	Sviluppo di un sistema informatico per valutare in modo dinamico le prestazioni energetiche del sistema edificio impianto finalizzato alla certificazione energetica degli edifici
a.3	Efficientamento energetico degli edifici caratterizzati da grandi volumi mediante l'utilizzo del gas come un unico vettore energetico e sistemi tecnologici di micro generazione distribuita		
b. Studi e progettazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni		b. Modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni	
b.1	Progettazione di strumento di calcolo per la redazione del bilancio energetico territoriali	b	Linee guida per l'analisi dei dati di assorbimento elettrico di edifici del terziario pubblico
b.1	Studio e validazione di un modello previsionale di consumo energetico per la verifica dell'efficienza energetica dei centri sportivi	b	Sviluppo di modelli e strumenti informatici a supporto delle decisioni per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici della PA
b.1	Studio e validazione di un modello previsionale di consumo energetico per la verifica dell'efficienza energetica dei centri sportivi	b	Sviluppo di modelli per la quantificazione del potenziale Ventilative Cooling nell'edilizia
b.1	Linee guida per l'applicazione di piccole e medie reti di teleriscaldamento nei comuni in fascia climatica E e F	b	Realizzazione di un sistema di controllo intelligente per la valutazione dei consumi energetici degli edifici e definizione di indicatori di prestazione ex ante ex post l'utilizzo di sistemi di Building Automation
b.1	Indagine sulla conoscenza e diffusione del teleriscaldamento nei comuni in zone E ed F e analisi dei dati di tre reti	b	. Modelli di regressione per la stima dei fabbisogni energetici per la climatizzazione degli edifici.
b.1	Sviluppo di una metodologia per il labelling energetico di componenti trasparenti per l'involucro edilizio, lucernari e infissi	b	Sviluppo di un sistema informatico per gli edifici ad uso scolastico per le valutazioni tecnico-economiche degli interventi
b.2	Analisi delle barriere che ostacolano l'accesso, da parte dei Comuni italiani, ai fondi disponibili a livello europeo e locale a supporto degli interventi di efficienza energetica nella PA	b	Definizione di un modello di contratto per l'Energy Performance Contract

b.2	Rapporto sulla raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a scuole ed uffici	b	Analisi dell'impatto delle valvole termostatiche sui consumi finali degli utenti collegati alle reti di teleriscaldamento dei comuni montani di zona climatica E e F
b.2	Linee guida per l'Energy Performance Contract, coerente con la Direttiva 27/2012/UE, da utilizzare dalle PA	b	Sviluppo di una metodologia per la valutazione dell'impatto occupazionale per interventi di efficienza energetica nella green economy
b.2	Linee guida per l'Energy Performance Contract, coerente con la Direttiva 27/2012/UE, da utilizzare dalle PA		
b.2	Intervento dimostrativo di riqualificazione energetica in un edificio pubblico con destinazione d'uso scolastico		
c. Proposta di applicazione dell'Indice di Severità Climatico		c. Implementazione di una metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di illuminazione naturale	
Definizione delle zone climatiche estive e della durata della stagione di climatizzazione estiva per gli edifici residenziali nel territorio italiano attraverso la metodologia dell'indice di severità climatica		Sviluppo di una metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico per illuminazione artificiale in funzione della disponibilità di illuminazione naturale	
		Individuazione delle potenze specifiche dei sistemi di illuminazione per diverse tecnologie di illuminazione artificiale e per diversi edifici di riferimento	
		Sviluppo di attività di ricerca per l'implementazione di metodologie atte a valutare l'intensità dell'isola di calore urbana, l'impatto energetica a larga scala	
d.Sviluppo e caratterizzazione schermature		d. Tecnologie per involucri edilizi ad elevate prestazioni	
ECO-GREENROOF & VERTICAL GREENERY SYSTEM"- Validazione di modelli semplificati per il bilancio energetico dei fabbricati		Test e assessment di sistemi adattativi per l'involucro edilizio trasparente	
Analisi del comportamento energetico di un fabbricato-tipo in assenza/presenza di tetto/parete verde per ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici in area urbana, rispetto alle aree climatiche italiane		Sviluppo metodi di misura per invecchiamento accelerato dei cool materials e le prestazioni energetiche di sistemi trasparenti	
e.Sviluppo, sperimentazione e caratterizzazione di materiali innovativi			
Valutazione parametrica delle prestazioni dell' involucro edilizio semitrasparente per illuminazione artificiale e climatizzazione estiva nel contesto Italiano			
Caratterizzazione dei cool materials per le chiusure verticali dell'involucro edilizio			
f. Formazione		e. Piano integrato per l'informazione, sensibilizzazione e diffusione sui temi dell'efficienza energetica verso le Pubbliche Amministrazioni	
Piano integrato di comunicazione		Sviluppo di modelli per la formazione, comunicazione e sensibilizzazione sui temi dell'efficienza energetica indirizzati alla Pubblica Amministrazione	
Definizione, validazione e verifica di requisiti di ecodesign e di etichettatura energetica per gli apparecchi domestici, professionali e commerciali, in particolare nel settore refrigerazione, lavaggio, cottura, condizionamento e illuminazione. Definizione e pubblicazione di standard internazionali ed europei per questi prodotti		Sviluppo di modelli per la formazione, comunicazione e sensibilizzazione sui temi dell'efficienza energetica indirizzati alla Pubblica Amministrazione	
Strumento per aumentare la sensibilizzazione dell'utente finale sui temi del risparmio energetico, in riferimento alla scelta di comportamenti più consapevoli nell'utilizzo dell'energia		Strumento per aumentare la sensibilizzazione dell'utente finale sui temi del risparmio energetico, in riferimento alla scelta di comportamenti più consapevoli nell'utilizzo dell'energia	

g. Comunicazione	f. Comunicazione e diffusione risultati
EduchiAmo, InformiAmo, RisparmiAmo. Piano di comunicazione per un'Italia più consapevole e maggiormente rivolta al risparmio energetico e all'efficienza energetica	Comunicazione e diffusione delle attività IEA in materia di ricerca e innovazione tecnologica sugli usi finali dell'energia
Piano di Comunicazione per l'Efficienza Energetica	Realizzazione di un portale interattivo di comunicazione

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	Efficienza energetica negli edifici del territorio del Sulcis									
	a.1 Realizzazione un data base degli edifici pubblici	1030	39	23	0	2	0	4	160	228
	a.2 Metodologia di analisi del sistema edificio/impianto per l'efficientamento energetico di edifici vincolati	2070	78	46	0	3	0	5	140	272
	TOTALE	3100	117	69	0	5	0	9	300	500

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	Efficienza energetica negli edifici del territorio del Sulcis									
	a.1 Realizzazione un data base degli edifici pubblici	4100	94	57	0	1	0	8	0	160
	a.2 Metodologia di analisi del sistema edificio/impianto per l'efficientamento energetico di edifici vincolati	3390	78	46	6	7	0	3	0	140
	TOTALE	7490	172	103	6	8	0	11	0	300

1. Indicazioni sulla tipologia e stima dei costi di esercizio - Sotacarbo

Obiettivo	Tipologia di spesa	Costo previsto (€)
a.1	Iscrizione Convegno Hypothesis	500
a.2	Iscrizione altri convegni	1.000
a.2	Organizzazione workshop	6.000
	Totale	7.500

2. Indicazioni e stime di costo per servizi di consulenza, acquisizione competenze e brevetti- Sotacarbo

Non sono previste consulenze da parte di Sotacarbo

3. Attività previste per le Università cobeneficiarie, motivazioni della scelta e relativi importi

Non sono previste attività per le Università da parte di Sotacarbo.

4. 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 sono presenti progetti europei e non sulle tematiche riguardanti l'efficienza energetica, da parte di Sotacarbo

5. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob.	Risultati ottenuti PAR 2013	Risultati attesi PAR 2014
a.1	Non erano previste attività	Realizzazione di un data base degli edifici pubblici (scuole pubbliche di primo e secondo grado) insistenti sul territorio della Regione Sardegna.
a.2	Non erano previste attività	Monitoraggio dell'edificio sede del Centro Ricerche Sotacarbo attraverso un sistema di Building Energy Management, i cui risultati rappresenteranno una applicazione della metodologia su di un edificio a valenza storico-culturale.

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

L'obiettivo del progetto, che è la naturale prosecuzione di quanto realizzato nelle precedenti annualità, è principalmente quello di incrementare il livello di sostenibilità energetica del comparto residenziale, intendendo con il termine sostenibilità energetica la produzione e lo sfruttamento dell'energia in modo da consentire un miglioramento ambientale e socio-economico sia per la singola utenza, sia per il sistema (produttivo e utilizzatore) globale.

La notevole importanza del progetto può essere compresa tenendo conto che, a livello quantitativo, il comparto residenziale è responsabile del 40% del consumo energetico globale nell'Unione Europea (secondo la Direttiva Europea 2010/31/UE del 19 maggio 2010). Per questo motivo, come riportato nella medesima Direttiva, "la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti e necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra".

Un'ulteriore problematica legata alle richieste energetiche del comparto residenziale risiede nella crescente proliferazione di impianti di condizionamento dell'aria in tutti i paesi industrializzati. Questo, come ancora riportato nella direttiva succitata, "pone gravi problemi di carico massimo, (in particolare nel periodo estivo, quando più in generale, aumentano anche le necessità di alimentazione della catena del freddo) che causano un incremento del costo dell'energia elettrica e uno squilibrio del bilancio energetico". Per ridurre tali problematiche, oltre agli interventi suggeriti dalla Direttiva citata, finalizzati al miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici durante il periodo estivo, si deve promuovere un uso razionale e maggiormente responsabile delle fonti energetiche (rinnovabili e non) disponibili.

Per questi motivi, si è deciso di indirizzare il presente progetto verso l'approfondimento di quelle attività teoricamente in grado di ridurre al minimo il contributo delle fonti energetiche tradizionali per il riscaldamento degli ambienti, per il raffrescamento degli stessi e per la produzione di acqua calda sanitaria, massimizzando invece il ricorso alle fonti energetiche di tipo rinnovabile.

Il Decreto Legislativo n. 28 del 3 marzo 2011, attuazione della direttiva europea 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, impone 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 il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e delle seguenti percentuali della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento:

- il 20 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2013;
- il 35 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al 31 dicembre 2016;
- il 50 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato dal 1° gennaio 2017.

Gli unici generatori in grado di rispettare i dettami del DLgs sono le pompe di calore elettriche a compressione, le pompe di calore alimentate a gas (sia a compressione che ad assorbimento), le caldaie a biomassa e gli impianti di solar heating and cooling.

Non esiste una sola tecnologia che sia sempre la migliore in qualsiasi situazione: la località di installazione, la destinazione d'uso, il tipo di edificio, la superficie da servire ed il numero di ore annue di accensione degli impianti determinano la scelta tra le diverse tecnologie presenti sul mercato.

L'obiettivo del progetto è quello di mostrare come un utilizzo appropriato delle fonti di energia rinnovabile disponibili e l'adozione di sistemi produttivi integrati, in grado di sfruttare in maniera ottimale tutti i flussi termici prodotti, possa soddisfare i punti sopra indicati consentendo di ottenere i desiderati risultati di risparmio, efficienza energetica e salvaguardia ambientale.

Diverse attività di ricerca e sviluppo tecnologico sono quindi focalizzate allo studio di processi di condizionamento degli edifici basati su tecnologie innovative che utilizzano l'energia solare (solar heating and cooling) o comunque fonti di energia alternative. Questo perché, come già evidenziato, le tecnologie tradizionalmente utilizzate per il condizionamento invernale ed estivo (sistemi a compressione con motori elettrici) sono causa di notevoli sovraccarichi della rete elettrica di distribuzione con conseguente rischio di black-out elettrici, nonostante negli ultimi anni i valori di COP (*Coefficient Of Performance*) ed EER (*Energy Efficiency Ratio*) delle pompe di calore invertibili siano di molto migliorati.

L'impiego dell'energia solare nella stagione estiva per il condizionamento dell'aria costituisce peraltro una soluzione tecnica molto interessante dal punto di vista energetico, vista la coincidenza della domanda di climatizzazione con la disponibilità di energia solare.

Lo sviluppo delle tecnologie di solar heating & cooling e il raggiungimento di elevati livelli di produttività ed affidabilità può peraltro consentire l'impiego di tali sistemi anche in ambito industriale, laddove sia richiesta una produzione di calore di processo a media temperatura.

Un'importante parte del progetto è dedicata allo studio e alla realizzazione di prototipi di pompe di calore da adibire alla climatizzazione di ambienti e alla produzione di acqua calda sanitaria. Pur potendo considerare le pompe di calore una tecnologia matura, sono ipotizzabili soluzioni ancora più efficienti avvalendosi ad esempio della tecnologia ad inverter. Inoltre, lo sviluppo di pompe di calore in grado di garantire elevati COP in funzionamento invernale ed elevati EER in funzionamento estivo può consentire un abbattimento dei costi di esercizio anche del 50% rispetto ad impianti tradizionali.

L'utilizzo della pompa di calore permette di soddisfare responsabilmente il comfort richiesto negli ambienti serviti in termini di riscaldamento, raffreddamento e produzione di acqua calda sanitaria. La pompa di calore preleva direttamente dall'ambiente circa il 75% dell'energia necessaria al comfort utilizzando solo il 25% dalla rete elettrica. Il basso consumo di energia elettrica garantisce una riduzione delle emissioni di CO₂ fino al 60% rispetto ai sistemi tradizionali basati sull'uso di combustibili fossili.

Per valutare e rendere più performanti le diverse tecnologie emergenti sono state realizzate presso i Centri Ricerche ENEA di Casaccia e di Trisaia alcune facility di prova dei vari componenti d'impianto (es. pannelli solari termici, scambiatori di calore, sistemi di dissipazione passiva, etc.) ed alcuni impianti pilota di tipo sperimentale a servizio di utenze reali o simulate.

Il prodotto di queste attività di ricerca è quindi lo sviluppo di un ventaglio di soluzioni valide e performanti che tengono conto delle zone climatiche dove le stesse amplificano i vari punti di eccellenza di ciascuna tecnologia. L'energia elettrica, abbinata e non all'energia resa disponibile dal sole, può quindi essere un'ottima alternativa ai combustibili fossili che in alcuni casi possono del tutto essere sostituiti dall'accoppiamento di questi due tipi di energia.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Attualmente in Italia sono stati installati pochi impianti di solar cooling che per lo più utilizzano tecnologie e componenti prodotti all'estero e non sono dotati di una logica di regolazione e controllo ottimizzata.

Gli impianti sperimentali realizzati, nell'ambito dell'Accordo di Programma, hanno permesso di constatare quanto questa tecnologia sia valida se vista nel complesso del suo utilizzo (estate e inverno): bisogna ancora sviluppare alcuni componenti specifici e ottimizzare al massimo il sistema di regolazione e controllo di questo tipo di impianti. Le potenzialità di ottimizzazione delle prestazioni ci sono e sono ben note: le principali indicazioni si stanno ottenendo proprio dagli impianti sperimentali che, durante il loro funzionamento costantemente monitorato, "suggeriscono" i punti chiave sui quali agire.

In questo panorama sono presenti alcune industrie italiane che, in collaborazione con Università ed Enti di ricerca, sono in grado di realizzare impianti dimostrativi utilizzando e/o sviluppando tecnologie innovative.

Sono invece largamente diffusi in Italia impianti di climatizzazione che utilizzano pompe di calore: la

maggior parte delle macchine installate però non sono “di ultima generazione” e non utilizzano fluidi refrigeranti a basso impatto ambientale.

I refrigeranti attualmente utilizzati pur avendo un ODP (potenziale di distruzione dell’ozono) molto basso o addirittura nullo, hanno un GWP (potenziale di riscaldamento globale) molto elevato.

Ad esempio, per un gas con GWP100 pari a 1.500 si ha che 1 kg di questo gas introdotto in atmosfera, in 100 anni, causerà lo stesso effetto serra di 1.500 kg di anidride carbonica (CO₂). Si deduce facilmente che più basso è il valore GWP tanto minore sarà l’impatto del gas sull’effetto serra (per l’R410A il GWP100=1.700 e per l’R407C ed R134a il GWP100=1.500).

ENEA sta quindi sviluppando dei prototipi di pompe di calore che utilizzano come fluido refrigerante la CO₂ (R744) che ha un GWP100 = 1.

Obiettivo finale dell’attività

Lo scopo principale del progetto è quello di favorire una crescita nel ricorso a queste tecnologie avanzate di climatizzazione degli edifici. Tale obiettivo richiede parallelamente lo sviluppo di:

- a. componenti innovativi e competitivi, in grado di fornire adeguate prestazioni a costi contenuti;
- b. una varietà di soluzioni tecnologiche che consenta la scelta impiantistica ottimale in funzione della taglia dell’impianto, del tipo di fonte energetica disponibile, di output energetico richiesto (per esempio sola climatizzazione, estiva e/o invernale, oppure climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria) e per ogni situazione climatica presente nel territorio nazionale.

L’analisi dei dati di reale funzionamento degli impianti installati negli edifici “dimostratori” consentirà, validando i modelli di ottimizzazione multiparametrica appositamente sviluppati, di poter realmente conoscere il tempo di pay-back di questi impianti di climatizzazione innovativa. In parallelo tale analisi sarà fondamentale per permettere di valutare il comportamento reale dei vari componenti innovativi atti a realizzare il sistema integrato.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha promosso la costituzione di gruppi di lavoro per il coordinamento delle attività relative alla Ricerca di Sistema Elettrico, affidate tramite Accordi di Programma ai soggetti ENEA, RSE SpA. e CNR. I gruppi di lavoro per il coordinamento hanno lo scopo di coordinare le attività comuni ed affini tra i vari soggetti affidatari con lo scopo di ottimizzare il lavoro ed evitare sovrapposizioni.

Le attività previste da parte di ciascuno degli affidatari sono così riassumibili:

CNR: sviluppo e caratterizzazione di macchine ad adsorbimento (tecnologia “dessiccant”).

ENEA-RSE

ENEA sperimenta nell’Italia Centrale componenti e sistemi di solar heating and cooling con macchine ad assorbimento a semplice effetto, collettori a tubi evacuati ed accumulo termico in cambiamento di fase. Vengono inoltre indagati fluidi refrigeranti a basso impatto ambientale, fra cui propano e CO₂.

RSE sta studiando un impianto dimostrativo di solar cooling/heating con collettori a concentrazione ed assorbitore a doppio effetto, da realizzarsi nell’Italia settentrionale.

Le attività di ENEA e RSE congiuntamente coprono in modo efficace le più attraenti soluzioni impiantistiche d’interesse e garantiscono una ragionevole copertura delle diverse zone climatiche.

Sinergie:

- metodi di analisi e modellazione numerica di impianti di climatizzazione solare;
- monitoraggio delle prestazioni energetiche di impianti realizzati in diverse condizioni climatiche e con differenti soluzioni tecnologiche.

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

Le attività previste consentono lo sviluppo di componenti e soluzioni tecnologicamente avanzate dedicate

al riscaldamento invernale degli ambienti, al condizionamento estivo degli stessi ed alla produzione di acqua calda sanitaria. Queste attività consentiranno di individuare soluzioni non solo energeticamente efficienti, ma soprattutto economicamente convenienti, contribuendo ad una capillare diffusione di queste tecnologie in Italia, con evidenti benefici per la bolletta elettrica del sistema paese. Gli studi sperimentali si rivolgono peraltro a un ampio ventaglio di possibili utilizzatori finali, in quanto il progetto prevede lo studio di impianti di taglia e potenze diverse (singolo edificio, complessi residenziali ed edifici del terziario), in grado di soddisfare esigenze diverse (sola produzione di acqua calda sanitaria oppure sistemi integrati di climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria, ecc.) e di sfruttare la disponibilità di fonti termiche diverse.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione degli obiettivi

a. Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi

L'attività prevede la progettazione, realizzazione, messa in funzione e quindi l'analisi sperimentale del funzionamento di prototipi di componenti innovativi costituenti il sistema integrato in grado di assolvere l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale.

In particolare, si riportano di seguito le principali azioni sulle quali si concentrerà la sperimentazione.

a.1 "Evoluzione tecnologica di un accumulo termico del tipo a cambiamento di fase (Phase Change Material)"

Durante l'attività di ricerca svolta nella precedente annualità, grazie all'utilizzo di una schiuma solida, si è sensibilmente migliorata la conducibilità del PCM, il cui basso valore si è dimostrato il limite fondamentale all'efficienza del sistema di accumulo termico. In questa annualità saranno studiati gli ulteriori miglioramenti di questo parametro ottenuti intervenendo sulla porosità e sulla composizione della schiuma. Saranno inoltre analizzati gli effetti di altre grandezze, quali il calore specifico e la densità, valutando gli ulteriori miglioramenti apportabili al materiale. Infine saranno valutati interventi sulla geometria del sistema, che potranno rendere più conveniente l'utilizzo dei PCM. La valutazione dell'effetto degli accorgimenti proposti sarà effettuato dapprima con simulazione CFD, e nei casi di conferma del miglioramento, con prove sperimentali dedicate.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sull'evoluzione tecnologica di serbatoi di accumulo a cambiamento di fase

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

a.2 Test funzionali ed ottimizzazione delle performance di due prototipi di condizionatore d'aria compatti Solar DEC

Le attività di ricerca saranno finalizzate alla prosecuzione del monitoraggio dei due prototipi solar DEC compatti (annualità 2013) e nella individuazione delle soluzioni tecniche atte a migliorarne le prestazioni. I dati ad oggi disponibili hanno infatti evidenziato alcune inefficienze nei sottosistemi di raffrescamento evaporativo indiretto (lato aria e acqua) e nel canale di espulsione dell'aria secondaria in uscita dagli scambiatori evaporativi. Ulteriore margine di miglioramento dell'efficienza complessiva del sistema si potrà ottenere da un upgrade di alcuni componenti del sistema di monitoraggio/controllo che porterebbe un incremento del rendimento di regolazione. E' inoltre prevista una caratterizzazione delle macchine in modo da poterle confrontare con macchine convenzionali con lo scopo di realizzare uno studio economico necessario a valutare il potenziale di diffusione sul mercato di questa nuova tecnologia.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle performance raggiungibili con condizionatori d'aria compatti Solar DEC ed analisi del potenziale di diffusione sul mercato di questa nuova tecnologia

Principali collaborazioni: Università di Palermo

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

b. Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura

L'attività prevede l'analisi sperimentale e la qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni a media temperatura da destinarsi ai settori della climatizzazione residenziale, commerciale e terziaria, alla produzione di freddo in ambito industriale e alla produzione di calore per alimentare processi co-generativi ad uso industriale.

Le attività proposte riguardano:

b.1 Sviluppo, progettazione e caratterizzazione sperimentazione di ricevitori ottimizzati per applicazioni solari termiche a media temperatura

Nella passata annualità sono stati sviluppati e validati sperimentalmente diversi modelli matematici per la simulazione di ricevitori a geometria cilindrica relativi a concentratori parabolici lineari o del tipo Linear-Fresnel operanti a media temperatura. I modelli sviluppati hanno permesso di stimare con grande accuratezza il comportamento energetico delle diverse tipologie di concentratori solari termici in tutte le condizioni possibili di funzionamento. Dato l'elevato grado di accuratezza riscontrato, tali strumenti software saranno utilizzati a supporto della progettazione ottimizzata di componenti innovativi sia per quanto riguarda la parte ottica sia per quanto riguarda la parte termo-fluidodinamica. Più in dettaglio, sia per ricevitori da utilizzare in collettori parabolici lineari sia per ricevitori da utilizzare in sistemi Linear-Fresnel, verranno esaminate diverse geometrie innovative con l'obiettivo, rispetto allo stato attuale dell'arte, sia di ottenere rese ottiche migliorative sia di massimizzare i flussi termici lato fluido-termovettore e nel contempo minimizzare le perdite termiche. A valle di tutta una serie di analisi parametriche, sarà possibile individuare le configurazioni ottimizzate e procedere quindi alla progettazione dei relativi componenti. Conclusa l'attività progettuale, si procederà, in sinergia con aziende operanti nel settore, alla realizzazione di un prototipo cui seguirà la sperimentazione in campo per valutare la bontà delle scelte progettuali effettuate.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo sviluppo e caratterizzazione sperimentazione di ricevitori ottimizzati per applicazioni solari termiche a media temperatura

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b.2 Sviluppo e sperimentazione di dispositivi per la misura diretta del flusso solare concentrato in collettori a media temperatura

Come già evidenziato nella passata annualità, la stima delle performance termiche di un collettore a concentrazione passa attraverso la soluzione delle equazioni di bilancio termico e di massa del tubo ricevitore che necessitano per essere risolte della conoscenza della densità e della distribuzione angolare di potenza radiante sul tubo ricevitore. Tale dato, non essendo noto a priori come risultato di misure sperimentali, lo si deve stimare attraverso l'utilizzo di software di analisi ottica che consentono di prevedere la distribuzione e l'intensità della radiazione solare concentrata, note che siano le caratteristiche ottiche e fisiche dei materiali che compongono sia il sistema di concentrazione che il ricevitore. Nonostante l'elevata precisione ed attendibilità di tali strumenti di analisi ottica, la possibilità di poter misurare direttamente il flusso solare concentrato sul ricevitore rappresenta un obiettivo di importanza rilevante nella messa a punto di metodiche per la stima e l'ottimizzazione delle performance termiche di un collettore a concentrazione. Ciò premesso, in continuità con quanto già fatto nella precedente annualità, si intendono completare le attività di sviluppo, progettazione e realizzazione di dispositivi prototipali per la mappatura sperimentalmente del flusso solare concentrato in collettori a media temperatura, caratterizzati sia da ricevitori a geometria cilindrica sia da ricevitori a geometria piana.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo sviluppo e la realizzazione di un prototipo di radiometro da utilizzarsi per la caratterizzazione sperimentale di ricevitori a geometria cilindrica.
- Rapporto tecnico sullo sviluppo, la progettazione e la realizzazione di un dispositivo per la misura del flusso termico concentrato in ricevitori a geometria piana.

Principali collaborazioni: Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Laboratorio di conversione di energia solare

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c. Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione. Test in camera climatica di un prototipo di PDC ad R744 reversibile (caldo/freddo) dotato di un eiettore per il recupero dell'energia di espansione: potenzialità 30 kW

Il principale vantaggio dell'uso dell'eiettore va individuato nel recupero del lavoro di espansione normalmente perduto nel processo di laminazione effettuato in una normale valvola di espansione. L'uso dell'eiettore è inoltre particolarmente adatto all'impiego in macchine a R744, usualmente funzionanti con cicli transcritici, caratterizzati da elevate differenze di pressione ai capi dell'organo di laminazione. Un eiettore presenta i vantaggi di un basso costo, assenza di parti in movimento, struttura semplice e bassi costi di manutenzione. Inoltre il suo utilizzo comporta una ridotta complicazione impiantistica, che d'altra parte conduce ad una miglior ottimizzazione del flusso del refrigerante e ad un incremento delle prestazioni degli altri componenti del circuito (in particolare evaporatore e compressore). I vantaggi dell'eiettore si riscontrano peraltro sia nel funzionamento come macchina frigorifera che in pompa di calore, in quanto l'effetto termodinamico ultimo del suo impiego risiedono in un incremento della capacità frigorifera (incremento del salto entalpico utile all'evaporatore) e in una riduzione del lavoro di compressione, che viene virtualmente svolto dall'energia recuperata nell'eiettore dall'espansione del refrigerante proveniente dal ramo di alta pressione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico dedicato all'esposizione dei risultati dei test in camera climatica di un prototipo di PDC ad R744 reversibile (caldo/freddo) dotato di un eiettore per il recupero dell'energia di espansione

Principali collaborazioni: Università di Napoli

Durata: ottobre 2014 -settembre 2015

d. Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati

L'obiettivo prevede sia attività specifiche di comunicazione e diffusione dei risultati ottenuti nel progetto che il supporto ai Ministeri competenti attraverso la partecipazione a gruppi di lavoro internazionali.

In quest'ambito è prevista la partecipazione, quali rappresentanti italiani nell'ambito IEA, ai lavori dell'Implementing Agreement "Solar Heating and Cooling", in particolare alle TASK 42 "Compact Thermal Energy Storage: Material Development and System Integration" (attività nell'ambito della WGB-Numerical Modelling Session), Task 48 "Quality assurance and support measures for Solar Cooling", Task 51 "Solar energy and urban planning" e Task 53 "New Generation Solar Cooling & Heating Systems (PV or solar thermally driven systems)".

Per quanto riguarda la comunicazione e diffusione dei risultati, si prevede di:

- realizzare, con un linguaggio efficace dal punto di vista comunicativo, materiali informativi destinati ai vari target di riferimento, beneficiari finali delle attività (Enti Locali, Sistema delle Imprese, professionisti ecc.), nonché al grande pubblico e relativi a:
 - finalità complessive delle attività;
 - tematiche scelte come prioritarie e motivazioni di tali scelte;
 - obiettivi specifici, destinatari e modalità di conduzione delle ricerche sulle singole tematiche;
 - risultati conseguiti e ricadute sull'utente finale;

- elaborare e attuare un Piano di comunicazione e diffusione capillare di queste informazioni e, soprattutto, dei risultati conseguiti e delle ricadute sull'utente finale;
- organizzare un workshop tematico presentando le attività svolte nel corso dei PAR precedenti. Il workshop sarà l'occasione per contestualizzare il progetto nell'ambito dello stato dell'arte scientifico ed industriale dei sistemi di climatizzazione assistiti da fonte rinnovabile;
- aggiornare in maniera puntuale il sito internet dedicato ai "Sistemi di climatizzazione estiva ed invernale assistiti da fonti rinnovabili" (www.climatizzazioneconfontirinnovabili.enea.it).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle attività svolte in ambito IEA, Implementing Agreement "Solar Heating and Cooling"
- Rapporto tecnico sulle attività di diffusione dei risultati portate avanti in questa annualità, soffermandosi sull'esito del workshop programmato per il periodo maggio-giugno 2015

Principali collaborazioni: Università di Palermo

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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	Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi												
	<i>a.1 Evoluzione tecnologica di un accumulo termico del tipo a cambiamento di fase (Phase Change Material)</i>												
	<i>a.2 Test funzionali ed ottimizzazione delle performance di due prototipi di condizionatore d'aria compatti Solar DEC</i>												
b	Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura												
	<i>b.1 Sviluppo, progettazione e caratterizzazione sperimentazione di ricevitori ottimizzati per applicazioni solari termiche a media temperatura</i>												
	<i>b.2 Sviluppo e sperimentazione di dispositivi per la misura diretta del flusso solare concentrato in collettori a media temperatura</i>												
c	Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione												
	<i>Prototipo di PDC ad R744 reversibile (caldo/freddo) dotato di un eiettore per il recupero dell'energia di espansione: potenzialità 30 kW</i>												
d	Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati												

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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto C.3 del PAR 2013), pari a 36,1 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 % del costo diretto, con una tariffa media risultante di 21,7 €/h.

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	Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi									
	<i>a.1 Evoluzione tecnologica di un accumulo termico del tipo a cambiamento di fase (Phase Change Material)</i>	850	31	18	1	3	0	1	0	54
	<i>a.2 Test funzionali ed ottimizzazione delle performance di due prototipi di condizionatore d'aria compatti Solar DEC</i>	800	29	17	18	6	0	0	40	110
	<i>Subtotale Ob. a</i>	1650	60	35	19	9	0	1	40	164
b	Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura									
	<i>b.1 Sviluppo, progettazione e caratterizzazione sperimentazione di ricevitori ottimizzati per applicazioni solari termiche a media temperatura</i>	1500	54	33	12	15	0	1	0	115
	<i>b.2 Sviluppo e sperimentazione di dispositivi per la misura diretta del flusso solare concentrato in collettori a media temperatura</i>	950	34	21	30	0	0	0	40	125
	<i>Subtotale Ob. b</i>	2450	88	54	42	15	0	1	40	240
c	Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione									
	<i>Prototipo di PDC ad R744 reversibile (caldo/freddo) dotato di un eiettore per il recupero dell'energia di espansione: potenzialità 30 kW</i>	980	35	21	58	4	0	2	40	160
d	Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati									
		350	13	8	0	12	0	3	0	36
	TOTALE	5430	196	118	119	40	0	7	120	600

* 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

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

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Cappa Chimica dotata di sistema a filtrazione molecolare per la preparazione di provini di PCM fusi in schiume solide	5.000	337	Preparazione di provini di PCM fusi in schiume solide
a.2	Ottimizzazione prototipi di sistemi di climatizzazione compatti Solar DEC a letti fissi raffreddati	19.000	19.000	Prototipo da sperimentare
b.1	Sensori di precisione per la misura della temperatura da utilizzare per caratterizzare termicamente il prototipo di ricevitore (Pt25, Pt100, TC)	10.000	674	Prototipo da sperimentare
b.2	Prototipo di dispositivo per la misura della distribuzione angolare e longitudinale del flusso solare concentrato (Heat Flux Microsensors)	30.000	30.000	Prototipo da sperimentare
c	Prototipo di PDC ad R744 reversibile (caldo/freddo) dotato di un eiettore per il recupero dell'energia di espansione: potenzialità 30 kW	25.000	25.000	Prototipo da sperimentare e sistema di acquisizione dati di funzionamento

AMMORTAMENTO: quote di ammortamento applicabili				
b.1	Misuratore di portata ad ultrasuoni del tipo CLAMP-ON	13.469	2.694	Misure non invasive di portate di fluido su impianti realmente in funzione
b.1	Unita' di trattamento aria (UTA)	7.464	1.493	
b.1	Inseguitore solare KIPP & ZONEN - MOD. SOLYS2	16.528	3.306	Apparecchiatura laboratorio test impianti solari media temperatura
b.1	Apparecchiature per upgrading impianto di prova ad olio diatermico	20.171	4.034	Apparecchiatura laboratorio test impianti solari media temperatura
TOTALE b.1 =			11.527	
c	Contratto realizzazione Calorimetro per test funzionali di pompe di calore (fase progetto)	21.553	4.310	Stazione di prova pompe di calore aria/acqua
c	Contratto realizzazione Calorimetro per test funzionali di pompe di calore (fase consegna impianto)	79.681	15.936	Stazione di prova pompe di calore aria/acqua
c	Contratto realizzazione Calorimetro per test funzionali di pompe di calore (fase collaudo e termine del training)	43.462	8.692	Stazione di prova pompe di calore aria/acqua
c	Volano Termico per stabilizzazione temperatura ingresso prototipi pompe calore	1.573	315	Anello acqua calorimetro test PDC
c	Gruppo frigo abbattimento temperatura uscita prototipi pompe calore	4.621	924	Anello acqua calorimetro test PDC
c	Dry cooler per smaltimento temperatura uscita prototipi pompe calore	8.046	1.610	Anello acqua calorimetro test PDC
c	Misuratori di portata circuito camera climatica	4.405	837	Anello acqua calorimetro test PDC
TOTALE c.1 =			32.624	

(*) 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 di schiume solide in materiale ad alta conducibilità necessarie per la preparazione di provini di PCM fusi in schiume	3.000
a.2	Upgrade di alcuni componenti del sistema di monitoraggio/controllo dei sistemi solar DEC	6.000
b.1	Materiale di consumo necessario alla realizzazione del prototipo di ricevitore	10.000
b.1	Rinnovo licenza COMSOL + Acquisto nuovo Modulo MFM	9.384
c	Accessori elettrici ed idraulici per installazione PDC con eiettore all'interno del calorimetro ENEA	4.000
d	Partecipazione enea all'implementing agreement solar heating and cooling -anno 2015	7.000
d	Organizzazione workshop tematico	5.000

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

Non sono previsti costi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche 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.2	<p>Università di Palermo, Dipartimento di Energia, Energia dell'Informazione e Modelli Matematici - Test funzionale e ottimizzazione di un sistema compatto Solar DEC di piccola taglia a letti fissi raffreddati per applicazioni nel settore residenziale</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Il Dipartimento di Energia, Ingegneria dell'Informazione e Modelli Matematici (DEIM) dell'Università di Palermo svolge attività di ricerca inerente a soluzioni innovative per la climatizzazione ambientale mediante l'impiego di fonti energetiche rinnovabili. Tale attività si svolge sia a livello di ricerca teorica (sviluppo di modelli matematici, simulazioni dinamiche, algoritmi di ottimizzazione) che sperimentale, in un laboratorio attrezzato per il test di sistemi e componenti di diverso tipo (chiller alimentati termicamente, processi di trattamento aria, collettori solari termici, fotovoltaici ed ibridi, sistemi di storage). L'esperienza maturata in questi anni, fa del DEIM un riferimento tecnico-scientifico non solo a livello nazionale ma anche internazionale testimoniata da numerose pubblicazioni scientifiche di rilievo e dalla partecipazione attiva a gruppi di esperti nell'ambito dei task promossi dall'International Energy Agency.</p>	40
b.2	<p>Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale - Studio teorico-sperimentale su ricevitori piani a mini / micro-canali per sistemi solari a concentrazione in applicazioni di solar-cooling ad alta efficienza</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> Presso l'Università degli Studi di Padova sono in corso attività di ricerca nel campo dell'energia solare, ed in particolare per la caratterizzazione di dispositivi per la conversione di energia solare in calore. 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. Tale Laboratorio sta portando avanti una attività di ricerca sperimentale su collettori solari piani, a tubi evacuati e a concentrazione. L'attività di ricerca del Laboratorio 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 per realizzare dispositivi che utilizzino il fenomeno della vaporizzazione in canali di piccolo diametro. Tale know-how sullo scambio termico bifase per sistemi a concentrazione risulta utilissimo per lo sviluppo di scambiatori di calore innovativi per applicazioni in sistemi ad alta densità di potenza e media temperatura.</p>	40
c	<p>Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di ingegneria Industriale - Analisi dei risultati delle prove sperimentali di due prototipi di macchine a compressione di vapore (uno operante con R290 e uno con R134a)</p> <p><i>Motivazioni della scelta:</i> 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>	40
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

Per quanto riguarda le attività relative all'obiettivo c, "Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione", l'ENEA partecipa ad un progetto europeo con tematiche generali simili:

- **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 5-10 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 ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob.	PAR 2013 - Principali risultati ottenuti	PAR 2014 - Risultati attesi
a.1	Test sperimentali di nuovi materiali da utilizzare per ottimizzare il funzionamento su ciclo annuale del prototipo di accumulo termico a cambiamento di fase;	a.1 - Test sperimentali di PCM abbinati a schiume solide al variare della porosità e composizione della schiuma stessa ed al variare del calore specifico e della densità del sistema completo (PCM+Schiuma);
a.2	Test di prototipi di collettori solari termici a circolazione naturale, con accumulo termico integrato;	-
a.3	Test funzionali 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);	a.2 - Ottimizzazione e nuovi test funzionali per la valutazione delle performance di due prototipi di condizionatori d'aria compatti "revisione 1", alimentati ad energia solare, progettati per la ventilazione, la deumidificazione ed il raffreddamento di utenze di tipo residenziale (Solar DEC compatto);
b.1	Attività di modellazione ottica e termo-fluidodinamica su diverse tipologie di concentratori per l'analisi delle prestazioni energetiche e messa a punto di metodiche e relativi dispositivi per la misura della radiazione solare concentrata;	b.1 - Test sperimentali su prototipo di concentratore a media temperatura caratterizzato da un ricevitore dalle prestazioni superiori rispetto ai prodotti commerciali esistenti;
b.2	Indagini teorico-sperimentali sulla termo-fluidodinamica di concentratori solari modulari compatti che utilizzino ottiche di piccole dimensioni accoppiati a ricevitori (eventualmente integrati nell'ottica di concentrazione) basati sulla tecnologia dei mini e micro-canali, al fine di valutare l'incremento delle performance termiche rispetto a ricevitori tradizionali sia utilizzando fluidi sia in fase liquida che fluidi in transizione di fase;	b.2 - Realizzazione e test di dispositivi prototipali per la misura diretta della radiazione solare concentrata su ricevitori a geometria sia cilindrica che piana, in grado di verificare direttamente le prestazioni dell'ottica dei concentratori utilizzati per applicazioni a media temperatura;
c.1	Test in camera climatica di due prototipi di macchine a compressione di vapore (uno operante con R290 e uno con R134a), al fine della valutazione dell'impatto ambientale diretto e indiretto nel caso di impiego di tali macchine ai fini della climatizzazione di utenze residenziali;	NUOVA ATTIVITA' : Test in camera climatica ENEA di un prototipo di PDC ad R744 reversibile (caldo/freddo) dotato di un eiettore per il recupero dell'energia di espansione: potenzialità 30 kW.
c.2	Studio teorico-sperimentale sull'ottimizzazione del funzionamento di pompe di calore a CO2 con radiatori ad elevato salto termico. Questo tipo di terminali ambiente è studiato e progettato appositamente per funzionare con salti termici elevati, prossimi a 50°C, con valvole di regolazione termostatiche tradizionali e/o prototipi di valvole di regolazione elettroniche, che saranno anch'esse testate nel corso dell'attività.	-

IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Descrizione del prodotto dell'attività

Il Piano Annuale di Realizzazione 2014-2015 porterà a conclusione le attività del progetto C4 nel triennio, attraverso attività di carattere teorico-sperimentali svolte nell'ambito delle linee di sviluppo individuate nel Piano Triennale, quali la dimostrazione di alcuni aspetti relativi alle infrastrutture di ricarica, estese anche a valutazioni di costo "end-of-life" delle batterie utilizzate con queste modalità, e lo studio delle interazioni tra la rete della mobilità e la rete energetica nazionale.

L'obiettivo generale del complesso di attività previste per l'anno rimane quello di contribuire ad incrementare l'efficienza energetica complessiva della mobilità elettrica di persone e merci, attraverso lo sviluppo e la sperimentazione di prodotti hardware e software.

Un obiettivo "mobile", grazie ad uno sviluppo del mercato dell'elettrico "puro" che, grazie all'affidabilità ed all'economia di esercizio di alcuni modelli innovativi come la Nissan Leaf (che rappresenta il 58% del mercato americano dell'elettrico), sta imponendo un passo più veloce anche allo sviluppo delle infrastrutture necessarie, a partire dalle colonnine di ricarica.

Com'è noto, infatti, una reale mobilità ad "impatto-zero" non può basarsi esclusivamente sul veicolo, ma deve integrare anche il resto della "catena del valore" per la mobilità, che include:

- integrazione ottimizzata delle infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici all'interno delle reti elettriche urbane;
- incremento dell'efficienza energetica nelle aree urbane, con lo scopo di ridurre l'impatto sulla rete delle infrastrutture di ricarica;
- *smart-management* delle stazioni di ricarica per veicoli elettrici;
- sistemi ICT per l'integrazione dei servizi per la mobilità urbana.

Più in generale una gestione della distribuzione dell'energia attraverso l'approccio "smart-grid", perché anche per la mobilità elettrica solamente una rete intelligente ed interconnessa in termini d'informazione e potenza può portare a dei benefici reali.

Questo quadro viene ribadito nella recente pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale del DPCM relativo al "Piano infrastrutturale per i veicoli alimentati ad energia elettrica" dove, testualmente, "l'aggiornamento del Piano dovrà incentrarsi sui seguenti temi:

- a) strategia al 2030 secondo i nuovi obiettivi UE concernenti la riduzione dei gas ad effetto serra, l'incremento delle fonti energetiche rinnovabili ed il miglioramento della qualità dell'aria ambiente;*
- b) uso dell'energia elettrica per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica con priorità di provenienza da fonti rinnovabili, attraverso una corretta modalità di gestione delle reti;"*

La partecipazione dell'ENEA ad attività in ambito "smart grid" e "smart city", quale ad esempio il progetto ESPRESSO (Energy Stations PRoviding sErVICES for Smart citieS) con Enel Distribuzione, ai tavoli tecnici per lo sviluppo della normativa, al tavolo interministeriale per i Piani Urbani Mobilità Sostenibile (PUMS), consente di integrare in ambito nazionale le attività finalizzate allo sviluppo delle infrastrutture di ricarica, intese nel senso più ampio sopra ricordato.

Si riassumono di seguito le principali linee di attività prese in considerazione ai fini dell'incremento dell'efficienza energetica della elettro-mobilità ed i relativi "prodotti" che si intendono sviluppare/ottenere con le attività proposte:

- Tecnologie di ricarica "contactless", che facilitano l'uso "corretto" dei veicoli ibridi plug-in la

diffusione delle city-car, con riduzione in entrambi i casi della taglia delle batterie necessaria. A completamento dell'attività già svolta si implementerà l'automazione del processo di ricarica.

- Tecnologie di gestione di reti elettriche in B.T., quali stazioni di servizio, depositi di autobus, parcheggi di interscambio, che, nell'ambito del sistema della mobilità urbana, integrino autoproduzione, accumuli elettrici ed "erogatori". L'obiettivo finale è quello di trasformare quello che viene ancora percepito come "un problema per la rete" in una opportunità di gestione della stessa in ottica "smart grid". Il "prodotto" in questo caso sarà un dimostratore da 50 kW e le strategie di gestione sviluppate servendosi dello stesso.
- Prove vita di batterie basate su moduli Li-FePO4 realizzati e gestiti con modalità innovative, per consentire forti riduzioni del peso dell'accumulo di energia a bordo di veicoli medio-pesanti. Nel caso del trasporto pubblico locale, dove la missione del veicolo è ben definita, la possibilità di ricaricarsi al capolinea a potenze elevate, 150-200 kW, e ad intervalli ravvicinati, consente di ridurre drasticamente la taglia del pacco batteria. La misura del costo "End-of-Life" (EOL) della batteria, basata su una prova vita "accelerata", è fondamentale per l'introduzione di questa tecnologia e costituire il "prodotto" dell'attività.
- Metodologia di valutazione della numerosità e dislocazione utile delle aree di ricarica all'interno della rete stradale in un settore urbano significativo in relazione ai consumi energetici dei mezzi a trazione elettrica, in un'ottica di medio termine. Questa metodologia è necessaria per il gestore della rete elettrica per programmare gli interventi necessari per l'implementazione delle strutture (potenziamento delle linee, accumuli elettrici nelle sottostazioni etc.) con vantaggi all'utente finale che potrà avere garanzia di rifornimento.

Situazione industriale e tecnologica attuale del prodotto dell'attività

Il settore della ricarica è in rapida evoluzione, la possibilità che i veicoli elettrici stradali diventino milioni nel giro di qualche anno sta mobilitando ingenti risorse ed ogni giorno si ha notizia di nuovi sviluppi nel settore. Ad esempio, è recentissima la dimostrazione da parte della Siemens del primo "Electric Vehicle Supply Equipment" (EVSE) per usi residenziali in grado di essere controllato localmente e dalla rete. Grazie ad esso l'utente può capire meglio quanto sta spendendo per ricaricare il proprio veicolo elettrico, pianificare il processo di carica quando le tariffe sono più basse e condividere la loro esperienza di ricarica. Le utilities, da parte loro, possono sfruttare la tecnologia per offrire programmi che aiutano a gestire il tempo e il livello di ricarica per aumentare affidabilità ed efficienza della rete, riducendo al minimo i picchi di domanda.

Negli ambiti prescelti per le attività proposte esistono tuttavia ampi spazi di intervento, perché alcune applicazioni sono ancora lontane dal mercato per insufficiente maturità tecnologica, come nel caso della ricarica contactless, o per la specificità del problema che richiede un approccio "sistemico", di integrazione di tecnologie ed apparecchiature esistenti, piuttosto che "hardwareistico".

Ma anche dal punto di vista delle tecnologie impiegate gli spazi di ricerca sono ampi, come ad esempio nella configurazione dei convertitori per garantire la power quality verso la rete, Oppure, considerando le batterie Li-Io, l'evidenza sperimentale che le correnti massime effettivamente accettabili da batterie Litio-polimeri durante una "fast charge" possano essere doppie e triple di quelle dichiarate dai costruttori, senza che le batterie ne abbiano a risentire anche dopo l'esecuzione di migliaia di cicli di cariche e scariche parziali (20-30% dello Stato di Carica).

In ambito normativo, rispetto a quanto presentato lo scorso anno, ci sono importanti novità. Infatti la ricarica in c.a. effettuata da una presa non dedicata, dotata o meno di interruttore differenziale (rispettivamente modo 1 e modo 2) non saranno più consentite in ambienti pubblici o privati aperti a terzi (nuova edizione della norma 61851-1 "Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements").

In ambito pubblico avremo perciò solo i modi 3 (c.a.) e 4 (c.c.). Per il modo 3 (ricarica lenta o rapida, usando un punto di ricarica dedicato) è stato recentemente raggiunto un accordo in ambito europeo (la suddetta Direttiva del parlamento Europeo e del Consiglio) sul connettore Tipo 2, come il Mennekes, approvato dall'associazione costruttori automobilistici europei (ACEA) e già adottato, tanto per le vetture quanto per

le colonnine di ricarica, in Paesi chiave del mercato europeo come Germania, Italia e Regno Unito.

Per la ricarica rapida in c.c. (Modo 4) il quadro normativo è ormai definito (la norma 61851-23, Ed.1 : ELECTRIC VEHICLE CONDUCTIVE CHARGING SYSTEM - Part 23: D.C. electric vehicle charging station” è pubblicata come norma IEC (norma internazionale) e come norma EN (norma europea) ed è in fase di pubblicazione come norma CEI-EN (norma nazionale, che recepisce la norma europea)). Recentemente, una Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sullo sviluppo di infrastrutture per combustibili alternativi, ha identificato nel “Combo 2” il connettore da utilizzare per la ricarica in corrente continua.

Obiettivo finale dell'attività

Le attività sviluppate nel triennio nell'ambito del tema C4 sono state finalizzate al superamento di alcuni degli ostacoli che rallentano lo sviluppo dei veicoli elettrici stradali, sia delle persone che delle merci, quali il costo elevato sia delle batterie, cui si può porre un parziale rimedio con la diffusione della ricarica rapida, che delle infrastrutture di ricarica; il costo “per veicolo servito” di queste ultime può ridursi drasticamente, se le stesse sono opportunamente localizzate ed integrate nella rete.

Si è posto poi particolare riguardo al problema dell'incremento dell'efficienza elettrica delle strutture di alimentazione collegate alla rete, tanto in termini di efficienza energetica che di affidabilità/disponibilità.

In questo ambito, nel corso del terzo anno le attività relative alla ricarica senza contatto si concluderanno con la l'automazione del sistema, mentre quelle relative alla ricarica veloce, già oggetto di sperimentazione nel corso del secondo anno di attività su di un veicolo di taglia media, una Nissan Leaf, verranno proseguite con l'utilizzo di una nuova stazione di ricarica da 50 kW, con annesso “smart storage”, che recepirà le soluzioni innovative nel software di gestione. A livello “accumulo elettrico”, sia “on-board” che stazionario, l'obiettivo finale è la definizione del costo End-of-Life, risultato ottenibile attraverso le “prove vita accelerate” delle batterie.

Coordinamento con attività di CNR e RSE

Le attività del progetto Mobilità elettrica continueranno ad essere concordate e coordinate tra i dipartimenti e i gruppi di lavoro che si occupano di tematiche inerenti la mobilità elettrica presso gli affidatari RSE, ENEA e CNR. Il coordinamento avviene attraverso telefonate ed incontri e permette di usufruire di sinergie, ovvero di perseguire lo scopo comune avvalendosi per le diverse attività dei gruppi di lavoro più idonei e delle risorse a più alta professionalità. Ciò porta ad attività che coprono i diversi aspetti della mobilità elettrica nel modo più efficiente (ed evitare la possibilità di duplicazione alcuna) ovvero di sfruttare il lavoro fatto dagli altri soggetti affidatari come base per ulteriori approfondimenti. Per quanto riguarda le attività oggetto di finanziamento nel corrente accordo di programma si evidenziano i comuni impegni di RSE ed ENEA sui temi di analisi del profilo energetico di missione dei veicoli elettrici, delle modalità di ricarica e degli impatti sul sistema di accumulo. Le attività saranno trattate in modo complementare procedendo con metodiche ed approcci differenziati attraverso l'utilizzo delle informazioni sulla mobilità urbana (ricerca dell'ottimale distribuzione dei punti di ricarica) e delle conoscenze sulla dislocazione degli attuali punti di rifornimento convenzionali (individuazione delle potenze e dei consumi per soddisfare la domanda). Inoltre si sottolinea la sinergia delle attività relative alla ricarica rapida con riferimento al degrado delle prestazioni e alla vita dell'accumulo in relazione ai cicli di ricarica veloce.

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

Rimandando per i dettagli al PAR 2013, il risparmio unitario “del sistema paese” legato alla sostituzione del termico con l'elettrico, per autovettura, in termini di tep è valutato pari al 40%, mentre in termini di costo all'utente per chilometro percorso è anche maggiore, grazie alla minore tassazione del kWh_{elettrico} rispetto a quello termico.

E' stato calcolato, nell'ipotesi estrema di integrale sostituzione con l'elettrico di tutti i veicoli che svolgono un servizio compatibile con le sue possibilità, a costi sostenibili per l'utenza, che il 20% dei veicoli che circolano nelle nostre aree urbane non supera mai la percorrenza massima di 50 km. Limitandoci a questi

ultimi mezzi, gli stessi potrebbero essere sostituiti da un veicolo elettrico (o plug-in) con una batteria che garantisca la percorrenza utile di 50 km e che risulta quindi abbastanza piccola ed economica (una tale batteria, da 8 kWh, è proprio quella utilizzata dall'Opel Ampera che, insieme alla Chevrolet Volt, è l'ibrido plug-in di General Motors). Considerando che il consumo annuale di energia primaria in città per auto e taxi è di circa 10 Mtep (ultimo anno 2010), risulta quindi che il risparmio di energia primaria sarebbe dato da:

$$10 \text{ Mtep} \times 0,20 \times 0,40 = 800.000 \text{ tep}$$

Il completamento delle attività sviluppate nel triennio, finalizzate, come precedentemente illustrato, al superamento di alcuni degli ostacoli che rallentano lo sviluppo dei veicoli elettrici stradali, contribuirà quindi all'ottenimento per il paese dei benefici suddetti, favorendo uno sviluppo armonico e sostenibile, sia in termini socio-economici che in termini ambientali, del sistema elettrico nazionale.

PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ

Descrizione degli obiettivi

a. Componenti e strutture di alimentazione innovative per veicoli elettrici e/o ibridi, per la ricarica rapida in c.a. ed in c.c.

La sviluppo delle linee di attività del PAR 2013 hanno condotto alla realizzazione di prodotti di interesse per le azioni inerenti la ricarica dei veicoli elettrici sia per l'uso durante le soste che per la realizzazione di impianti di ricarica intesi come "stazioni di servizio". Il sistema di ricarica "contactless" di tipo risonante ha mostrato di poter erogare le potenze di progetto (600 W) per la ricarica di una microcar senza eccedere i limiti di campo E/M previsti dalle norme in prossimità del sistema, operando a frequenze di 85 kHz. La piattaforma di progetto per impianti di ricarica rapida modulari ed integrati con fonti rinnovabili ha dimostrato come in fase di progettazione, attraverso simulazioni a più livelli, sia possibile individuare il corretto bilanciamento tra accumulo stazionario, fonte rinnovabile e rete al fine di approvvigionare di energia i veicoli elettrici con costi economici ed aggravii di rete ottimizzati.

Le proposte di questa linea di ricerca sono quindi orientate alla finalizzazione delle attività della precedente annualità attraverso azioni di complemento al fine di ricavare prodotti di interesse per uno sviluppo pre-competitivo e per valutazione sulla sicurezza.

a.1 Ricarica rapida in c.a. contactless

Facendo seguito all'attività di ricerca dal titolo "Sviluppo e sperimentazione di un caricabatteria contactless per city car" espletata nella scorsa annualità dall'Università di Padova, in cui è stato riprogettato e realizzato un sistema di ricarica induttivo risonante a 85 kHz per city car (48V, 100 Ah) si intende completare lo sviluppo del prototipo attraverso l'automazione del processo di ricarica. L'obiettivo è quello di sviluppare un sistema di gestione del sistema in grado di porre in contatto le sezioni di bordo e fissa per fornire i segnali alla unità di controllo posizionata a terra. La comunicazione sarà utile non solo per il controllo della ricarica dell'accumulo di bordo ma per il riconoscimento delle condizioni di non risonanza e per il successivo adeguamento automatico della frequenza per mantenere le condizioni di risonanza. Le azioni previste saranno integrate con lo sviluppo di un sistema di riconoscimento della presenza del veicolo e di un algoritmo per il riconoscimento ed il governo di anomalie (assenza di comunicazione tra le due sezioni, mancanza di tensione di rete, malfunzionamenti,...).

Ulteriormente alla luce dei risultati della precedente annualità si intendono completare i rilievi relativi alla esposizione umana ai campi E/M irradiati in prossimità di sistemi di ricarica contactless. Lo scenario espositivo sarà quello realistico ottenuto montando un sistema di ricarica wireless su un mezzo in modo da verificare il comportamento in presenza delle strutture veicolari.

Utilizzando le misure in campo ed attraverso metodiche di simulazione sarà eseguita una valutazione dosimetrica della esposizione ai campi residui.

Risultati/Deliverable:

- n. 2 report (UniPadova , ENEA)

Principali collaborazioni: Università di Padova

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

a.2 Convertitore per stazione di ricarica rapida in c.c. con accumulo elettrico stazionario, per l'integrazione nel sistema dei trasporti di E.E. da fonti rinnovabili non programmabili

Le attività svolte nell'ambito del precedente PAR hanno portato ai seguenti prodotti della ricerca:

- sviluppo di una piattaforma di simulazione per il dimensionamento di infrastrutture di ricarica multi sorgente e con accumulo integrato per veicoli elettrici;
- sviluppo di convertitori statici di energia elettrica, ottimizzati per aumentare l'efficienza di conversione in infrastrutture di ricarica multi-sorgente.

Nello specifico, il sistema preso in esame è costituito da una rete di colonnine di ricarica per veicoli elettrici, collegata ad un convertitore modulare in grado di ottimizzare i flussi di potenza provenienti dalla rete elettrica di alimentazione principale, da un impianto da fonte rinnovabile (nel caso specifico, impianto fotovoltaico) e da un sistema di accumulo energetico (batterie elettrochimiche). Pertanto, l'attività è stata condotta a livello di sistema (gestione del flusso di potenza) e a livello di dispositivi (convertitori modulari, in configurazione multilivello o tandem). Per questi ultimi, sono stati studiati opportuni algoritmi di controllo basati principalmente su tecnica interleaving, in grado di minimizzare le frequenze di commutazione e di aumentare, a parità di THD, l'efficienza complessiva di sistema.

Sulla base dei risultati della precedente attività, si propone un ulteriore sviluppo della tematica trattata. Nello merito, si intende procedere da un lato con una attività di validazione sperimentale della piattaforma numerica, dall'altro ad integrare nel sistema la possibilità di gestire flussi bidirezionali di potenza attraverso infrastrutture di ricarica di tipo tradizionale (ricarica conduttiva) che di tipo wireless. Si prevede pertanto di procedere ad un ulteriore sviluppo della piattaforma di simulazione di una infrastruttura di ricarica gestita nell'ambito di una micro-grid anche attraverso la concezione di convertitori idonei al V2G.

il punto di partenza sarà la piattaforma di simulazione sviluppata nell'ambito del precedente PAR. Tale piattaforma consente di fare un'analisi ex-ante del sistema, finalizzato principalmente al dimensionamento dei vari componenti della micro-grid, ed un'analisi ex-post, per la verifica di prestazioni, validazione del tempo di ritorno economico dell'investimento, programmazione dei flussi di potenza giornalieri.

Si prevede una prima validazione della piattaforma numerica mediante attività sperimentale condotta presso il Laboratorio di Automazione Industriale dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale e presso il Centro ENEA di Casaccia.

Inoltre al fine di migliorare le prestazioni della simulazione e prevedere l'uso in real-time della piattaforma si procederà all'integrazione del layer di sistema con i layer di dispositivo in un'unica piattaforma numerica. In particolare, nella modalità real-time sarà possibile effettuare dei tuning periodici del sistema di controllo della micro-grid in funzione delle reali condizioni di funzionamento.

Infine si provvederà alla integrazione della modalità di funzionamento bi-direzionale del convertitore principale di interfacciamento dell'infrastruttura di ricarica alla micro-grid, in modo da contemplare la modalità V2G; in questo modo, sarà anche possibile considerare all'interno della funzione di ottimo (che genera i riferimenti per la gestione dei flussi di potenza dei vari stadi di conversione) la possibilità di includere i parametri di gestione per lo scambio sul posto sia per l'impianto da fonte rinnovabile, che per i sistemi di accumulo installati nella micro-grid e nel veicolo.

Seppur la normativa di riferimento ancora non abbia regolamentato a livello europeo la modalità di funzionamento V2G, la ricerca in questo settore sta comunque producendo risultati notevoli sia a livello di sistema (aggregatori di veicoli per il V2G) sia al livello di dispositivo. Si svilupperà un convertitore di tipo PWM Inverter Rectifier per la gestione di flussi bidirezionali di energia all'interno di micro-grid. Il convertitore sarà di tipo "multilivello" al fine di aumentare l'efficienza di conversione. Nello specifico, saranno utilizzati anche gli algoritmi di alimentazione prodotti nel precedente PAR come, ad esempio, la tecnica interleaving e la tandem-operation. Tuttavia, la configurazione non sarà più quella tradizionale dell'inverter, ma quella del PWM Rectifier. In questo modo, si riuscirà anche a garantire la power quality verso la rete, grazie alla presenza degli induttori nello stadio di ingresso del Rectifier (THD e Power Factor). Inoltre, sarà sviluppata una tecnica di controllo per il PWM Rectifier che permetta di gestire in maniera

dinamica sia la potenza attiva che quella reattiva. L'attività prevede anche la realizzazione di un dimostratore in scala, da collegare ad una micro-grid di test.

Risultati/Deliverable:

- n. 2 report (UniCassino , ENEA)

Principali collaborazioni: Università di Cassino

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

a.3 Effetti della ricarica rapida sulle batterie

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 nocimento alla vita delle stesse anche dopo l'esecuzione di migliaia di cicli di cariche e scariche parziali (20-30% dello Stato di Carica). Sembra perciò importante approfondire questo tema, attraverso l'esecuzione di prove vita "ad hoc", per le quali si utilizzeranno gli stessi moduli 12V/60 Ah sviluppati nel corso dei precedenti PAR, particolarmente adatti alla ricarica rapida in quanto termostati a mezzo ventole. La prova vita, già avviata a correnti di ricarica pari a 1.5 C, verrà quindi "accelerata" raddoppiando il valore della corrente (i moduli hanno già dimostrato di poter sopportare senza superare i limiti di temperatura un ciclo tipo <<3 C in ricarica per 5'-1 C in scarica per 15'>>, che è equilibrato in corrente). La curva di degrado delle prestazioni sarà una spezzata costituita da due rette, l'una relativa alle prove già eseguite, la seconda relativa alle prove "accelerate" da eseguirsi. I coefficienti angolari così determinabili rappresentano due diversi valori di un parametro indicativo del rapporto esistente tra lo stress cui è sottoposta la batteria e la vita della stessa, dando una prima risposta al problema della determinazione del costo "a fine vita" della batteria di un veicolo elettrico utilizzato con modalità di ricarica Rapida, quale, ad esempio, un autobus in servizio urbano."

Risultati/Deliverable:

- n. 1 report (ENEA);

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b. Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti

La mobilità è stata oggetto nei PAR precedenti di attente valutazioni relative alle capacità di utilizzo di veicoli elettrici all'interno del sistema dei trasporti privato e pubblico. La metodica utilizzata basata sulla analisi di dati reali provenienti da una campagna di monitoraggio continua ed estesa ha consentito di vagliare gli spostamenti sul territorio urbano. Queste informazioni hanno avuto modo di individuare sia le percentuali di sostituzione convenzionale/elettrico sulla base delle prestazioni indicate dai costruttori. Si ritiene di interesse ed opportuno approfondire gli aspetti relativi ai consumi ed agli effetti delle ricariche sulla base di informazioni reali sulle prestazioni in campo e sulla scorta degli innumerevoli viaggi caratterizzanti la base dati, con la finalità di produrre uno strumento di ausilio nella distribuzione delle strutture di ricarica all'interno della rete stradale. Lo scopo finale del lavoro è quello di andare incontro alle esigenze dell'eventuale utente di vetture elettriche, in maniera da assicurare su base calcolata il rispetto del vincolo di autonomia dello spostamento mediante una dislocazione ben valutata delle stazioni di ricarica sul territorio urbano.

b.1 La distribuzione delle infrastrutture per l'elettromobilità in ambito urbano

La possibilità di conversione del parco veicoli è stato oggetto di indagine attraverso metodi basati sulla conoscenza dei tragitti giornalieri (distanza percorsa) acquisiti attraverso un vasto campione di veicoli

monitorati. Il tasso di successo della conversione “termico-elettrico” è funzione dell’applicazione di differenti strategie di ricarica commisurate al tipo di utilizzo del veicolo, che ne determina i consumi specifici e cumulativi. La ricarica non domestica, lenta (parcheggi) o rapida (stazioni di servizio) che sia, è una delle opzioni dimostrate utili per aumentare l’autonomia del mezzo totalmente elettrico. Al fine di valutarne i costi infrastrutturali, diviene essenziale valutare correttamente la numerosità e ottimizzarne la dislocazione utile delle aree di ricarica all’interno della rete stradale in relazione ai consumi energetici veicolari..

L’attività proposta parte dalla necessità di determinare *il percorso* di ciascun utente, inteso come sequenza di strade cittadine effettivamente transitate, a partire dalle tracce GPS; quindi opportune risorse di map-matching saranno prese in considerazione per l’associazione “tracce GPS <—> rete stradale”.

La prima fase di lavoro affinerà quindi i risultati del lavoro precedente, grazie alla simulazione modellistica della fase di marcia del mezzo mentre precedentemente (I e II anno) si erano usati valori di consumo chilometrico “medio”. Infatti ogni spostamento campionario (supposto quindi effettuato con trazione elettrica dopo la sostituzione) verrà valutato con la migliore precisione possibile nel suo consumo energetico tramite un *simulatore* di veicoli elettrici sviluppato ed adattato al contesto.

L’insieme dei consumi energetici così valutati concorre a formare una *mappatura energetica* urbana campionaria degli spostamenti effettuati con la trazione elettrica, mappatura che verrà estrapolata e riferita ad una popolazione più ampia di utenze veicolari elettriche. Da questa mappatura energetica si vuole arrivare ad una metodologia di *distribuzione ottima* sul territorio di stazioni di ricarica elettrica, con varie ipotesi di ricarica lenta e rapida, completa ed incompleta, durante gli orari di fermo delle vetture.

Lo scopo finale del lavoro è quello di andare incontro alle esigenze dell’eventuale utente di vetture elettriche, in maniera da assicurare su base calcolata il rispetto del vincolo di autonomia dello spostamento mediante una dislocazione ben valutata delle stazioni di ricarica sul territorio urbano.

Risultati/Deliverable:

- n. 1 report (ENEA);

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

b.2 V2G gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza, l’impatto sul sistema di accumulo

I temi sviluppati nel corso del precedente PAR hanno riguardato sia gli aspetti energetici della carica-scarica degli accumulatori nei veicoli elettrici e ibridi plug-in, con particolare riferimento alle perdite e al rendimento nelle diverse condizioni di funzionamento che l’efficienza del sistema di conversione. Per tali motivi è stato sviluppato uno strumento di calcolo per quantificare le perdite e il rendimento di un sistema di accumulo distribuito, che sfrutta le batterie a bordo di veicoli elettrici e ibridi connessi alla rete. Lo strumento di calcolo è costituito da un modello energetico parametrizzato basato sull’impiego di mappe di efficienza energetica di diversa complessità e risoluzione per potersi adattare ai livelli di conoscenza disponibili per i sistemi che di volta in volta si intende simulare.

Le attività proposte sono finalizzate alla validazione del modello energetico precedentemente sviluppato attraverso lo sviluppo del modello circuitale di dettaglio relativo a un convertitore prototipale per la ricarica rapida di accumulatori veicolari (taglia van). Il modello circuitale sarà messo a punto e validato sperimentalmente mediante confronto con misure sperimentali condotte sul prototipo che sarà reso disponibile presso i laboratori del Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. Il modello circuitale consentirà quindi di definire perdite e rendimenti nelle diverse condizioni operative, ivi comprese quelle non realizzabili sperimentalmente. Attraverso lo sviluppo del modello energetico ed elettrochimico di dettaglio relativo a celle per accumulatori al Litio da trazione stradale saranno verificati sperimentalmente gli effetti di invecchiamento in termini di variazione delle perdite e del rendimento e riduzione della capacità degli accumulatori. Anche in questo caso, il modello di dettaglio consentirà di definire perdite e rendimenti nelle diverse condizioni operative, ivi comprese quelle non realizzabili sperimentalmente. Infine le analisi delle simulazioni condotte applicando a casi di studio con profili di carico di reti reali il modello energetico sviluppato e validato a partire dalle misure sperimentali di laboratorio.

Risultati/Deliverable:

- n. 1 report (Politecnico di Torino);

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2014 – settembre 2015

c. 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. Inoltre a conclusione del percorso triennale si intende organizzare un workshop per la diffusione dei risultati raggiunti nel triennio in grado di offrire ad un largo settore di pubblico i principali risultati delle attività condotte nell'ambito delle azioni per l'elettromobilità. Sono anche contemplate le attività di comunicazione relative ad azioni di carattere istituzionale presso comitati internazionali o nazionali relativamente all'elettromobilità.

Risultati/Deliverable:

- n. 1 report

Durata: ottobre 2014 - settembre 2015

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	Componenti e strutture di alimentazione innovative per veicoli elettrici e/o ibridi, per la ricarica rapida in c.a. ed in c.c.												
	<i>a.1 Ricarica rapida in c.a. contactless</i>												
	<i>a.2 Convertitore per stazione di ricarica rapida in c.c. con accumulo elettrico stazionario</i>												
	<i>a.3 Effetti della ricarica rapida sulle batterie</i>												
b	Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti												
	<i>b.1 La distribuzione delle infrastrutture per l'elettromobilità in ambito urbano</i>												
	<i>b.2 V2G gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza, l'impatto sul sistema di accumulo</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	Componenti e strutture di alimentazione innovative per veicoli elettrici e/o ibridi, per la ricarica rapida in c.a. ed in c.c.									
	<i>a.1 Ricarica rapida in c.a. contactless</i>	790	31	19	2	10	0	1	25	88
	<i>a.2 Convertitore per stazione di ricarica rapida in c.c. con accumulo elettrico stazionario</i>	760	30	18	2	15	0	1	30	96
	<i>a.3 Effetti della ricarica rapida sulle batterie</i>	700	28	16	0	0	0	0	0	44
	<i>Subtotale Ob. a</i>	2250	89	53	4	25	0	2	55	228
b	Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti									
	<i>b.1 La distribuzione delle infrastrutture per l'elettromobilità in ambito urbano</i>	1200	47	27	0	0	0	1	0	76
	<i>b2 V2G gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza, l'impatto sul sistema di accumulo</i>	200	8	5	0	0	0	1	25	39
	<i>Subtotale Ob. b</i>	1400	55	33	0	0	0	2	25	114
c	Comunicazione e diffusione dei risultati									
		500	19	11	0	17	0	10	0	58
	TOTALE	4150	163	97	4	42	0	14	80	400

* 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 riscontrato nella consuntivazione del corrispondente progetto della precedente annualità (progetto C.4 del PAR 2013), pari a 39,3 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 23,6 €/h.

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

Obiettivo	Descrizione attrezzatura	Costo (€)	Costo PAR 2014 (€)*	Uso attrezzatura
a.1	Stazione wireless	10,000	850	Prove ricarica e dosimetriche
a.2	Convertitore simulatore campo PV	10.000	850	Simulazione sorgente fotovoltaica
a.2	Stazione integrata	18.000	1.530	Prove ricarica ed efficienza sistema
a.1	Sistema comunicazione wireless per controllo	10.000	850	Controllo ricarica wireless

(*) 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.2	Accumulo per sistema di ricarica con accumulo e fonte rinnovabile 50 kW	15.000
c	Iscrizione IEA	12.000
c	Attività di divulgazione (workshop)	5.000
a.1	SW simulazione campi E/M	10.000

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

Le Università cobeneficarie individuate sono le medesime del PAR precedente essendo le attività previste la finalizzazione delle attività precedenti : realizzazione di dimostratori , aggiornamento di prestazioni e funzioni e verifiche sperimentali. 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€)
a1	Università di Padova - Dipartimento di Ingegneria Industriale : Automazione di un caricabatteria contactless Facendo seguito all'attività di ricerca dal titolo "Sviluppo e sperimentazione di un caricabatteria contactless per city car" sviluppata nella scorsa annualità dall'Università di Padova, l'attività prevista con la presente collaborazione avrà per obiettivo lo sviluppo di un sistema atto ad automatizzare l'installazione ed il funzionamento di un caricabatteria contactless per city car <i>Motivazioni della scelta:</i> finalizzazione attività PAR precedente	25
a2	Università di Cassino - Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione e di Economia: Infrastrutture di ricarica bi-direzionali per l'ottimizzazione dei flussi di potenza all'interno di micro-grid Sulla base della precedente attività di ricerca condotta con ENEA, si propone un ulteriore sviluppo della tematica trattata. Nello specifico, si intende procedere da un lato con una attività di validazione sperimentale della piattaforma numerica, dall'altro ad integrare nel sistema la possibilità di gestire flussi bidirezionali di potenza attraverso infrastrutture di ricarica di tipo tradizionale (ricarica conduttiva) che di tipo wireless. <i>Motivazioni della scelta:</i> finalizzazione attività PAR precedente	30
b2	Politecnico di Torino- Dipartimento di Energetica : V2G: aspetti energetici del sistema di interfaccia di potenza ed impatto sul sistema di accumulo Validazione del modello energetico parametrizzato, sviluppato nel corso della precedente collaborazione, volto alla determinazione delle perdite e dei rendimenti, in diverse condizioni operative, di un sistema di accumulo veicolare interattivo con funzioni di accumulo distribuito sulla rete di bassa tensione. <i>Motivazioni della scelta:</i> finalizzazione attività PAR precedente	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

Nessun progetto in corso.

6. Risultati ottenuti nell'annualità 2013 e quelli attesi nell'annualità 2014

Ob.	Risultati ottenuti PAR 2013	Risultati attesi PAR 2014
a.1	<ul style="list-style-type: none"> - Riprogettato e testato a banco sistema di ricarica contactless risonante per micro vetture a frequenza operativa di 85 kHz; - Misure radiometriche campo E/B del sistema di ricarica wireless ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementazione controllo prototipo ricarica contactless; - Misure campo E/B del sistema di ricarica wireless in campo con studi dosimetrici;
a.2	<ul style="list-style-type: none"> - Implementato su stazione di ricarica integrata controllo per compensazione energia reattiva e per energia reattiva/attiva con prove in campo; - Prove con stazione di ricarica integrata in ricarica accumulo stazionario compensatore con emulazione campo fotovoltaico; - Modellizzazione per valutazione flussi energia in stazione integrata; - Realizzazione di una piattaforma numerica per la progettazione ottima di una stazione di ricarica rapida dc con accumulo integrato, per l'integrazione nel sistema dei trasporti di E.E. da fonti rinnovabili non programmabili 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizzazione dimostratore stazione con accumulo e validazione sperimentale piattaforma di progettazione; - Up-grading piattaforma di progettazione e simulazione ed integrazione con sistemi V2G ; - Prova vita sistemi di accumulo Litio;
b	<ul style="list-style-type: none"> - Studio delle relazioni tra trasporto privato con veicoli PHV e rete in funzione della tipologia di ricarica e con funzioni V2G; - Modellistica per analisi energetica di sistemi e veicoli in ricarica con funzionalità V2G; 	<ul style="list-style-type: none"> - Validazione modellistica energetica attraverso prove in laboratorio con convertitori prototipali; - Mappatura energetica per la distribuzione ottimale di infrastrutture di ricarica;
c	<ul style="list-style-type: none"> - Attività internazionali in ambito elettromobilità (IEA) - Partecipazione a mostre, convegni e articoli 	<ul style="list-style-type: none"> - Prosecuzione attività internazionali in ambito elettromobilità (IEA) - Partecipazione a mostre, convegni e articoli - Realizzazione pubblicazione illustrativa dei risultati delle attività triennali.