

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

**PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2013**

**Parte 1**

## INDICE

<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>AREA GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE</b>	<b>5</b>
Progetto A.3.2 SISTEMI AVANZATI DI ACCUMULO DELL'ENERGIA	5
<b>AREA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE</b>	<b>17</b>
Progetto B.1.1 SVILUPPO DI SISTEMI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSE E L'UPGRADING DEI BIOCOMBUSTIBILI	17
Progetto B.1.3 ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE	28
Progetto B.1.5 STUDI E VALUTAZIONI SULLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DALLE CORRENTI MARINE E DAL MOTO ONDOSI	44
Progetto B.3.1 SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE E COLLABORAZIONE AI PROGRAMMI INTERNAZIONALI PER I NUCLEARE DI IV GENERAZIONE	52
Progetto B.3.2 ATTIVITÀ DI FISICA DELLA FUSIONE COMPLEMENTARI A ITER	79
<b>AREA RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA</b>	<b>91</b>
Progetto C.1 RISPARMIO DI ENERGIA ELETTRICA NEI SETTORI: CIVILE, INDUSTRIA E SERVIZI	91
Progetto C.2 SVILUPPO DI MODELLI PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA SUL PATRIMONIO IMMOBILIARE PUBBLICO	105
Progetto C.3 UTILIZZO DEL CALORE SOLARE E AMBIENTALE PER LA CLIMATIZZAZIONE	119
Progetto C.4 PRODOTTI E PROCESSI PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NELL'ELETTROMOBILITÀ	125

## PREMESSA

Le attività di ricerca hanno come riferimento principale il Piano Operativo Annuale (POA) per l'anno 2013 per la Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale del Ministero dello Sviluppo Economico, che prevede all'art. 2 un finanziamento di 25,8 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 di attività inerenti la cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> presso il Polo tecnologico del Sulcis, di cui al Protocollo Sulcis;
- 13,8 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 CO<sub>2</sub>, 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 2013 Parte 1** prevede attività per 22,3 milioni di euro, comprende dieci degli undici progetti di ricerca previsti, con esclusione delle attività sulla Cattura e Sequestro della CO<sub>2</sub> (progetto B.2 per 3,5 milioni di euro, che include anche le attività da svolgersi presso il Polo Tecnologico del Sulcis) che saranno oggetto del **Piano Annuale di Realizzazione 2013 Parte 2**.

I Progetti sono suddivisi in tre Aree prioritarie di intervento, con durata delle attività da ottobre 2013 a settembre 2014:

### **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
- 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 2013 Parte 1 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)	
Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale	A.3.2	Sistemi avanzati di accumulo dell'energia	6440	260	154	25	61	0	10	90	600
<i>Subtotale Area A</i>			<b>6440</b>	<b>260</b>	<b>154</b>	<b>25</b>	<b>61</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>90</b>	<b>600</b>
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	13950	545	330	89	93	0	13	330	1400
	B.1.3	Energia elettrica da fonte solare	17150	635	381	65	90	0	29	300	1500
	B.1.5	Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso	2650	107	64	50	5	0	9	65	300
	B.3.1	Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione	18522	724	435	606	255	200	80	700	3000
	B.3.2	Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari a ITER	42468	1699	1019	5469	110	343	110	250	9000
<i>Subtotale Area B</i>			<b>94740</b>	<b>3710</b>	<b>2229</b>	<b>6279</b>	<b>553</b>	<b>543</b>	<b>241</b>	<b>1645</b>	<b>15200</b>
Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica	C.1	Risparmio di energia elettrica nei settori civile, industria e servizi	19870	729	438	29	98	30	66	410	1800
	C.2	Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico	39350	1556	931	16	52	250	20	675	3500
	C.3	Utilizzo del calore solare e ambientale nella climatizzazione	8650	317	188	87	35	0	13	160	800
	C.4	Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità	3610	152	91	18	50	0	9	80	400
<i>Subtotale Area c</i>			<b>71480</b>	<b>2754</b>	<b>1648</b>	<b>150</b>	<b>235</b>	<b>280</b>	<b>108</b>	<b>1325</b>	<b>6500</b>
<b>TOTALE</b>			<b>172660</b>	<b>6724</b>	<b>4031</b>	<b>6454</b>	<b>849</b>	<b>823</b>	<b>359</b>	<b>3060</b>	<b>22300</b>

\* 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 e con la partecipata FN

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

Le attività previste riguardano i sistemi di accumulo più promettenti in termini tecnici ed economici 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 orientate prevalentemente allo sviluppo di sistemi di accumulo elettrochimico (sistemi a base di litio e sistemi redox a flusso ed ad alta temperatura).

### **Situazione 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 è certamente quella elettrochimica. Tuttavia 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. Le batterie più interessanti sono attualmente quelle al litio, ad alta temperatura ed a flusso. Le potenzialità tecniche delle batterie al litio e di altri sistemi di accumulo elettrochimico, come le batterie redox ed ad alta temperatura devono essere opportunamente studiate e sviluppate fino ad un livello prototipale di taglia significativa con l'obiettivo di avere sistemi economicamente più convenienti ed energeticamente più efficienti.

### **Stato attuale delle tecnologie**

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.

### **Obiettivo finale dell'attività**

L'obiettivo generale del progetto è la ricerca, la realizzazione e la verifica sperimentale, di sistemi di accumulo elettrico con prevalenza per quelli di tipo elettrochimico basati sul litio, ma anche ad alta temperatura e redox a flusso. Inoltre verranno portate avanti attività relative agli aspetti ambientali e di sicurezza, cercando di intervenire e di proporre soluzioni migliorative all'intera filiera: dalla produzione alle fasi di utilizzazione e riciclaggio finale dei vari sistemi di accumulo. Per migliorare l'accettazione e ridurre l'impatto ambientale ed anche economico delle batterie verranno studiati e sviluppati processi ecocompatibili di recupero dei materiali contenuti nelle batterie di maggiore interesse applicativo.

### **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".

Per quanto riguarda la collaborazione in ambito nazionale, oltre ad una continua analisi, come fatto fino ad

ora, dei relativi programmi di attività per evitare inutili sovrapposizioni, si intende proporre una intensificazione delle valutazioni congiunte dei vari sistemi di accumulo studiati nei programmi delle tre organizzazioni, anche sulla base delle procedure congiuntamente sviluppate ed, eventualmente, nella classificazione di cicli di lavoro rappresentativi di applicazioni particolarmente interessanti per la rete elettrica nazionale, quali ad esempio quelli per utenze residenziali e di servizio in impianti con fonti rinnovabili.

### ***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. In questo modo si prevede di mantenere un aggiornato supporto scientifico e tecnologico, insieme alla sperimentazione delle soluzioni più promettenti e potenzialmente applicabili e trasferibili agli sviluppi industriali nel breve o medio termine.

## **PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ**

### ***Descrizione obiettivi***

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

L'attività prevede la prosecuzione delle attività di ricerca per il consolidamento dei risultati più promettenti ottenuti nell'anno precedente, su due percorsi alternativi: 1) il completamento della scelta ed ottimizzazione dei materiali anodici (ossidi di titanio o di silicio) 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. Inoltre verrà proseguito, per la verifica delle effettive potenzialità applicative in sistemi di accumulo, lo studio di materiali anodici a base di grafene, svolto principalmente presso l'Università di Camerino con le verifiche sperimentali, condotto anche da ENEA e dall'Università di Bologna, che, pur aprendo interessanti prospettive di sviluppi futuri, richiede ancora attività di ricerca. 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 (grafiti e ossidi di titanio) e catodici (a base di litio ferro fosfato) per la progettazione, realizzazione e prova di celle complete in taglia significativa (fino a circa 100 mAh) da sottoporre a caratterizzazione elettrica (capacità, energia e potenza specifica e vita ciclica) ed elettrochimica. I materiali prodotti ed i manufatti elettrodici saranno sottoposti a completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica in tutte le fasi del processo fino alla realizzazione delle celle finali. Le celle complete dovranno essere delle due tipologie previste dal progetto: una versione di alta energia e l'altra di alta potenza. L'esecuzione dell'intera campagna sperimentale di caratterizzazione e di messa a punto dei processi di preparazione dei materiali, di composizione degli elettrodi e dell'elettrolita e del disegno finale della cella, richiederà la realizzazione e prova di decine di campioni.

#### ***a.1 Studio di nuovi materiali elettrodici a più alte prestazioni e/o più basso costo***

Per quanto riguarda i materiali catodici saranno completate le attività di ricerca di materiali di nuova generazione a base di fosfato di manganese, eventualmente drogato. Nel precedente anno di progetto l'Università di Bologna ha sviluppato un materiale a base di litio manganese fosfato contenente basse percentuali di  $V_2O_3$  caratterizzato da un'ottima stabilità alla ciclazione e risposta alle correnti elevate, ma con limitati valori di capacità specifica. In questa annualità verrà completata l'ottimizzazione di questo materiale, che presenta il vantaggio di potere operare con elettroliti convenzionali, anche in configurazione di cella completa, confrontando poi i risultati con quelli ottenuti con catodi a base di ossidi misti di Ni e Mn sia commerciali che sintetizzati dall'Università di Bologna che fornirà poi all'ENEA campioni per svolgere prove in parallelo su celle da laboratorio (a tre elettrodi o bottone). Nel confronto delle potenzialità dei due tipi di celle prodotte, ad alta energia e potenza, verranno anche esaminati i costi energetici di produzione

dei materiali e la loro riciclabilità. 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, proseguirà lo studio dei materiali scelti nell'anno precedente (grafiti e composti metallici, presso l'Università di Camerino), in base ai risultati sperimentali ottenuti in celle complete da laboratorio, che 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 significativa (centinaia di mAh). In base ai risultati fin qui ottenuti, le possibili prospettive di sviluppo riguardano l'ottimizzazione della stabilità degli elettrodi compositi Sn/grafene e Si/grafene (dove con grafene si intende RGO, prodotto di riduzione del grafene ossido, sintetizzato in laboratorio o commerciale), in maniera da migliorare la vita ciclica ed incrementare le correnti specifiche tollerabili dagli elettrodi.

Allo stato attuale, gli elettrodi Sn/grafene e Si/grafene sono in grado di fornire capacità dell'ordine di 500 e 1000 mAh/g, rispettivamente, ad una corrente specifica di 100 mA/g.

Quando la corrente specifica viene incrementata a 500 mA/g, gli elettrodi Sn/grafene mostrano attualmente un decadimento della capacità al di sotto dei 300 mAh/g e dell'efficienza columbica intorno al 96%. L'obiettivo è incrementare l'efficienza columbica e contenere il decadimento delle prestazioni a regimi di corrente più elevate. Parallelamente, saranno portati avanti i test di stabilità al ciclaggio ed invecchiamento, secondo procedure predefinite.

Le possibilità di scaling up produttivo, a livello di laboratorio, sono legate alle metodologie di sintesi e work-up adottate per i vari materiali (grafene ossido, compositi Sn/grafene e Si/grafene) e alle corrispondenti tempistiche. La realizzazione degli elettrodi, in layer di circa 20 cm<sup>2</sup>, richiede invece tempi minori (un giorno) e non è quindi limitante. Si prevede di poter ottenere i target di 1 mAh/cm<sup>2</sup> di elettrodo indicati nel Progetto.

Per i compositi Si/grafene sono allo studio 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 migliorare la riproducibilità della crescita CVD dei nanofili di Si, con l'obiettivo di controllarne pienamente la densità e il diametro medio. Questo controllo permetterà di analizzare in dettaglio la risposta elettrochimica nei cicli di carica-scarica e di conseguenza ricavare informazioni su come questi due parametri influenzino la capacità di ricarica e il rateo di scarica. A questo riguardo, secondo recenti dati pubblicati in letteratura, nanofili di Si di piccolo diametro (< 65nm) sembrerebbero più efficienti rispetto a nanofili di dimensioni maggiori.

Si prevede di testare tre diversi metodi di deposizione: deposizione per via chimica mediante l'utilizzo di sospensioni di nanoparticelle di oro con differenti diametri, PVD (Physical Vapour Deposition) con un evaporatore a bombardamento elettronico operante in modalità "wet wire" ed infine PVD con una cella di Knudsen dotata di crogiuolo e termocoppia. Il confronto di questi tre metodi permetterà di determinare il sistema di deposizione migliore che verrà quindi scelto per la successiva crescita dei nanofili di Si. Inoltre, la determinazione della quantità di oro sulla superficie del substrato sarà effettuata sia mediante una microbilancia al quarzo posta nella camera di deposizione, sia per mezzo di spettroscopia elettronica XPS. I campioni saranno caratterizzati con una camera di analisi per la spettroscopia elettronica collegata direttamente con la camera di crescita. In questa maniera sarà possibile utilizzare la tecnica XPS anche per investigare le specie e il tipo di legami chimici presenti sulla superficie dei nanofili immediatamente dopo la crescita e prima dell'esposizione all'atmosfera, integrando il sistema di supporto del campione e la camera di crescita in modo da permettere il trasferimento tra le due camere anche del substrato riscaldabile utilizzato per la crescita CVD pirolitica. Sarà possibile, inoltre, analizzare mediante tecnica XPS anche campioni già utilizzati come anodi con l'intento di confrontare l'analisi elettronica con le proprietà elettrochimiche misurate in cella.

Le prestazioni di elettrodi (decine di campioni) verranno valutate in termini di capacità specifica di scarica ad almeno 4 diverse C-rate (da C/10 a 1C) a seguito di cariche galvanostatiche (CC)-potenziostatiche (CV), ripetendo 5 cicli ad ogni C-rate, ed in termini di stabilità al ciclaggio (100 cicli profondi a 1 C) in elettrolita

organico convenzionale (miscele di carbonati organici e sali di litio) in celle vs. Li metallico (area elettrodica  $\sim 1 \text{ cm}^2$ , carico elettrodico  $\sim 1 \text{ mAh/cm}^2$ ) a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Saranno inoltre eseguiti test anche temperature più basse. Per evidenziare eventuali fenomeni di *aging* a carico dei materiali anodici o catodici verranno anche eseguite misure di impedenza iniziali ed ogni 50 cicli di carica-scarica.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici sulla “Sintesi e caratterizzazione strutturale e morfologica di materiali anodici e catodici”
- 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

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Università di Camerino

Durata: ottobre 2013 - giugno 2014

### **a.2 Realizzazione e caratterizzazione dei materiali in celle da laboratorio**

Tutti i materiali acquisiti e/o prodotti nel Task a.1 saranno caratterizzati in laboratorio con analisi chimiche, fisiche ed elettrochimiche. Inoltre con i materiali più interessanti verranno costruiti elettrodi che saranno caratterizzati in celle di riferimento da laboratorio (celle a tre elettrodi o celle bottone).

In particolare si svilupperanno due tipologie di celle litio-ione di  $\approx 1 \text{ cm}^2$  e carico elettrodico tale da assicurare una capacità di  $\approx 1 \text{ mAh/cm}^2$  operanti in elettroliti a base di carbonati organici e sali di litio, entrambe con catodo a base di  $\text{LiM}_x\text{Mn}_{1-x}\text{PO}_4$ , e rispettivamente con anodi di grafite e di altro materiale anodico (a base di silicio o di grafene).

Tutte le celle prodotte (alcune decine) verranno sottoposte a cicli di prova per verificarne prestazioni e vita utile, secondo le procedure di prove (elettrochimiche ed elettriche).

Le caratterizzazioni elettrochimiche utilizzeranno le procedure concordate nel Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici sulla “Caratterizzazione completa chimica ed elettrochimica di celle complete da laboratorio con nuovi materiali elettrodici”
- Rapporto riguardante la progettazione delle varie celle (in configurazione bottone od a tre elettrodi) a base dei nuovi materiali sviluppati e la caratterizzazione elettrochimica delle celle complete

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Università di Camerino

Durata: aprile 2014 - settembre 2014

### **a.3 Realizzazione e caratterizzazione di celle complete di taglia significativa**

Questa attività è divisa 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 (fino a circa 100 mAh) 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 per rispondere ad esigenze di alte prestazioni (potenza ed energia), basso costo e basso impatto ambientale: quali il litio ferro fosfato come materiale catodico (per celle di alta energia e di alta potenza) e l’ossido di titanio come materiale anodico per celle di alta potenza. 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 significativa (fino a circa 100 mAh) 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 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"
- Rapporto tecnico sulla "Progettazione delle celle di scala significativa di due tipologie diverse e completa caratterizzazione elettrochimica ed elettrica"

Durata: ottobre 2013 - giugno 2014 (1<sup>a</sup> fase); aprile 2014 - settembre 2014 (2<sup>a</sup> fase)

## **b. Ricerca e sviluppo di batterie redox a flusso**

L'interesse nelle batterie redox a flusso è notevolmente aumentato negli ultimi anni specialmente per quanto riguarda l'uso in applicazioni stazionarie. L'unica batteria a flusso che ha raggiunto lo stadio di commercializzazione è la batteria Vanadio/Vanadio che utilizza le coppie  $V^{5+}/V^{4+}$  (catodo) e  $V^{3+}/V^{2+}$  (anodo) in soluzioni concentrate di  $H_2SO_4$  con un potenziale di cella di circa 1,24 V. Studi preliminari sui principali problemi della tecnologia e sulla formulazione di un modello di funzionamento per ottimizzarne la gestione sono stati condotti nell'anno precedente. Il principale problema delle celle Vanadio/Vanadio è quello relativo alla concentrazione dei materiali attivi ed il fatto che si opera in soluzioni acquose. L'energia specifica della cella è limitata dalle concentrazioni dei materiali attivi che, per problemi di solubilità è attualmente nell'intorno di 1,5-2 M. Il potenziale massimo, sia per la Vanadio/Vanadio, che per altre coppie redox proposte, è limitato entro l'intervallo di stabilità elettrochimica dell'acqua. Altro problema è il costo e la selettività delle membrane.

Nel tentativo di approfondire superare questi problemi si è provveduto ad allestire un banco di prova completo di pompe, cella elettrochimica, sistemi di gestione elettrochimica e sistemi di acquisizione dati. Tramite tale banco sono state effettuate delle valutazioni sugli elettrodi da usarsi in sistemi redox a flusso al vanadio. Con tali elettrodi è stato realizzato un sistema completo con il quale sono state effettuate delle prove preliminari per valutare l'efficienza energetica e faradica. Sono state recentemente proposte in letteratura soluzioni alternative che fanno tesoro dell'esperienza accumulata nella ricerca e nello sviluppo delle batterie al litio.

### **b.1 Ricerca sui modelli della cella redox Vanadio/Vanadio**

Un dispositivo che permetta in ogni momento di intervenire sulle condizioni di esercizio della batteria redox a flusso attraverso un monitoraggio puntuale delle concentrazioni delle specie interessate è uno strumento indispensabile per l'effettiva applicazione.

Il modello della cella sviluppato nella precedente annualità richiede ulteriori prove eseguite su una batteria sperimentale a dieci elementi al fine di migliorarne il funzionamento, ottimizzando i punti critici già identificati. Il modello di riferimento sarà basato su metodi elettrochimici (misura di OCV) o spettrali (UV-Visibile), capace in ogni momento di determinare lo stato di carica (SOC) della cella. A tale scopo si farà uso di celle singole o di prototipi forniti da una ditta esterna a titolo gratuito. L'attività sperimentale avrà anche lo scopo di valutare in via preliminare le potenzialità tecnologiche di questo sistema di accumulo.

Risultato finale della ricerca sarà un modello da inserire nel software di gestione della cella in modo da ottimizzare il suo funzionamento nel tempo ed una valutazione sperimentale dello stato della tecnologia.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Completamento e sviluppo dei modelli Vanadio/Vanadio"

Principali collaborazioni: Università di Camerino

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **b.2 Realizzazione e prova di prototipi di celle a flusso**

Le attività riguarderanno un aumento della densità energetica che potrà essere gradualmente effettuato attraverso innovazioni sequenziali, sia a livello di materiali che di sistema. La ricerca su materiali elettrodi, ad esempio materiali porosi tridimensionali con proprietà catalitiche ottimizzate, potrà determinare un aumento significativo della potenza in uscita per una determinata area elettrodica. L'identificazione di coppie redox stabili che hanno un'alta solubilità così come un alto potenziale di cella nell'intervallo di temperatura desiderato, potrà garantire un aumento della energia accumulata.

Ulteriori studi sulla progettazione sia delle celle che dei sistemi potranno portare a miglioramenti delle prestazioni globali in termini di efficienza energetica e faradica. L'obiettivo principale a livello delle singole celle è quello di minimizzare le perdite nel pompaggio e diminuire i costi dei materiali che costituiscono il pacchetto membrana/elettrodo. A livello di apparato sarà inoltre necessario munire la cella di un sistema di controllo per l'integrazione nella rete, in modo da ottimizzare la gestione della potenza.

### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico su "Studi di base e realizzazione di prototipi di celle a flusso con materiali migliorati"
- Rapporto tecnico su "Studi di base e realizzazione di prototipi di celle a flusso basate sulle chimiche proprie delle batterie al litio"

Principali collaborazioni: Università di Camerino

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **c. Analisi sperimentali di identificazione di cicli rappresentativi 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 d).

Per proseguire l'acquisizione di dati di effettiva funzionalità e di cicli di funzionamento di sistemi di accumulo commerciali, si prevede di effettuare lo studio e la progettazione preliminare 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. L'obiettivo è quello di sviluppare i micro-cicli di funzionamento, già individuati mediante modello, nell'anno precedente, per poter poi essere in grado di valutare sperimentalmente con prove di laboratorio su celle commerciali i profili di potenza ed energia richiesti alla rete elettrica di alimentazione della metro ed individuare un punto soggetto a notevoli variazioni di potenza, dovute alle fasi di accelerazione e di frenatura dei mezzi, dove maggiore è ritenuto il vantaggio ottenibile dall'introduzione di un accumulo, sostenendone anche la scelta ed il dimensionamento (batterie o supercondensatori).

Saranno infine eseguite le prove 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.

È inoltre prevista l'estensione delle attività sull'analisi della sicurezza nelle varie condizioni di produzione ed uso di batterie diverse da quelle.

### **c.1 Identificazione di cicli rappresentativi**

Nel precedente anno le attività hanno riguardato la definizione 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 simulazione 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. Il passo successivo è quello di determinare sperimentalmente i cicli rappresentativi di uso delle batterie e di validare il modello di funzionamento proposto con prove di laboratorio. Non è inclusa in questa attività la realizzazione dell'intero sistema e della sua integrazione, ma soltanto la partecipazione alla campagna di prove dopo adeguato allestimento strumentale, fatto dalle aziende ed organizzazioni coinvolte, e le successive prove di laboratorio su celle di accumulo commerciali utilizzando i cicli rappresentativi.

Risultati/Deliverable:

- Verifica sperimentale con campagna di misura e validazione di un modello e dimensionamento di un sistema di accumulo gestionale per migliorare l'efficienza di una metropolitana leggera

Principali collaborazioni: Università di Pisa

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***c.2 Analisi sperimentali per la "second life" di celle litio-ione***

Dopo l'individuazione del fornitore industriale di celle a litio parzialmente esauste avvenuta nell'anno precedente, verrà condotta, dopo l'acquisizione dei campioni (a costo zero), una campagna sperimentale mediante ciclatori di carica-scarica di almeno 5 celle commerciali con capacità residua, dopo uso in veicoli elettrici, di circa 80% della capacità nominale. 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 caratteristici in alcune applicazioni tipiche per le reti elettriche, già individuati in attività svolte negli anni precedenti e nell'anno in corso (come la batteria per la tranvia di Bergamo). Inoltre è prevista la caratterizzazione termica della singola cella, 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 eventuale raffreddamento in esercizio ed eventuale riscaldamento nell'avviamento a freddo. Sarà valutata inoltre, in uno specifico impianto sperimentale, la capacità di raffreddamento delle celle con l'utilizzo di aria.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sull'attività sperimentale di "second life"
- Rapporto sull'analisi termica e sulle necessità di condizionamento termico delle celle

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***c.3 Studi di sicurezza nell'applicazione dei sistemi di accumulo elettrochimico (alta temperatura e litio)***

La produzione di energia elettrica generata da fonti rinnovabili è, a livello internazionale, sempre di più al centro delle politiche energetiche e ambientali. La discontinuità della produttività di queste fonti può essere affrontata e risolta attraverso la realizzazione di adeguati sistemi di accumulo (EES, Electrical Energy Storage), in grado di fornire l'energia elettrica quando richiesta.

Il problema diventa più consistente con l'aumentare delle dimensioni degli impianti di produzione, per i quali sembra promettente l'impiego di sistemi elettrochimici di accumulo. Tra le tecnologie disponibili, si annoverano quelle ad alta temperatura, basate su celle Sodio-Zolfo e Sodio-Cloruri metallici e quelle Litio-ione.

Le quantità di materia e di energia in gioco nei sistemi di accumulo su larga scala ed i conseguenti rischi per l'uomo e l'ambiente, andrebbero valutati in fase di progettazione preliminare del sistema di accumulo, tenuto conto delle specificità di utilizzo, di allocazione e di manutenzione.

A tal fine, sebbene le tecnologie ad alta temperatura siano ritenute "tecnologie consolidate" sotto la maggior parte dei punti di vista, l'impiego su larga scala può porre problemi in termini di gestione del rischio di incidenti o di mal funzionamenti, legati sia alla reattività dei sistemi chimici impiegati che alla elevata temperatura di funzionamento. A maggior ragione, questi problemi devono essere indagati per le tecnologie al Litio-ione, meno mature. In proposito, studi sistematici e sperimentazioni sull'identificazione dei pericoli (ad esempio, test di abuso) e sulla gestione del rischio (compresa l'individuazione di appositi

sistemi di estinzione incendi) sono stati avviati di recente sia a livello internazionale che presso i Laboratori ENEA.

La presente attività si propone di confrontare, in termini di sicurezza, le tecnologie sopra identificate e candidate alla realizzazione di grandi sistemi di accumulo stazionario.

Sulla base degli studi di sicurezza in corso presso i nostri laboratori e in quelli di istituzioni pubbliche di rilievo internazionale, della letteratura scientifica disponibile e di articoli/comunicati stampa disponibili sul web, verranno: identificati i pericoli per la salute (uomo e ambiente) e la sicurezza, valutate le quantità di materia ed energia associate a sistemi di accumulo "campione", raccolte informazioni relative ad incidenti occorsi ad impianti esistenti (dimostrativi o in esercizio), ipotizzati scenari incidentali e verrà esaminato lo stato dell'arte relativo ai sistemi di controllo e gestione della sicurezza di tali tecnologie.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Aspetti di sicurezza di sistemi di accumulo al litio ed ad alta temperatura per applicazioni nelle reti elettriche"

Il rapporto conterrà un confronto tra le due tecnologie a parità di potenza specifica: elaborazione e valutazione dati; una ricerca sui sistemi di gestione del rischio: prevenzione e protezione; ed una valutazione delle norme applicabili

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **d. Recupero di materiali da batterie al litio a fine vita**

Il numero sempre crescente di batterie agli ioni litio, dovuto alle loro caratteristiche di alta densità energetica, leggerezza, lunga durata di utilizzo e al continuo sviluppo con il raggiungimento degli obiettivi tecnici richiesti dal mercato, rende il riciclaggio di tali dispositivi una necessità legata sia agli aspetti ambientali che a quelli economici. Inoltre la direttiva Europea 2006/66/CE, entrata in vigore il 26 settembre 2006 in tutti gli stati membri UE, sancisce che tutte le pile ed accumulatori, indipendentemente dalla loro classificazione elettrochimica, devono essere raccolte per poi essere successivamente riciclate. In particolare entro il 2016 si deve raggiungere il 45% di raccolta dell'immesso sul mercato con un target di efficienza del 50% del processo di recupero.

Tuttavia Il riciclo delle batterie agli ioni litio è un processo complesso costituito da diverse fasi che 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 progettare e sviluppare processi di separazione e recupero ecosostenibile dei materiali attivi (catodo e anodo) ottenuti da batterie al litio esauste, anche mediante lo sviluppo di soluzioni innovative, già studiate preliminarmente nell'anno precedente. La separazione dei materiali attivi dai relativi supporti metallici e/o plastici verrà effettuata mediante progettazione di opportune miscele ecologiche di solventi organici studiate ad hoc per le diverse tipologie di materiali attivi, e mediante utilizzo di processi fisici, o tramite un processo chimico di solvatazione, ecosostenibili. La separazione è una fase critica del processo di riciclo: da essa può dipendere la quantità, la purezza e la struttura del materiale recuperato.

Altra criticità è rappresentata dallo sviluppo di processi eco innovativi per il recupero selettivo di metalli ad elevato valore aggiunto. L'idrometallurgia rappresenta una soluzione tecnologica innovativa a basso impatto ambientale per il recupero di metalli ad elevati livelli di purezza.

L'obiettivo finale di questo anno di attività è la progettazione preliminare di un impianto pilota, eventualmente da progettare e realizzare nel prossimo anno, in funzione delle risorse disponibili.

##### **d.1 Sviluppo di una metodologia di apertura in sicurezza di batterie al litio a fine vita**

Questa attività si pone come obiettivo lo sviluppo di una metodologia di apertura in sicurezza di batterie al litio di diverso design. Lo svolgimento di tale attività prevede in primo luogo la scarica in sicurezza della batteria e, successivamente, la sua caratterizzazione non distruttiva attraverso misure EDX per la

valutazione dello stato chimico-fisico della cella. L'apertura di celle di dimensioni maggiori rispetto a quelle aperte durante lo scorso anno di attività, prevede che tale attività sia svolta in un ambiente controllato e che la fase di triturazione della cella sia condotta in un ambiente controllato, ad esempio in presenza di CO<sub>2</sub> o di azoto liquido, per evitare che il litio metallico eventualmente presente nella batteria possa reagire violentemente con l'umidità dell'aria.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Procedura in sicurezza dell'apertura di celle al litio"

Durata: ottobre 2013 - aprile 2014

**d.2 Sviluppo di processi di separazione dei materiali attivi dai supporti tramite processi di solvatazione e sonicazione**

Questa attività mira a sviluppare, dopo la scarica e l'apertura della batteria in sicurezza, i processi innovativi di 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 avviene attraverso un processo di solvatazione del legante, costituito principalmente da polivinildifloruro (PVDF), tramite una nuova miscela di solventi organici eco-sostenibile da noi individuata nel primo anno di attività. La ricerca si occuperà quindi della caratterizzazione della miscela e del materiale separato e recuperato. Sarà anche investigata la possibilità di sviluppare un processo di separazione di tipo fisico che prevede la dissoluzione dei fogli catodici e anodici in acqua e la separazione delle polveri attive dai relativi supporti attraverso un processo di sonicazione della sospensione acquosa. Inoltre si propone lo studio di fattibilità dell'estrazione del legante e dell'elettrolita dai fogli catodici e anodici mediante un processo di solvatazione con la CO<sub>2</sub> supercritica. Il recupero dei materiali sarà effettuato attraverso sistemi di vagliatura e centrifugazione.

Inoltre è prevista la caratterizzazione chimico-fisica di tutte le miscele di solventi organici e dei materiali recuperati mediante varie tecniche.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico "Sviluppo di procedure di separazione dei materiali attivi tramite un processo chimico di sonicazione e solvatazione eco-sostenibile"

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

**d.3 Sviluppo di un processo per il recupero di materiali di elevato valore aggiunto da batterie al Litio esauste tramite processi idrometallurgici**

Il problema del recupero dei materiali da batterie al litio esauste verrà affrontato attraverso l'applicazione di tecnologie eco-sostenibili di tipo idrometallurgico prevedendo schematicamente le seguenti azioni:

- 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
- sperimentazione del processo in scala laboratorio

La tempistica delle attività è su due anni; nel secondo anno saranno completate la sperimentazione del processo in scala pre-pilota e la progettazione di un impianto pilota sulla base del processo sviluppato.

Risultati/Deliverable

- Rapporto sulla caratterizzazione dei materiali da trattare e sulle opzioni tecnologiche attualmente esistenti per il loro recupero
- Rapporto sul processo individuato per il recupero di materiali da batterie agli ioni litio esausti tramite tecnologie idrometallurgiche ecosostenibili

Durata: ottobre 2013 - luglio 2014

#### **d.4. Valutazione del ciclo di vita (LCA) delle batterie al litio e degli aspetti ambientali rilevanti dei nuovi processi idrometallurgici per il recupero di materiali**

Al fine di agevolare la scelta del processo di cui al punto d.3, sarà effettuata la valutazione del ciclo di vita (LCA) sulle batterie al litio tenendo conto degli attuali standard tecnologici, di produzione, di fase di uso e di fine vita (incluso il trattamento), cui gli attuali modelli di batterie al litio vengono sottoposti (scenario base). Inoltre, in affiancamento alla fase di sperimentazione di cui al punto d.3. saranno valutati i principali aspetti ambientali rilevanti che possono eventualmente scaturire dai nuovi processi di trattamento di tipo idrometallurgico.

##### Risultati/Deliverable:

- Valutazione LCA di batterie a litio secondo lo scenario base
- Rapporto sugli aspetti ambientali rilevanti dei nuovi processi di tipo idrometallurgico per il recupero di materiali da batterie al litio a fine vita

Durata: gennaio 2014 - settembre 2014

#### **e. Partecipazione a collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati**

##### **e.1. Partecipazione a collaborazioni internazionali**

L'attività prevede la 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", coordinato dall'ENEA nella parte relativa all'Accumulo Elettrochimico. 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.

##### Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulla partecipazione ai gruppi internazionali

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

##### **e.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 ed, eventualmente, sostenere la realizzazione di workshop sui temi specifici in collaborazione con gli altri enti pubblici partecipanti alla ricerca di sistema.

**Risultati/Deliverable:**

- Rapporto sulle attività di comunicazione e diffusione

**Durata:** ottobre 2013-settembre 2014

**Programma temporale e preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
<b>a</b>	<b>Ricerca e sviluppo di batterie al litio per le reti elettriche</b>													
	<i>a.1 Studio di nuovi materiali elettrodici a più alte prestazioni e/o più basso costo</i>													
	<i>a.2 Realizzazione e caratterizzazione dei materiali in celle da laboratorio</i>													
	<i>a.3 Realizzazione e caratterizzazione di celle complete di taglia significativa</i>													
<b>b</b>	<b>Ricerca e sviluppo di batterie redox a flusso</b>													
	<i>b.1 Ricerca sui modelli della cella redox Vanadio/Vanadio</i>													
	<i>b.2 Realizzazione e prova di prototipi di celle a flusso</i>													
<b>c</b>	<b>Analisi sperimentali di identificazione di cicli rappresentativi e di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico</b>													
	<i>c.1 Identificazione di cicli rappresentativi</i>													
	<i>c.2 Analisi sperimentali per la "second life" di celle litio-ione</i>													
	<i>c.3 Studi di sicurezza nell'applicazione dei sistemi di accumulo elettrochimico (alta temperatura e litio)</i>													
<b>d</b>	<b>Recupero di materiali da batterie al litio a fine vita</b>													
	<i>d.1 Sviluppo di una metodologia di apertura in sicurezza di batterie al litio a fine vita</i>													
	<i>d.2 Sviluppo di processi di separazione dei materiali attivi dai supporti tramite processi di solvatazione e sonicazione</i>													
	<i>d.3 Sviluppo di un processo per il recupero di materiali di elevato valore aggiunto da batterie al Litio esauste tramite processi idrometallurgici</i>													
	<i>d.4 Valutazione del ciclo di vita (LCA) delle batterie al litio e degli aspetti ambientali rilevanti dei nuovi processi idrometallurgici per il recupero di materiali</i>													
<b>e</b>	<b>Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati</b>													
	<i>e.1 Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali</i>													
	<i>e.2 Comunicazione e diffusione dei risultati</i>													

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.4 del PAR 2012), pari a 40,4 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 24,2 €/h.

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
<b>a</b>	<b>Ricerca e sviluppo di batterie al litio per le reti elettriche</b>									
	<i>a.1 Studio di nuovi materiali elettrodi a più alte prestazioni e/o più basso costo</i>	810	33	19	4	3	0	1	35	95
	<i>a.2 Realizzazione e caratterizzazione dei materiali in celle da laboratorio</i>	560	23	13	3	6	0	0	15	60
	<i>a.3 Realizzazione e caratterizzazione di celle complete di taglia significativa</i>	750	30	18	3	9	0	0	0	60
	<b>Subtotale Ob. a</b>	<b>2120</b>	<b>86</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>215</b>
<b>b</b>	<b>Ricerca e sviluppo di batterie redox a flusso</b>									
	<i>b.1 Ricerca sui modelli della cella redox Vanadio/Vanadio</i>	300	12	7	0	0	0	1	10	30
	<i>b.2 Realizzazione e prova di prototipi di celle a flusso</i>	500	20	12	1	10	0	0	10	53
	<b>Subtotale Ob. b</b>	<b>800</b>	<b>32</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>83</b>
<b>c</b>	<b>Analisi sperimentali di identificazione di cicli rappresentativi e di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico</b>									
	<i>c.1 Identificazione di cicli rappresentativi</i>	200	8	5	0	0	0	1	20	34
	<i>c.2 Analisi sperimentali per la "second life" di celle litio-ione</i>	400	16	10	0	2	0	0	0	28
	<i>c.3 Studi di sicurezza nell'applicazione dei sistemi di accumulo elettrochimico (alta temperatura e litio)</i>	350	14	8	0	5	0	1	0	28
	<b>Subtotale Ob. c</b>	<b>950</b>	<b>38</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>90</b>
<b>d</b>	<b>Recupero di materiali da batterie al litio a fine vita</b>									
	<i>d.1 Sviluppo di una metodologia di apertura in sicurezza di batterie al litio a fine vita</i>	370	15	10	0	3	0	0	0	28
	<i>d.2 Sviluppo di processi di separazione dei materiali attivi dai supporti tramite processi di solvatazione e sonicazione</i>	350	14	8	7	5	0	1	0	35
	<i>d.3 Sviluppo di un processo per il recupero di materiali di elevato valore aggiunto da batterie al Litio esauste tramite processi idrometallurgici</i>	950	38	23	7	15	0	2	0	85
	<i>d.4 Valutazione del ciclo di vita (LCA) delle batterie al litio e degli aspetti ambientali rilevanti dei nuovi processi idrometallurgici per il recupero di materiali</i>	500	20	12	0	0	0	0	0	32
	<b>Subtotale Ob. d</b>	<b>2170</b>	<b>87</b>	<b>53</b>	<b>14</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>180</b>
<b>e</b>	<b>Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati</b>									
	<i>e.1 Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali</i>	300	12	7	0	2	0	2	0	23
	<i>e.2 Comunicazione e diffusione dei risultati</i>	100	5	2	0	1	0	1	0	9
	<b>Subtotale Ob. e</b>	<b>400</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>32</b>
	<b>TOTALE</b>	<b>6440</b>	<b>260</b>	<b>154</b>	<b>25</b>	<b>61</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>90</b>	<b>600</b>

\* 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



<b>AREA</b>	<b>PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE</b>	
<b>Tema di Ricerca</b>	<b>STUDI E SPERIMENTAZIONI SUI POTENZIALI SVILUPPI DELLE ENERGIE RINNOVABILI - ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSE</b>	
<b>Progetto B.1.1</b>	<b>SVILUPPO DI SISTEMI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSE E L'UPGRADING DEI BIOCOMBUSTIBILI</b>	<b>REV.0</b>

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

La valorizzazione energetica di biomasse di diversa natura (scarti, residui e reflui di produzioni agricole, allevamenti zootecnici e lavorazioni agroindustriali e la frazione organica dei rifiuti urbani), disponibili nell'ambito "locale", può essere ottenuta in diversi modi e in particolare, con specifico riferimento alla produzione di energia elettrica 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 per trasferire l'energia contenuta nella biomassa ad un opportuno vettore energetico.

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 upgrading che consentano di ottenere il gas della qualità necessaria e di minimizzare le emissioni gassose nocive per la salute e per l'ambiente, ed impianti affidabili e di facile gestione.

### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

I processi di DA e le successive fasi di clean up e upgrading (rimozione della CO<sub>2</sub>) del biogas sono oggetto di crescente attenzione per i vantaggi che il loro impiego potrebbe presentare. In questa direzione vanno le attività di ricerca 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. A tale riguardo, sono allo studio metodologie che inibiscono la formazione di acido solfidrico e metodi di abbattimento chimico-fisico o biologici.

Per quanto riguarda la produzione di syngas mediante i processi di gassificazione delle biomasse lignocellulosiche, il quadro si differenzia notevolmente passando dal processo che utilizza acqua supercritica ai sistemi di gassificazione "a secco", finalizzati alla produzione di syngas ricchi in metano (bio-SNG).

### **Stato attuale delle tecnologie**

La produzione di energia da biogas è spesso problematica per i costi elevati connessi alla realizzazione di tali impianti di conversione. E' indubbio che l'industria, soprattutto quella estera, sia presente con prodotti maturi ed affidabili, tuttavia è altrettanto evidente la necessità di sostenere e sviluppare la ricerca in questo campo, in particolare in Italia, sia per quanto riguarda le tipologie e le potenzialità delle biomasse alimentabili, sia per le problematiche legate alla collocazione finale del digestato.

Tenendo conto delle particolari caratteristiche del sistema produttivo agricolo nazionale, la tipologia più richiesta di digestore anaerobico è quella di impianti di piccola-media taglia ad alta resa energetica. Un discorso analogo vale, forse in maniera anche maggiore, per i gassificatori di biomasse lignocellulosiche, che rappresentano 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, 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 e neppure studi sui sistemi di conversione innovativi da associare a questi dispositivi, soprattutto in una fascia di potenza medio-bassa compatibile con la generazione-cogenerazione 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 a temperature superiori ai 450 °C. 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 riguardano 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.

Le attività condotte da RSE nel campo della bioenergia 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**

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 taglia o per la produzione di biometano adatto ad essere immesso nella rete nazionale di distribuzione del gas naturale.

## **PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ**

### **Descrizione obiettivi**

#### **a. Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili**

##### **a.1 Processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano e/o miscele di metano e idrogeno**

Nell'ambito di questa linea di attività si procederà alla sperimentazione in scala laboratorio dell'idrolisi di substrati lignocellulosici con l'impiego di funghi anaerobici ruminanti e batteri isolati nel corso delle annualità precedenti, allo scopo di individuare i parametri di processo da utilizzare per la definizione delle caratteristiche dimensionali e modalità operative di un modulo impiantistico di pretrattamento biologico,

da affiancare all'impianto pilota di digestione anaerobica DMM6000, che aumenti l'efficienza idrolitica del processo di DA. Saranno inoltre effettuate prove di biometanazione e di digestione anaerobica di biomassa microalgale, pretrattata e non, prodotta presso l'ENEA nell'ambito delle attività illustrate nel punto a.2.

Per poter ottenere dal digestato in uscita dal DMM6000 una fase liquida con un contenuto in solidi molto basso ed un elevato livello di "trasparenza", idonea all'alimentazione di colture di microalghe, potrà essere necessario acquisire un adeguato sistema di separazione liquido/solido, che permetta al contempo di recuperare un residuo solido abbastanza secco da poter essere utilizzato in un impianto pilota per la produzione di compost presente nel CR Casaccia.

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, sia per incrementare le rese di conversione in metano che per indirizzare il processo verso una significativa e specifica produzione di idrogeno, facendo funzionare in continuo il primo stadio ed iniettando nel secondo l'idrogeno che questo produce, in modo da aumentare resa e produttività del secondo stadio. Per lo svolgimento di questa attività si effettuerà l'implementazione dell'impianto pilota in scala laboratorio già disponibile, in modo da renderlo continuo con l'inserimento di una pompa di trasferimento supplementare. I risultati di queste attività saranno utilizzati per la progettazione di un modulo da inserire a monte del digestore DMM6000 e per effettuare una comparazione tecnico-economica preliminare di un processo di DA condotto sulle stesse biomasse in configurazione sia a singolo che a doppio stadio.

E' prevista da parte del partner universitario (Università della Tuscia) prosecuzione dello studio sul processo idrolitico del *Lecanicillium muscarium*, con uno specifico contributo alle attività finalizzate ad isolare ulteriori ceppi fungini ruminali e ad affiancare l'ENEA nell'impostare ed effettuare le prove preliminari di pretrattamento idrolitico in condizioni anaerobiche.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati della sperimentazione di processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano e/o miscele di metano e idrogeno
- Rapporto tecnico sui risultati delle prove sperimentali per la valutazione dell'effetto di pretrattamenti chimico-fisici e/o biologici sulla produzione di biogas da substrati lignocellulosici e biomassa microalgale
- Progetto preliminare di un modulo da inserire a monte del digestore DMM6000, con comparazione tecnico-economica del processo di DA in configurazione a singolo ed a doppio stadio

Principali collaborazioni: Università della Tuscia

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **a.2 Sistemi per la produzione di microalghe da inserire a valle del processo di DA**

Questa attività ha l'obiettivo di valutare la fattibilità tecnico-economica dell'utilizzo di biomassa fitoplanctonica per alimentare un impianto di DA.

Saranno pertanto allestite colture di laboratorio di differenti ceppi di microalghe per determinarne la produttività in metano in termini di  $\text{ml}_{\text{CH}_4}/\text{g}_{\text{VS}}$  e, parallelamente, si procederà ad una valutazione preliminare del costo di produzione della biomassa microalgale sulla base di quanto riportato in letteratura e dei risultati di esperienze attualmente in corso sul territorio europeo.

Sarà inoltre valutata la fattibilità tecnico-economica dell'utilizzazione dei nutrienti contenuti nel digestato liquido di un impianto di DA per la crescita delle microalghe. A tale scopo, si incrementerà la produzione di biomassa microalgale mediante l'allestimento di colture di *Scenedesmus* sp. (specie oggetto di studio nel corso del PAR 2012) in piscine fuori terra del volume di circa  $2 \text{ m}^3$ , alimentate con digestato liquido a diverse diluizioni, impiegando anche sistemi di produzione di energia elettrica mediante pannelli fotovoltaici già disponibili per alimentare i dispositivi di insufflaggio aria, movimentazione e illuminazione delle colture di laboratorio da utilizzare come inoculo delle piscine. Si valuterà anche il beneficio derivante dall'immissione di digestato liquido non diluito in modalità controllata per mantenere il livello dei nutrienti a valori ottimali per la crescita delle microalghe. Per la movimentazione del mezzo di coltura nelle vasche, saranno acquisiti ed installati agitatori su specifici supporti.

Saranno inoltre avviate prove sperimentali di tecniche a basso costo di separazione della biomassa dal mezzo di coltura.

Risultati/Deliverable:

- Apparatrici sperimentali per la produzione di microalghe da inserire a valle del processo di DA
- Rapporto tecnico sulle modalità operative dei sistemi per la produzione di microalghe, rese produttive dei diversi ceppi oggetto di sperimentazione e separabilità della biomassa, con valutazioni comparative della produttività in metano delle diverse microalghe sottoposte a prove di laboratorio di DA

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**a.3 Gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW) di biomasse ad elevato contenuto idrico**

Obiettivo principale di questa attività sarà 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.

L'impianto pilota utilizzato per la sperimentazione consente di utilizzare matrici con contenuto di acqua superiore al 70% in peso sul tal quale, con viscosità fino a 10 cP e densità superiore a 1,3 kg/L, a pressioni di esercizio superiori a 300 bar e temperatura massima di 550 °C. Il sistema di alimentazione permette di effettuare test sperimentali a portate variabili e differenti tempi di residenza. Per consentire di operare nelle condizioni richieste dal processo sarà acquisita ed installata sull'impianto pilota una specifica pompa ad alta pressione.

Nel corso di questa annualità si intende approfondire lo studio del processo al fine di acquisire ulteriori elementi per la comprensione dei meccanismi di reazione che intervengono nella formazione dei prodotti di conversione della biomassa. Verranno pertanto testati vari catalizzatori e valutati gli effetti sulla composizione del syngas al variare della composizione delle correnti di alimentazione e delle condizioni operative, e comparati i dati sperimentali con quelli ottenuti con le simulazioni effettuate con il modello matematico sviluppato nelle precedenti annualità. In particolare, saranno condotte dall'Università della Calabria le attività di preparazione dei catalizzatori e le caratterizzazioni volte a valutare la loro stabilità chimica e meccanica durante il processo, ed individuare fenomeni irreversibili e non per poter operare la rigenerazione del substrato catalitico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto contenente i risultati delle prove sperimentali su impianto pilota di differenti matrici sottoposte a gassificazione con acqua supercritica e comparazione con i dati ricavati dalle simulazioni effettuate nella precedente annualità
- Rapporto sui test di conversione catalitica condotti in condizioni supercritiche e la caratterizzazione chimico-fisica dei catalizzatori
- Rapporto sulle attività sperimentali, con particolare evidenza della parte relativa alla disattivazione ed alla rigenerazione, sia in termini di conversione e selettività sia in termini di alterazione delle proprietà chimico fisiche del catalizzatore.

Principali collaborazioni: Università della Calabria

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**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**

Si procederà con la sperimentazione dell'adsorbimento con carboni attivi dell'H<sub>2</sub>S presente nel biogas prodotto con l'impianto pilota DMM6000, su cui verrà installato un sistema di deumidificazione con circuito frigorifero.

Si realizzeranno poi ulteriori prove di abbattimento dell'H<sub>2</sub>S con catalizzatori a base di V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/CeO<sub>2</sub>, anche in condizioni di temperature inferiori rispetto a quelle delle prove eseguite nella precedente annualità,

comprese tra 100 e 120 °C, valutando la possibilità di effettuare tali trattamenti sui reflui gassosi uscenti dai sistemi di upgrading da biogas a biometano, caratterizzati da flussi minori e concentrazioni maggiori di CO<sub>2</sub> e di H<sub>2</sub>S. Parallelamente si procederà con dei test di laboratorio per verificare l'efficacia di sistemi fotocatalitici applicati a reazioni di abbattimento di inquinanti che presentano valori di fotoproduttività notevolmente elevati. In particolare, si studierà e valuterà la maggiore selettività verso la formazione di zolfo invece che di SO<sub>2</sub>, anche in condizioni di eccesso di ossigeno, così come l'attivazione e la cinetica anche a temperature inferiori a 100 °C, condizioni presenti nelle correnti di off-gas derivanti dai processi di upgrading del biogas a biometano. Infine si effettuerà un'analisi tecnica ed economica comparativa tra il sistema di abbattimento con i carboni attivi e di ossidazione catalitico dell'H<sub>2</sub>S a S e/o SO<sub>2</sub> con e senza l'uso della fotocatalisi. Queste attività saranno condotte dal partner Università di Salerno presso i propri laboratori.

Oltre ai sistemi chimico fisici, in ENEA verranno approfonditi gli studi sull'abbattimento biologico dell'H<sub>2</sub>S mediante fotosintesi anossigenica con l'obiettivo di verificare la fattibilità tecnico/economica di un biofiltro da applicare a valle di un impianto di DA. Nella precedente annualità è stato dimostrato che i batteri fotosintetici non sono inibiti dalle quantità di H<sub>2</sub>S normalmente presenti nel biogas (circa 2000 ppm) che per il loro metabolismo è il principale donatore di elettroni. La sperimentazione continuerà per tempi più lunghi con un fotobioreattore da 3 litri, illuminato con luci a led a differenti lunghezze d'onda, con gas di sintesi nelle concentrazioni tipiche del biogas, e in caso di esito positivo si procederà con la sperimentazione utilizzando biogas reale, collegando il biofiltro all'impianto pilota DMM6000.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati delle prove sperimentali di abbattimento dell'H<sub>2</sub>S presente in miscele simulanti il biogas e nel biogas prodotto dal DMM6000 con carboni attivi
- Rapporto tecnico sui risultati delle prove sperimentali di abbattimento dell'H<sub>2</sub>S presente in miscele simulanti il biogas in dispositivi di ossidazione catalitica con e senza l'uso della fotocatalisi
- Rapporto tecnico sui risultati delle prove sperimentali di abbattimento dell'H<sub>2</sub>S presente in miscele simulanti il biogas e nel biogas reale mediante il processo di fotosintesi anossigenica

Principali collaborazioni: Università di Salerno

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

***b.2 Nuovi sistemi per la rimozione selettiva della CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> dal biogas basata sulla formazione/dissociazione di gas idrati hanno consentito di studiare i fattori termodinamici e cinetici che influenzano la loro formazione per miscele gassose CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> a varie concentrazioni, le condizioni di formazione in termini di temperature, pressioni e tempi, alla presenza di vari condizionanti chimici. E' necessaria la validazione delle informazioni acquisite procedendo con un numero maggiore di test, da effettuare anche con diverse apparecchiature, differenziate sia per volume di reazione che per tipologia di gestione, in modo da poter disporre di un numero elevato di dati cinetici, provare nuove tipologie di condizionanti che possano favorire la formazione/dissociazione e la selettività degli idrati, variando le condizioni operative soprattutto in fase di start-up del processo, e valutare l'effetto della presenza dell'H<sub>2</sub>S nelle concentrazioni tipiche del biogas. Sulla base dei risultati ottenuti si procederà con una proposta progettuale preliminare per una configurazione impiantistica pilota in continuo. Queste attività saranno condotte dall'Università di Chieti con la supervisione dell'ENEA.

Per quanto riguarda i sistemi di separazione con le ammine in solvente organico, dopo una serie di prove eseguite con un impianto di assorbimento/desorbimento da banco per valutare le miscele che meglio rispondevano ai requisiti richiesti, la soluzione prescelta si basa sull'uso dell'AMP (2-ammino-2-metil-1-propanolo) in miscela 1/1 (v/v) di glicol etilenico-alcol propilico (EG/PrOH). Per lo sviluppo ulteriore del processo sarà necessario effettuare:

- prove di equilibrio per determinare la solubilità di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> nelle soluzioni organiche amminiche a diverse pressioni parziali e concentrazioni di ammine;
- prove di equilibrio per verificare la reversibilità dell'assorbimento;

- prove cinetiche in batch per ottenere le informazioni necessarie per il dimensionamento delle colonne.

Inoltre, si esplorerà il processo in una unità pilota costituita da una colonna di assorbimento ed una colonna di rigenerazione, alimentata con biogas simulato ed, eventualmente, con biogas reale, anche per studiare come la presenza di H<sub>2</sub>S e H<sub>2</sub>O influenzi la reazione di assorbimento/desorbimento. Per la realizzazione del suddetto circuito sperimentale sarà necessario acquisire, pompe di ricircolo delle soluzioni assorbenti e soffianti per innalzare la pressione del biogas proveniente dal DMM6000 ai valori richiesti dal processo.

I dati acquisiti con la sperimentazione descritta consentiranno di effettuare il dimensionamento di un impianto pilota ed una prima valutazione tecnico-economica di un impianto in scala industriale.

L'attività di ricerca con biogas simulato in laboratorio sarà effettuata dalla Sapienza Università di Roma. In collaborazione con l'ENEA saranno valutate la fattibilità e la convenienza a proseguire la sperimentazione con biogas reale, equipaggiando l'impianto DMM6000 con un sistema di assorbimento/desorbimento della CO<sub>2</sub>.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle prove di laboratorio per individuare le sostanze condizionanti più efficaci, le condizioni operative ottimali ed i parametri cinetici dei processi innovativi di rimozione della CO<sub>2</sub> dal biogas mediante la formazione/dissociazione selettiva di gas idrati
- Rapporto tecnico contenente i risultati della sperimentazione dei processi di rimozione della CO<sub>2</sub> dal biogas mediante l'impiego di ammine in fase organica e la progettazione preliminare di un circuito sperimentale da inserire a valle del DMM6000
- Rapporto finale comprendente i risultati della sperimentazione e l'analisi dei dati relativi alla solubilità della CO<sub>2</sub> nelle soluzioni amminiche e la cinetica di assorbimento/desorbimento, la descrizione del processo proposto, l'individuazione delle condizioni operative e delle performance prevedibili, la valutazione tecnica, energetica ed economica

Principali collaborazioni: Università di Chieti, Sapienza Università di Roma

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

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

Sulla base dei risultati ottenuti nelle precedenti annualità, s'intende continuare la sperimentazione con sorbenti solidi per la cattura di CO<sub>2</sub> e/o con catalizzatori promotori della reazione di *water gas shift* (WGS), al fine di individuare le condizioni ottimali per ottenere un syngas da gassificazione della biomassa con composizione tale da poter procedere alla conversione a biometano nell'impianto BIOSNG. In particolare si intende testare i sorbenti di sintesi sviluppati nella precedente annualità, scegliendo tra questi ultimi quelli più promettenti. I test saranno condotti preliminarmente con miscele di gas di sintesi di composizione confrontabile con quella di un gas reale. I materiali più promettenti saranno caratterizzati prima e dopo ciascun test e, infine, utilizzati per eseguire prove con syngas reale prodotto a pressione atmosferica da un impianto pilota a letto fluidizzato ossigeno/vapore. L'Università de L'Aquila (UnivAQ) fornirà i sorbenti sperimentali e ne effettuerà le necessarie caratterizzazioni pre e post test (BET, BJH, SEM, EDX, XRD, TGA ecc). Tali caratterizzazioni verranno condotte anche sui sorbenti commerciali. Al fine di poter condurre la sperimentazione anche su correnti gassose in pressione, UnivAQ progetterà un impianto scala laboratorio per la sperimentazione della cattura di CO<sub>2</sub> da corrente di processo in pressione.

Inoltre verranno condotte prove utilizzando catalizzatori commerciali di metanazione e testato il catalizzatore di metanazione sviluppato nella scorsa annualità presso il Dipartimento di Chimica Industriale dell'Università di Bologna (UniBO). Tutte le prove verranno condotte utilizzando l'impianto BIOSNG del CR Trisaia.

Per aumentare la pressione del syngas ai livelli richiesti per le reazioni di WGS e metanazione sarà necessario acquisire ed installare un sistema di gas booster ed i relativi componenti per la misura ed il controllo dell'alimentazione dell'impianto BIOSNG.

I test saranno condotti su miscele di sintesi multicomponente, adeguatamente condizionate con molecole organiche rappresentative dei tar (toluene o naftalene) al fine di verificare la resistenza dell'attività dei catalizzatori in presenza di limitati quantitativi di queste molecole ( $< 1 \text{ g/Nm}^3$ ). I materiali recuperati a fine test verranno caratterizzati morfologicamente e chimicamente. Parallelamente presso i laboratori di UniBO si continuerà l'attività di sviluppo dei catalizzatori di metanazione, approfondendo l'effetto del rapporto Mg/Al, del carico di Ni e del rapporto H/C del gas di alimentazione ( $\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO} + \text{CO}_2$ ) sulla resa di metano e la formazione di depositi di carbonio, principale causa di disattivazione dei catalizzatori. Dei materiali sviluppati da UniBO, verranno forniti campioni ad FN SpA che effettuerà la caratterizzazione chimico-fisica dei supporti forniti da UniBO e condurrà test di *shaping* per verificare la possibilità di prepararli in pellet.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico inerente i risultati sperimentali ottenuti dall'upgrading del syngas attraverso reazione di WGS mediante l'utilizzo dell'impianto BIOSNG
- Fornitura dei sorbenti e rapporto tecnico sulla caratterizzazione pre e post test dei sorbenti sperimentali e commerciali
- Progettazione di un impianto in scala laboratorio per la sperimentazione della cattura di  $\text{CO}_2$  da corrente di processo in pressione
- Fornitura dei catalizzatori e rapporto tecnico sulla caratterizzazione pre e post test dei catalizzatori sperimentali e commerciali
- Rapporto tecnico sulla caratterizzazione pre e post, test dei catalizzatori e sui test di *shaping* per l'eventuale formatura a pellet
- Rapporto tecnico inerente le prove di metanazione del syngas, con valutazione delle condizioni ottimali di processo, mediante l'utilizzo dell'impianto BIOSNG

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Università dell'Aquila, FN SpA

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **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 2012 era centrata sull'individuazione di miscele di sali utilizzabili in una gamma di condizioni operative più ampia rispetto a quella delle miscele commerciali, sia per la temperatura di inizio solidificazione che per la stabilità a temperature superiori ai  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ , senza dover ricorrere a condizioni ambientali particolari. Le miscele individuate e caratterizzate che hanno soddisfatto tali specifiche sono quelle ternarie Na-K-Ca e Na-K-Li; quest'ultima presenta un basso punto di fusione e, come confermato da prove effettuate presso l'ENEA, una stabilità comparabile a quella del "solar salt", mentre uno svantaggio è rappresentato dal costo che potrebbe essere da 3,5 a 5 volte più alto rispetto a quest'ultimo. Sulla miscela Na-K-Li verranno eseguite prove di corrosione di lunga durata su vari acciai a temperature  $\geq 500 \text{ }^\circ\text{C}$ , al fine di individuare la lega più idonea e i relativi sovrassessori di corrosione da utilizzare nella progettazione. Saranno inoltre effettuate prove sperimentali per acquisire ulteriori informazioni sulle proprietà dei sali in condizioni di minima temperatura di lavoro e di temperature prossime al congelamento, allo scopo di definire le procedure di riempimento dell'impianto e di gestione in condizioni di emergenza. Per le miscele Na-K-Ca, per cui risulta più semplice ed economica la reperibilità e disponibilità, il campo di applicazione è limitato rispetto a quelle Na-K-Li, ma il loro uso può risultare vantaggioso per sistemi di piccola potenza. Le attività relative alla miscela Na-K-Ca riguarderanno la verifica sperimentale delle proprietà chimico-fisiche, di stabilità chimica e reologiche nel campo di funzionamento, in particolare nei punti estremi di massima temperatura e di incipiente congelamento. Verranno avviate prove di corrosione su provini di acciai a temperature non superiori a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  per la scelta delle leghe più idonee dal punto di vista operativo e della riduzione del costo d'investimento.

Per quanto riguarda la realizzazione di caldaie a sali fusi, l'obiettivo per questa annualità è di giungere ad una progettazione preliminare di due generatori di calore a biomassa a sali fusi della potenza termica resa

al sale rispettivamente di circa 5 ed 1 MW. Nella progettazione preliminare, per le due taglie di generatore dovrà essere individuata l'architettura d'impianto, a tubi di fumo o a tubi di sale, il volume e la disposizione della camera di combustione di tipo adiabatica o ad irraggiamento, le superfici di scambio e la loro configurazione, i tipi di acciai da utilizzare per le sezioni di scambio termico, la sezione trattamento fumi, serbatoio sali fusi, fusore, pompa, schema di principio della strumentazione di misura e controllo, le proposte tecnologiche per massimizzare l'efficienza energetica dei generatori. Il partner Università di Roma Tre effettuerà l'analisi termo-fluidodinamica e termo-meccanica delle due possibili architetture del generatore a tubi di fumo e a tubi di sale, che porterà alla scelta della configurazione più idonea in funzione della taglia di potenza e del rendimento complessivo atteso del sistema generatore di calore-ciclo di produzione dell'energia elettrica, con una valutazione preliminare dei costi del generatore di calore a sali fusi e degli ausiliari in funzione della taglia.

Infine, per quanto riguarda lo sviluppo del codice di calcolo per l'analisi dei nuovi sistemi energetici basati sui generatori a sali fusi, la versione attuale consente di effettuare i bilanci di massa e di energia di un generatore di calore alimentato a biomassa solida, costituito dalle sezioni di combustione, caldaia, recuperatori di calore per l'aria primaria e secondaria e ricircolo fumi. Al momento alcuni dati di input al modello sono ricavati dalla documentazione tecnica di operatori del settore o da dati disponibili in letteratura per impianti con caldaia a olio diatermico o vapore. Ci si propone di integrare i dati di input sulla base di valori aggiornati che saranno resi disponibili dalle indagini sperimentali e dagli studi svolti, effettuando ulteriori e più approfondite simulazioni. Saranno implementate versioni successive del codice integrate dai modelli degli altri componenti del sistema complessivo, tra cui gli ausiliari (ventilatori per l'aria e per i fumi, pompa di circolazione dei sali fusi) e le unità di trattamento fumi, in modo da calcolare i consumi elettrici per valutare le prestazioni complessive dell'intero impianto (rendimento termico, elettrico e globale). Una volta messo a punto ed integrato, il modello sarà utilizzato per condurre analisi più approfondite ed effettuare valutazioni comparative di differenti condizioni operative o di differenti sistemi di produzione del calore e di cogenerazione. A tal fine sarà necessario acquisire un software commerciale (Cycle Tempo con i pacchetti FluidProp e RefProp) in modo da effettuare simulazioni di confronto e validazione del codice sviluppato in ambiente Matlab, oltre ad investigare con maggiore dettaglio i fluidi di lavoro.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati dello studio e caratterizzazione sperimentale di miscele di sali fusi utilizzabili come fluidi termovettori
- Rapporto tecnico sui risultati dello studio dei generatori di calore a sali fusi e dei relativi circuiti termoidraulici
- Progetto preliminare di un sistema prototipo a tubi di fumo per impianti di piccola taglia e di uno a tubi di sale per taglie superiori al MWt
- Rapporto tecnico sull'implementazione del codice di calcolo per l'analisi dei nuovi sistemi energetici basati sui generatori a sali fusi e validazione/comparazione con il software commerciale.

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **c.2 Verifica del comportamento del $TiCl_4$ come possibile fluido di lavoro**

Nella seconda annualità si prevede di completare le indagini teoriche ed effettuare le necessarie prove sperimentali richieste per la progettazione e la costruzione di un prototipo dell'unità di cogenerazione basato su un ciclo Rankine con fluido di lavoro ad alta temperatura. Il fluido di lavoro individuato ( $TiCl_4$ ) non è mai stato utilizzato in applicazioni di potenza ed ha caratteristiche (altamente reattivo in presenza in vapor d'acqua) che richiedono un approfondimento di alcuni aspetti meccanici per risolvere le criticità connesse alla realizzazione di un prototipo di impianto. Si dovrà pertanto procedere ad una verifica sperimentale delle proprietà del fluido di lavoro  $TiCl_4$  a temperature fino a 500 °C: stabilità termica e chimica, corrosione e compatibilità con materiali metallici, tensione di vapore, etc. In base a tali risultati sarà effettuata la scelta dei materiali per i vari componenti (pipeline, scambiatori, turbina) e si procederà alla verifica ed al dimensionamento degli elementi di tenuta. Parallelamente saranno studiati gli aspetti di carattere normativo, autorizzativo e di sicurezza inerenti la costruzione, la messa in esercizio e la gestione



di un impianto a ciclo Rankine operante con  $TiCl_4$ . Questa attività sarà svolta interamente dal partner Politecnico di Milano.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati delle prove sperimentali per la verifica delle proprietà chimico-fisiche del fluido di lavoro  $TiCl_4$  e dello studio sugli aspetti di carattere normativo, autorizzativo e di sicurezza per il suo impiego.

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**c.3 Prototipi da laboratorio di sistemi di filtrazione ceramici per la rimozione del particolato fine (< 10  $\mu m$ ) e di composti organici presenti nelle emissioni gassose**

Nel corso della precedente annualità sono stati effettuati test per lo studio, la valutazione e il confronto di differenti dispositivi ad azione catalitica basati su monoliti porosi di SiC (attivati o meno con catalizzatori) di tipo *wall flow* e su filtri ceramici in allumina. La sperimentazione ha messo in evidenza una discreta efficacia dei filtri *wall flow*, che hanno mostrato una buona efficienza di abbattimento (superiore a 90% sia per il CO che per il particolato), avvalorando la possibilità di applicare questa tecnologia di filtrazione (finora testata solo in ambito motoristico) anche ai sistemi di combustione della biomassa a fini energetici (caldaie). Tuttavia, per la loro piena adozione in sistemi convenzionali di combustione della biomassa, risultano necessarie ulteriori prove sperimentali e l'individuazione della soluzione più idonea al fine di ridurre le perdite di carico ed ottimizzare l'azione dei catalizzatori. Per l'annualità 2013-14, quindi, si prevede di acquisire ulteriori dati sperimentali al fine di verificare:

- la temperatura minima di attivazione del catalizzatore finora utilizzato nei test ( $CuFe_2O_4$ );
- le perdite di carico dei sistemi di filtrazione in relazione alla velocità superficiale dei fumi;
- l'efficienza di abbattimento di particolato e CO nei fumi di combustione, in relazione al carico di catalizzatore impregnato sui filtri, installando in linea un misuratore della concentrazione delle polveri ed acquisendo un analizzatore FID per la determinazione del Carbonio Organico Totale (TOC).

Si valuterà, inoltre, la possibilità di ideare e testare dei dispositivi formati da un doppio corpo filtrante, in grado di operare a temperatura relativamente bassa ( $T = 200$  °C), e un altro di tipo *wall flow* abbinato ad un sistema a microonde per la rigenerazione ad alta temperatura ( $T = 400$  °C). Nella seconda parte dell'annualità, in base ai risultati ottenuti dall'attività sperimentale, si valuterà l'opportunità di procedere allo scale up dei dispositivi testati, con il dimensionamento di un sistema filtrante da inserire nella linea fumi dell'impianto sperimentale realizzato nel corso della precedente annualità presso il Centro ENEA di Saluggia.

Nell'ambito della collaborazione di cui sopra, l'Università di Salerno continuerà a svolgere attività di studio, sviluppo, realizzazione e verifica sperimentale di filtri catalitici strutturati, approfondendo quanto già affrontato nella precedente annualità; inoltre sarà effettuato lo screening di altre specie attive e di diversi supporti, ceramici strutturati come monoliti a pareti filtranti di tipo wall-flow con un diverso grado di porosità o schiume ceramiche.

Per la caratterizzazione dei supporti ceramici e dei filtri catalitici si continuerà la collaborazione con FN spa, soprattutto per le analisi di microscopia SEM-EDS, XRD, densità e porosimetria, termogravimetria TGA/DTA, ma anche per la determinazione di idrocarburi policiclici aromatici eventualmente presenti nei fumi prodotti dalla caldaia a biomassa durante le prove sperimentali, utilizzando la strumentazione ed il protocollo messa a punto nella precedente annualità.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle prestazioni e la durata di dispositivi catalitici innovativi per la rimozione del particolato fine e dei composti organici presenti nelle emissioni gassose prodotte dalla combustione di biomassa solida .
- Rapporto tecnico sulle caratterizzazioni e sulle prestazioni dei dispositivi catalitici innovativi per la rimozione del particolato fine e del CO presente nelle emissioni gassose (UniSA)
- Rapporto tecnico sulla caratterizzazione pre e post test dei catalizzatori (FN)



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 2012), 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.

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)	
<b>a</b>	<b>Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili</b>									
	a.1 Processi innovativi per la produzione di biogas a più elevato contenuto in metano e/o miscele di metano e idrogeno	1000	39	24	7	4	0	0	27	101
	a.2 Sistemi per la produzione di microalghe da inserire a valle del processo di DA	900	35	21	6	6	0	0	0	68
	a.3 Gassificazione con acqua in condizioni supercritiche di biomasse ad elevato contenuto idrico	1100	43	26	12	6	0	1	20	108
	Subtotale ob. a	<b>3000</b>	<b>117</b>	<b>71</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>277</b>
<b>b</b>	<b>Sviluppo di sistemi di upgrading di biocombustibili e riduzione dell'impatto ambientale</b>									
	b.1 Processi chimico-fisici o biologici innovativi per l'abbattimento dell'acido solfidrico presente nel biogas	2180	85	51	8	16	0	1	20	181
	b.2 Nuovi sistemi per la rimozione selettiva della CO <sub>2</sub> dal biogas basati sull'impiego di ammine in fase organica e sulla formazione-dissociazione selettiva di gas idrati	1610	63	39	19	13	0	1	65	200
	b.3 Ottimizzazione del processo di produzione di biometano a partire da syngas sull'impianto pilota di metanazione BIOSNG	1490	58	35	12	8	0	1	60	174
	Subtotale ob.b	<b>5280</b>	<b>206</b>	<b>125</b>	<b>39</b>	<b>37</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>145</b>	<b>555</b>
<b>c</b>	<b>Sviluppo di sistemi di produzione dell'energia elettrica e cogenerativi e riduzione dell'impatto ambientale</b>									
	c.1 Caratterizzazione termo-fluidodinamica di miscele di sali fusi in caldaie innovative e sviluppo di un modello per la valutazione energetica ed economica dei sistemi cogenerativi	2350	92	55	0	11	0	1	20	179
	c.2 Verifica del comportamento del TiCl <sub>4</sub> come fluido di lavoro	500	20	12	0	0	0	1	55	88
	c.3 Prototipi da laboratorio di sistemi di filtrazione ceramici per la rimozione del particolato fine (< 10 micron) e di composti organici presenti nelle emissioni gassose	1350	53	32	25	7	0	1	63	181
	Subtotale ob.c	<b>4200</b>	<b>165</b>	<b>99</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>138</b>	<b>448</b>
<b>d</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>									
	d.1 Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali	470	18	11	0	17	0	4	0	50
	d.2 Comunicazioni e diffusione risultati	1000	39	24	0	5	0	2	0	70
	Subtotale ob.d	<b>1470</b>	<b>57</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>120</b>
	<b>TOTALE</b>	<b>13950</b>	<b>545</b>	<b>330</b>	<b>89</b>	<b>93</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>330</b>	<b>1400</b>

\* 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 (280 k€) e con la partecipata FN (50 k€)

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**

L'attività che si propone sarà focalizzata sullo sviluppo di tecnologie FV a film sottile di materiali semiconduttori, prestando attenzione all'utilizzo di materiali a basso costo, ampiamente disponibili e non tossici. In particolare le attività saranno indirizzate allo sviluppo di celle solari a film sottili inorganici a base di silicio e di film policristallini di  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  e allo sviluppo di celle FV organiche.

##### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

Nella fabbricazione di moduli a film sottile vengono impiegati substrati a basso costo (vetro, metallo, plastica) insieme a piccolissimi spessori (qualche  $\mu\text{m}$ ) di materiale semiconduttore e processi a temperatura relativamente bassa. I moduli sono ottenuti direttamente al termine di un processo in linea e possono essere fabbricati su aree che nel caso dei film sottili di silicio possono superare i  $5 \text{ m}^2$ , sono facilmente integrabili in edilizia con risultati ottimi dal punto di vista estetico; inoltre mostrano buone prestazioni ad alte temperature ambientali e una ridotta sensibilità al surriscaldamento che li rende particolarmente interessanti per regioni ad alta insolazione. La combinazione di potenziale riduzione di costi e possibilità di penetrazione in un mercato altamente remunerativo, come quello dell'integrazione architettonica, rendono le tecnologie a film sottile particolarmente interessanti per le prospettive di mercato.

La tecnologia dei film sottili presenta delle efficienze di conversione non ancora paragonabili a quella dei moduli classici in c-Si, con conseguente iniziative di ricerca e sviluppo nei maggiori paesi industrializzati per migliorare le prestazioni dei moduli a film sottile, con grandi progressi in termini scientifici e positive ripercussioni nel settore produttivo, ma la piena maturazione della tecnologia richiede sforzi ulteriori.

##### **Stato attuale delle tecnologie**

Lo sviluppo di celle solari a film sottile di silicio prevede l'ottimizzazione di dispositivi a singola o a multi giunzione, che utilizzano come materiali assorbitori film di silicio o leghe di silicio a struttura amorfa o microcristallina. Le ricerche puntano allo sviluppo di nuovi materiali e concetti per il miglioramento delle prestazioni dei dispositivi. Per quanto riguarda i materiali, sono studiati sia strati drogati a base di ossido di silicio che strati assorbitori innovativi nell'ottica di adattare al meglio le loro proprietà ottiche ed elettriche alle diverse architetture che si possono realizzare. Per gli strati assorbitori in particolare l'uso di leghe di silicio è sotto analisi con lo scopo di ottimizzare le energie di gap dei materiali assorbitori nelle varie celle componenti di strutture a multigiunzione. 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; recentemente sono stati proposti vari metodi di testurizzazione del substrato di vetro con l'obiettivo di ottimizzare l'intrappolamento della radiazione solare con metodi di interesse per la produzione industriale.

Per quanto riguarda le celle a eterogiunzioni a Si/c-Si in cui l'emitter è realizzato con un film sottile a base di silicio depositato a basse temperature, esse presentano delle efficienze record confrontabili con quelle ottenute sulla cella classica in silicio cristallino in cui l'emitter è realizzato con processi di diffusione termica a temperature superiori a  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

L'attività sui film sottili policristallini di  $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$  ha l'obiettivo di superare il problema della scarsa disponibilità di indio contenuto nei moduli in CIGS. Il CZTS ( $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ ) ha la stessa struttura cristallografica del CIS ( $\text{CuInSe}_2$ ) con la differenza che l'indio è sostituito dalla coppia zinco-stagno ed il selenio è sostituito dallo zolfo. Con il CZTS si ha inoltre la possibilità di realizzare celle tandem che possano superare la barriera del 33% di efficienza imposta dalla termodinamica ai dispositivi basati su una singola giunzione. Per esempio l'efficienza limite imposta dalla termodinamica ad una cella tandem CZTS/c-Si è del 42,5%.

Negli ultimi anni la ricerca sulle celle fotovoltaiche organiche ha determinato notevoli miglioramenti delle prestazioni dei dispositivi, grazie alla sintesi di materiali sempre più efficienti e con uno spettro di assorbimento più idoneo per intrappolare la radiazione solare. Attualmente, ci sono diversi gruppi di ricerca (Polyera, Solarmer, Toray Industries Inc, Heliatek, Mitsubishi Chemical) che hanno annunciato valori di efficienza intorno al 10%. Se si pensa che dieci anni fa ci si attestava su valori di poco superiori all'1%, ci si rende conto dell'enorme sviluppo che tale tecnologia sta avendo. Gli enormi miglioramenti ottenuti in termini di prestazione sono dovuti principalmente alla sintesi di nuovi materiali polimerici che consentono un assorbimento ottimale della radiazione solare ed un trasporto di carica più efficiente e all'implementazione della struttura del dispositivo grazie all'introduzione di interlayer che consentono una migliore estrazione delle cariche fotogenerate.

### **Obiettivo finale dell'attività**

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

- il miglioramento delle prestazioni di celle solari a film sottile di silicio e utilizzanti wafer sottili di silicio per un'applicazione industriale nel breve-medio termine;
- lo sviluppo di materiali che consentano di superare i problemi legati alla scarsa disponibilità di indio, limite principale della tecnologia FV a film sottile di CIGS;
- lo sviluppo di nuovi materiali per celle solari innovative a base di polimeri.

### **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 materiali avanzati per il fotovoltaico, quali kesteriti, film sottili di ossido di silicio e polimeri. 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**

Lo sviluppo di tecnologie fotovoltaiche a film sottile 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. L'attività oggetto della presente linea di ricerca, puntando allo sviluppo di tecnologie FV a film sottile basate su materiali a basso costo, ampiamente disponibili e non tossici, può mettere a disposizione tecnologie fotovoltaiche che possono contribuire a rendere il sistema produttivo nazionale innovativo e competitivo in questo settore, con evidenti benefici per l'utente elettrico.

## **PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ**

### **Descrizione obiettivi**

#### **a. Materiali e architetture di dispositivo per celle a multigiunzione basate su film sottili di silicio**

L'attività ha l'obiettivo di sviluppare nuovi materiali assorbitori utili alla fabbricazione di dispositivi a tripla giunzione (subtask a.1) e strategie per l'intrappolamento della radiazione solare (subtask a.2 e a.3). Entrambi gli approcci hanno lo scopo di migliorare le attuali efficienze della tecnologia a film sottile di

silicio.

### ***a.1 Sviluppo di materiali assorbitori ad alta energia di gap per celle a tripla giunzione***

Lo sviluppo di celle tandem micromorfe ha dato un notevole impulso alla tecnologia fotovoltaica basata sui film sottili di silicio in quanto con tale struttura sono stati ottenuti notevoli incrementi di efficienza del modulo senza grandi complicazioni in termini tecnologici. L'attività svolta nelle precedenti annualità è stata focalizzata proprio su questo tipo di dispositivo per il quale è stata ottenuta un'efficienza massima pari a 11.6%. Tuttavia per ottenere target di efficienza migliori rispetto a quelli attuali, molti gruppi di ricerca internazionali hanno intrapreso lo sviluppo di celle a tripla giunzione. Questo tipo di struttura richiede un'attenta progettazione dei materiali assorbitori in modo da regolare opportunamente le energie di gap ( $E_g$ ). In questo senso i film sottili di silicio e leghe di silicio offrono grandi potenzialità in quanto la  $E_g$  può variare da 1.1 eV nel caso del silicio microcristallino a valori maggiori di 2 eV come nel caso dell'ossido di silicio. L'utilizzo di quest'ultimo materiale può essere particolarmente vantaggioso per lo sviluppo della cella anteriore, dando la possibilità di ottenere correnti confrontabili con quelle della classica cella in silicio amorfo e di migliorare la tensione di circuito aperto del dispositivo per effetto del maggior valore di  $E_g$ . Si propone pertanto di sperimentare le potenzialità dell'ossido di silicio intrinseco come materiale assorbitore da utilizzare nella componente anteriore di celle a giunzione multipla. Saranno depositati film di ossido di silicio amorfo mediante tecnica PECVD, variando opportunamente la miscela dei gas in modo da controllare il contenuto di ossigeno nei film. Questo consentirà di variare con continuità le proprietà ottiche del materiale, fino ad ottenere film di ossido di silicio caratterizzati da valori di  $E_{04}$  (energia per la quale il coefficiente di assorbimento diventa maggiore di  $10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) superiori a 2 eV. Saranno, inoltre, sperimentati differenti regimi di deposizione, variando i parametri di deposizione, quali in particolare pressione in camera e densità di potenza del campo elettrico applicato. Ci si aspetta, infatti, che i film di ossido di silicio possano essere caratterizzati da una certa difettosità legata all'incorporazione dell'ossigeno, che potrebbe compromettere il loro utilizzo nei dispositivi. Un ampio studio dei regimi di crescita è quindi necessario per valutare in maniera approfondita il materiale, definendo eventuali regimi particolarmente vantaggiosi per gli scopi prefissati. I film saranno caratterizzati, valutando le loro proprietà ottiche ed elettriche e saranno testati in singole giunzioni p-i-n. Per quanto riguarda gli strati drogati utilizzati nella fabbricazione dei dispositivi saranno testati sia film di silicio di tipo standard che film di ossido di silicio sviluppati nelle scorse annualità al fine di ottimizzare le prestazioni delle celle.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo sviluppo di strati assorbitori ad alta  $E_g$  a base di ossido di silicio e realizzazione di singole giunzioni p-i-n con  $V_{OC} > 1 \text{ eV}$

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***a.2 Sviluppo di riflettori posteriori per celle solari a film sottile di silicio***

L'attività di ricerca riguarderà la progettazione, sia numerica che sperimentale, e la realizzazione di riflettori posteriori per celle solari a film sottile di silicio con lo scopo di definire nuove architetture di dispositivo che massimizzino l'intrappolamento della radiazione solare. Tale attività sarà svolta in collaborazione con l'Università del Sannio. Quest'ultima si occuperà principalmente occupata della progettazione numerica, mentre presso i laboratori dell'ENEA verranno condotte le prove sperimentali. Partendo dal lavoro di simulazione svolto nella precedente annualità su strutture monodimensionale costituite da cristalli fotonici in configurazione sia periodica che quasi periodica, saranno realizzati dei dispositivi che consentano di testare il lavoro teorico. Utilizzando il sistema di nanolitografia avanzato quale il Focused Ion Beam (FIB) per eseguire i test di nanostrutturazione, saranno realizzati prototipi di celle solari su piccole aree in modo da dimostrare la fattibilità e l'efficacia dell'approccio scelto in termini di prestazioni di dispositivo. Saranno inoltre valutate strutture bidimensionale con lo scopo di minimizzare i tempi di scrittura del FIB. Sarà inoltre eseguito un "refining" dei modelli (sia monodimensionali che bidimensionali), partendo dalle prove sperimentali. Le deposizioni dei materiali successive al processo di nanostrutturazione potranno infatti essere più o meno conformi rispetto al substrato di partenza e questo può determinare la necessità di rivedere la modellazione numerica in modo da tenere conto delle geometrie 'realistiche' effettivamente ottenute nella fase di fabbricazione.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle potenzialità di miglioramento delle prestazioni di dispositivo attraverso l'utilizzo di back reflector opportunamente progettati

Principali collaborazioni: Università del Sannio

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **a.3 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 ottenere alte efficienze di conversione mantenendo bassi spessori di materiale attivo con conseguente riduzione dei costi di produzione. Un metodo alternativo al consolidato utilizzo di TCO naturalmente testurizzati è l'utilizzo di un processo che opera direttamente sul substrato di vetro con la creazione di una superficie di adeguata rugosità. L'obiettivo è quello di produrre substrati di vetro testurizzati in grado di determinare un efficiente effetto di light-trapping nelle celle fotovoltaiche.

Seguendo le indicazioni derivanti dai risultati conseguiti nella precedente annualità, ulteriori e differenti aspetti vanno ancora studiati e migliorati. In particolare si lavorerà sul perseguimento dei seguenti obiettivi:

i) ridurre le disuniformità di testurizzazione riscontrate, imputabili a fenomeni di stress termici dovuti ai differenti coefficienti di espansione tra metallo e vetro, anche attraverso l'investigazione di materiali sostitutivi dell'alluminio con coefficienti di dilatazione termica tali da indurre stress "controllati"; ii) sviluppare nuovi e differenti trattamenti chimico-fisici post-annealing, sia utilizzando soluzioni alcaline in grado di modificare le cavità superficiali del vetro sia utilizzando trattamenti di modifica delle superfici condotti con tecniche Reactive Ion Etching (RIE) in associazione o meno alla tecnica AIT; iii) Il metodo AIT, sperimentato su vetro Corning del tipo Eagle XG, verrà utilizzato su vetri commerciali, quali il soda-lime o i borosilicati, comunemente impiegati nella produzione di moduli fotovoltaici e ne verrà testata l'applicabilità e le caratteristiche di rugosità superficiali ottenibili per un suo possibile sviluppo nell'industria fotovoltaica; iv) saranno ottimizzate le caratteristiche dei particolari superficiali (dimensioni, profondità, forma, angolo di scattering preferenziale delle cavità) studiando la relazione tra le geometrie di testurizzazione e le proprietà di scattering anche attraverso simulazione ottica; v) si cercherà di migliorare complessivamente le prestazioni degli ossidi trasparenti e conduttivi, la cui deposizione su vetri trattati con AIT verrà sperimentata sia mediante sputtering che mediante CVD. L'efficacia dei trattamenti di testurizzazione del substrato ai fini del miglioramento del confinamento ottico nel dispositivo verrà valutata su celle a film sottile di silicio. L'obiettivo è l'ottenimento di substrati con elevate proprietà di scattering in tutto l'intervallo spettrale di interesse per applicazioni in dispositivi a base sia di silicio amorfo sia di silicio micro e poli-cristallino.

Alternativamente, per ottenere un'ulteriore riduzione di costo del substrato, verrà esplorata in collaborazione con l'Università di Napoli la possibilità di condurre trattamenti sul substrato di vetro con tecniche chimiche condotte sia in fase vapore che da soluzione miranti ad una rimozione controllata di materiale. L'Università si occuperà dello sviluppo del processo di trattamento dei vetri, mentre le proprietà di scattering saranno valutate nei laboratori dell'ENEA mediante caratterizzazione ottica e morfologica delle superfici testurizzate.

#### Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di processi di testurizzazione di substrati di vetro con differenti tecniche di trattamento. Caratterizzazione ottica e morfologica delle superfici e analisi dell'effetto di differenti geometrie di testurizzazione sulle proprietà di scattering

Principali collaborazioni: Università "Federico II" di Napoli

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **b. Celle a eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer sottili di silicio**

L'attività svolta nella scorsa annualità ha analizzato i vari step del processo di fabbricazione di celle a eterogiunzione a-Si/c-Si, ottimizzando le proprietà dei materiali utilizzati nel dispositivo. Le efficienze di conversione misurate sulle celle si sono attestate intorno al 16%, ma simulando il dispositivo a partire dalle

caratteristiche definite per i singoli strati, è stata valutata la possibilità di ottenere dispositivi con efficienza massima pari al 22%. Per colmare nel medio termine il gap esistente tra i valori di efficienze ottenuti e quelli ottenibili bisogna focalizzare l'attenzione su alcuni passaggi tecnologici specifici della realizzazione del dispositivo: può accadere infatti che alcune scelte definite analizzando il singolo strato debbano essere riviste quando tale strato viene inserito nel dispositivo, soprattutto in vista dell'ottimizzazione delle interfacce del dispositivo. Uno degli aspetti su cui è necessario puntare l'attenzione è l'elettrodo frontale al cui sviluppo si era già lavorato lo scorso anno, analizzando varie soluzioni possibili. Si è deciso di non sviluppare ulteriormente il triplo strato di ZnO:Al/Ag/ZnO:Al in quanto è risultato difficile controllarne l'uniformità dello spessore di Ag su larga area e ciò può determinare indesiderati assorbimenti nella regione di spettro del vicino infrarosso. Si è deciso invece di sviluppare coppie di strati ZnO:Al/ITO al fine di assicurare una workfunction dello ZnO consona all'emitter della cella, realizzato con uno strato di SiOx drogato n, ed ottenere un incremento di conducibilità complessiva dovuto alla presenza di ITO. Inoltre lo strato di ITO farà da contatto con la griglia di Ag e si è notato già in precedenza come questo strato risenta meno del passaggio della serigrafia, che necessita di un trattamento termico a 200°C, rispetto allo strato di ZnO:Al che tende invece a degradare la sua conducibilità quando viene sottoposto al trattamento termico. Al fine di aumentarne la conducibilità dello strato di ZnO:Al esso verrà realizzato in presenza di H<sub>2</sub> ed inoltre verranno sperimentati trattamenti di crescita controllata in temperatura ed assistita dalla presenza di H<sub>2</sub>. In tal senso risultati preliminari già dimostrano la possibilità di raddoppiare la conducibilità dello strato sottile di AZO. L'ottimizzazione dell'elettrodo frontale potrà garantire l'ottenimento di valori di resistenza di strato di 60-80 Ω/square necessari per dimensionare una griglia serigrafica di raccolta frontale con un fattore di ombreggiamento inferiore all'8%. Infine, potrà essere testato anche lo ZnO prodotto per LP-CVD, sviluppato come elettrodo frontale nella tecnologia delle celle "micromorfe", con l'obiettivo di valutare sia l'effetto della microrugosità superficiale dello ZnO per CVD sul confinamento ottico della luce nel dispositivo sia l'effetto prodotto sul dispositivo finale da un processo soft di deposizione sugli strati sottostanti, comparato alle più energetiche tecniche di sputtering. L'attività di ottimizzazione dell'elettrodo frontale sarà svolta in collaborazione con L'Università "Sapienza" che si occuperà della deposizione dello strato di ITO e della caratterizzazione dell'elettrodo frontale in termini di stabilità rispetto ai trattamenti successivi.

Saranno acquisiti wafer di silicio sottile (<120 μm) in grado di garantire un lifetime di almeno 500 μs, caratteristica fondamentale per il raggiungimento di efficienze di conversione elevate. Inoltre sarà sperimentato l'utilizzo anche di wafer di silicio aventi drogaggio di 10 Ωcm invece che 1 Ωcm in modo da ridurre il problema di degrado delle prestazioni delle celle solari durante l'esposizione al sole, legato alla presenza di composti B-O nel wafer di silicio. Minore è, infatti, il drogaggio minore risulta la quantità di composti B-O. Sebbene un minore drogaggio comporti un aumento della resistenza serie del dispositivo dovuta alla resistenza di bulk, lo spessore ridotto dei wafer in esame garantirà comunque un valore di resistenza serie accettabile per il raggiungimento delle efficienze prefissate. Inoltre un minore drogaggio garantirà un maggiore lifetime del wafer stesso. Successivamente sarà ulteriormente sviluppato lo strato di passivazione delle superfici di silicio mediante film sottili di tipo a-Si:H e/o SiOx. In entrambi i casi sono già in corso delle sperimentazioni effettuate depositando i suddetti materiali in diluizione opportuna di H<sub>2</sub>. Preliminari risultati confermano un incremento della qualità della passivazione delle superfici di silicio e soprattutto una stabilità nel tempo.

Un ulteriore sviluppo del processo di testurizzazione dei wafer sarà necessario per realizzare superfici a differente rugosità frontale e posteriore tali da garantire da un lato un migliore confinamento ottico della radiazione all'interno del silicio sottile e dall'altro ottenere superfici testurizzate a profilo morbido in modo da ridurre la formazione di microshunt fra silicio di base e ZnO frontale, causa della riduzione di efficienza delle celle.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla ottimizzazione dello strato di ZnO e degli strati di passivazione delle superfici di silicio e sulla realizzazione di celle solari con efficienza > 18%.

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

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014



### **c. Celle a film sottili policristallini a base di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ .**

La tecnologia FV basata sul CIGS (Copper Indium-Gallium Selenide) è quella che detiene il record di efficienza per quanto riguarda i film sottili. Come già detto l'efficienza massima ottenuta per tale tecnologia è superiore al 20%. Tale tecnologia presenta però il problema della disponibilità dell'indio. Da ciò l'idea di sostituire l'indio con la coppia zinco-stagno, sviluppando dispositivi che si avvicinino ai valori di efficienza attuali per la tecnologia. L'attività è suddivisa in due task: nel primo task continuerà il lavoro di ottimizzazione della singola giunzione a base di  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ , già avviato nelle scorse annualità, mentre nel secondo task verrà avviata l'attività sullo sviluppo di dispositivi tandem CZTS/silicio che offrono grandi potenzialità in termini di efficienza di conversione.

#### ***c.1 Sviluppo dei dispositivi a singola giunzione a base di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$***

Il primo obiettivo delle attività proposte è quello di ottimizzare ulteriormente i dispositivi. Si continuerà a lavorare sui processi di crescita del CZTS per ottenere film più omogenei e con contenuto di difetti e conducibilità ben controllate. L'aggiustamento della stechiometria del materiale, l'ottimizzazione delle sue proprietà e l'utilizzo di film di ZnO più conduttivo garantiranno certamente un sensibile aumento dell'efficienza. Anche per tale linea si prevede di sperimentare lo ZnO prodotto per LP-CVD con l'obiettivo di valutare l'effetto prodotto sul dispositivo finale da un processo soft di deposizione sugli strati sottostanti, comparato alla più energetica tecnica di sputtering.

Un altro aspetto su cui si cercherà di intervenire è la riduzione dello spessore del buffer layer di CdS (responsabile di una riduzione della risposta spettrale nel blu) o la sua sostituzione con un buffer layer di Zn(O,S).

Parallelamente si porterà avanti la valutazione sperimentale delle possibilità connesse all'uso di tecniche di deposizione non utilizzando il vuoto come ad esempio lo spray o lo spin coating di opportune soluzioni o sospensioni (inchiostri). Queste tecniche di deposizione devono essere ancora migliorate specie dal punto di vista della morfologia del film finale e devono essere messe alla prova nei dispositivi completi. Una volta raggiunto un livello sufficiente, si prevede di provare ad utilizzare le soluzioni (o sospensioni) ottimizzate con una macchina da deposizione prototipale sviluppata da due ditte italiane (Rise Technology S.r.L. e 2BG S.r.L.) attualmente nelle fasi finali di costruzione.

L'attività di ricerca è svolta in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento e con il Dipartimento di Fisica dell'Università "Sapienza" di Roma. L'Università di Trento si occupa della deposizione da fase liquida del CZTS e della caratterizzazione strutturale mediante diffrazione a raggi X, l'Università "Sapienza" si occupa principalmente della caratterizzazione ottica dei materiali, mentre in ENEA viene svolta la fabbricazione e parte della caratterizzazione dei singoli strati e la fabbricazione e la caratterizzazione dei dispositivi.

#### ***Risultati/Deliverable:***

- Rapporto tecnico sullo sviluppo di processi di deposizione del CZTS e realizzazione di celle solari a film sottili policristallini di  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  con efficienza > 7%

***Principali collaborazioni:*** Università di Trento (Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e Tecnologie Industriali), Università "Sapienza" di Roma (Dipartimento di Fisica)

***Durata:*** ottobre 2013 – settembre 2014

#### ***c.2 Studio di materiali per dispositivi tandem CZTS/c-Si***

Parallelamente all'attività di ottimizzazione dei dispositivi si inizierà ad affrontare la sfida relativa allo sviluppo di celle fotovoltaiche tandem CZTS/silicio che potrebbero raggiungere efficienze ben superiori alle celle in silicio attuali avendo una efficienza limite imposta dalla termodinamica pari al 42.5 %. In particolare si cercherà di valutare quali materiali possano essere utilizzati per la costruzione della giunzione tunnel necessaria a connettere le due celle. Questi materiali devono rispondere a requisiti particolari per molte caratteristiche (trasparenza ottica, conducibilità, work function, resistenza ad alte temperature di processo e all'azione dello zolfo etc.) e rappresentano quindi il punto chiave per la realizzazione di questi nuovi dispositivi.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo studio di materiali per la realizzazione di giunzioni tunnel in dispositivi tandem CZTS/c-Si

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

**d. Sviluppo di celle organiche**

I limiti delle celle fotovoltaiche organiche attuali sono principalmente due, uno di natura ottica ed uno di natura elettrica. Lo scopo di questa attività di ricerca è quello di dare un contributo a questi fattori proponendo soluzioni in grado di apportare miglioramenti all'efficienza dei dispositivi.

Lo spettro di assorbimento dei migliori materiali utilizzati copre solo una parte limitata dello spettro solare: da ciò si deduce che qualsiasi modifica che si apporta allo scopo di allargare o di incrementare la quantità di luce assorbita dal dispositivo, si può tradurre in un incremento di prestazioni dello stesso. La ricerca attuale cerca di ovviare a questo problema o utilizzando architetture tandem, in cui si utilizzano strati con range di assorbimento complementare o cercando materiali alternativi che abbiano una struttura chimica più idonea ad assorbire fotoni di varie lunghezze d'onda. Quest'ultima strada è stata intrapresa anche da noi nelle annualità precedenti grazie alla collaborazione con l'Università di Modena e Reggio Emilia. Sebbene i nuovi polimeri sintetizzati hanno mostrato assorbimenti fino ad oltre i 900 nm, la loro applicazione nei dispositivi non ha dato risultati apprezzabili in quanto la morfologia dei film ottenuti richiede un notevole sforzo di ottimizzazione. Nel corso di quest'annualità si cercherà di ampliare l'intervallo di assorbimento delle celle solari grazie all'utilizzo di strati contenenti materiali luminescenti in grado di convertire lunghezze d'onda a più alta energia, non efficientemente assorbite dal materiale attivo, in fotoni di energia opportuna che rientra nel range di assorbimento delle celle organiche. Questo tipo di approccio, applicato anche a dispositivi diversi da quelli organici, in genere prevede la messa a punto di strati "esterni" al cuore del dispositivo, che quindi non interferiscono con la morfologia del materiale attivo. Una delle problematiche da risolvere è la dispersione delle particelle luminescenti nel materiale (polimero) di supporto. Si prevede di utilizzare copolimeri a blocchi ad elevato grado di ordine (messi a punto nel corso dell'annualità precedente) in modo da controllare la dispersione delle molecole guest.

Parallelamente, si cercherà anche di migliorare il trasporto elettrico delle cariche nei dispositivi organici. Attualmente, le celle fotovoltaiche più performanti si basano su uno strato fotoattivo costituito da una "bulk-heterojunction" del materiale "n" (tipicamente un derivato del fullerene) e del materiale "p" (tipicamente un polimero semiconduttore). E' stato mostrato che la creazione di ordine in questa struttura può contribuire sensibilmente al miglioramento del trasporto di carica e quindi dell'efficienza di conversione di questi dispositivi. Pertanto, continuando il filone di attività intrapreso nell'annualità precedente, si utilizzeranno strutture ordinate basate su copolimeri a blocchi per "orientare" le molecole fotoattive in modo da creare domini ordinati. Si prevede di applicare questo approccio sia a molecole organiche che a nanoparticelle inorganiche.

L'attività sarà svolta in collaborazione con il Dipartimento di Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli. In particolare lo sviluppo degli strati ad elevato grado di ordine sarà condotto dall'Università, mentre la loro applicazione all'interno delle celle fotovoltaiche sarà curata dall'ENEA.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle procedure di sintesi per la realizzazione di strati ad elevato grado di ordine da integrare in celle fotovoltaiche organiche
- Rapporto tecnico sulla realizzazione di celle fotovoltaiche polimeriche che utilizzano strati aventi morfologie con un elevato grado di ordine con efficienze di conversione di almeno l'8%

Principali collaborazioni: Università "Federico II" di Napoli (Dipartimento di Chimica)

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**e. 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. Inoltre sarà organizzato un workshop che avrà come

obiettivo il confronto tra la ricerca svolta nel presente programma e le aspettative delle realtà produttive nazionali del settore.

Inoltre 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:

- Rapporto sulle attività di comunicazione e diffusione

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **LINEA PROGETTUALE 2: SOLARE TERMODINAMICO**

### **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

#### **Descrizione del prodotto dell'attività**

La ricerca sul solare termodinamico ha come obiettivo 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. L'attenzione è posta ai sistemi di piccola e media taglia per la produzione combinata di energia elettrica e termica, eventualmente ibridizzati con un'altra fonte energetica, meglio se rinnovabile. 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 solare a 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 attuale del prodotto dell'attività**

Per quanto riguarda il rivestimento del tubo ricevitore, la tecnologia attualmente utilizzata per consentire al tubo di assorbire la maggiore quantità possibile di radiazione solare 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 (sali fusi) adatti all'alta temperatura e possibilità di accumulo del calore. Questa sfida tecnologica ha fatto da traino all'attività di sviluppo di nuovi coating solari altamente efficienti e stabili a temperature decisamente spinte. ENEA ha sviluppato soluzioni in grado di garantire buone prestazioni nelle condizioni di funzionamento ad alta temperatura, fino a 550 °C.

Nella maggior parte degli attuali impianti solari termodinamici viene utilizzato olio diatermico come fluido termovettore. I sali fusi consentono di incrementare la temperatura massima operativa dell'impianto fino a 550 °C rispetto ai 390 °C dell'olio, ma hanno 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, per sopperire alla naturale variabilità della fonte primaria, 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, che hanno una capacità termica piuttosto limitata. Le elevate dimensioni dei contenitori necessari ad ospitare i mezzi di accumulo e le elevate superfici di scambio degli stessi incrementano inevitabilmente sia il costo che le perdite del sistema.

### **Stato attuale delle tecnologie**

Per quanto riguarda il tubo ricevitore, è noto che, al fine di ottenere una sempre maggiore efficienza degli impianti solari termodinamici, il materiale di rivestimento deve presentare un comportamento quanto più prossimo a quello ideale. Per ottenere un simile comportamento, 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.

Questa tipologia di materiale di rivestimento a struttura multistrato si è dimostrata efficace in termini di prestazioni, cioè alta assorbanza solare accoppiata a bassa emissività. La tecnologia utilizzata è un particolare metodo di deposizione in vuoto dei materiali che va sotto il nome di sputtering. Le tecniche di sputtering 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 consente buone prestazioni del tubo ricevitore, con un impatto significativo sull'efficienza complessiva del campo solare, e può essere perseguito con l'impiego di coating solari a base di strati ceramici e metallici ad alta compattezza e densità, strati ottenibili mediante modifiche significative della tecnica di deposizione del tipo sputtering.

Per quanto riguarda i sistemi di accumulo dell'energia termica, le tecnologie più interessanti sono connesse all'uso di materiali solidi a basso costo, come ad esempio cementi speciali, materiali inerti, oppure sfruttando il calore latente con materiali a cambiamento di fase. La possibilità dell'uso di materiali a cambiamento di fase, miscelati con un'opportuna quantità di nano particelle sembrerebbe, sulla base di alcuni recenti studi, poter incrementare sia la capacità termica del mezzo che la sua diffusività.

### **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 del tipo "graded" (contenuto metallico a decrescere con lo spessore) con la più innovativa tecnologia di filtri ottici del tipo interferenziali a partire da stratificazioni di film sottili ceramici e metallici.
- Lo studio di nuove 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 previste 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. Lo sviluppo di questa tecnologia comporta 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.

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 Fabbricazione e caratterizzazione di strati sottili metallici e dielettrici per la 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 ottica del singolo strato sottile, in particolare di quello metallico. La tecnica IBAD utilizzata per il compattamento di film in crescita in impianti da vuoto è tanto più efficace quanto più è elevato il livello energetico degli ioni impattanti la superficie di crescita. Nella precedente annualità, prove preliminari condotte su tungsteno depositato con sputtering DC magnetron e trattato con IBAD in configurazione confocale hanno dimostrato che la capacità di compattamento era piuttosto scarsa, sia per un'eccessiva distanza tra elettrodo e substrato (20 cm) sia per un valore di pressione troppo elevato (1  $\mu$ bar) in camera di processo. Si prevede quindi nella nuova attività di incrementare il livello energetico degli ioni per migliorare l'efficacia del bombardamento ed ottenere struttura più ordinata e compatta riducendo sia la distanza tra elettrodo e substrato (< 10 cm) che della pressione in camera (< 0,2  $\mu$ bar). Questo comporta necessariamente la rinuncia alla geometria confocale del processo Sputtering+IBAD e la scelta dell'approccio sequenziale in base al quale il deposito di materiale per sputtering e il compattamento dello stesso per IBAD avvengono in successione ed a valori differenti di pressione di camera di processo. Nell'approccio sequenziale il numero di parametri da variare è decisamente maggiore e la ricerca della "ricetta" efficace risulta di maggiore complessità. Si opererà quindi sull'ottimizzazione di due materiali metallici in forma di film molto sottile: a) il tungsteno come metallo caratterizzato da alta stabilità in vuoto e bassa diffusività alle alte temperature; b) un secondo metallo da scegliere opportunamente tra quelli che mostrano bassi valori di riflettanza fino alla lunghezza d'onda di 1  $\mu$ m e valore di eccellenza (> 97 %), pressoché costante con la temperatura, in tutto lo spettro infrarosso.

Si prevede inizialmente di produrre campioni depositati direttamente su substrato di vetro in quanto più facilmente caratterizzabili dal punto di vista ottico, elettrico e strutturale. Tuttavia, si può supporre che la nucleazione e la crescita su substrato di materiale amorfo non strutturato non rappresenti la migliore condizione per esaltare il ruolo dell'IBAD nel favorire deposizione di film a struttura più compatta e più ordinata. Per questo motivo, saranno sperimentati altre tipologie di substrati, ricoprendo la superficie del vetro o dell'acciaio con film di materiali a grani amorfi (ad esempio, ossido di alluminio) ovvero a grani cristallini (ad esempio, nitruro di alluminio).

Le proprietà strutturali, ottiche ed elettriche dei materiali metallici prodotti con tecnica sputtering+IBAD in forma di film molto sottili (< 10 nm) saranno comparate con quelle di materiali di pari spessore e prodotti con tecnica standard sputtering. L'elaborazione accurata degli indici ottici (n, k) e degli spessori sarà fondamentale per la progettazione ottica dei filtri interferenziali. Successivamente, si opererà sull'ottimizzazione di tre materiali dielettrici in forma di film molto sottile: a) la silice come dielettrico

caratterizzato da un indice di rifrazione molto basso; b) l'allumina come dielettrico ad alta stabilità e coefficiente di dilatazione termica sufficientemente alto; c) il nitrato di alluminio come dielettrico a struttura microcristallina. I materiali dielettrici saranno depositati tramite tecnica di sputtering reattivo. Anche in questo caso l'elaborazione accurata degli indici ottici (n, k) e degli spessori sarà fondamentale per la progettazione ottica dei filtri interferenziali.

Prove di stratificazione sequenziale dielettrico/metallo saranno condotte al fine di valutare l'influenza della temperatura del substrato sulle proprietà dell'ultimo strato depositato. In particolare, quanto gli strati molto sottili del metallo possano beneficiare di temperature più alte di deposizione.

Risultati/Deliverable:

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

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**a.2 Sperimentazione preliminare di tecnica MetaMode mediante l'utilizzo della sorgente IBAD**

Nell'ultima fase sperimentale saranno condotte prove di ossidazione e nitrurazione di strati sottili di alluminio mediante sorgente IBAD alimentata con ossigeno o con azoto. L'obiettivo è quello di verificare quanto la sorgente IBAD installata sull'impianto di sputtering, caratterizzata da una tensione massima di 300 V e da una corrente massima di 3 A, si presti ad essere utilizzata anche in qualità di elettrodo per la conduzione di un processo del tipo MetaMode.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla sperimentazione preliminare della tecnica MetaMode mediante l'utilizzo della sorgente IBAD

Durata: maggio 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**

L'obiettivo di questa fase della ricerca è confrontare due diverse tipologie di accumulo termico che è possibile utilizzare per questa tecnologia:

- accumulo di calore per scambio termico in convezione forzata tra il fluido termovettore e un materiale ceramico inerte (a base di allumina o silice), costituito da elementi di forma sferoidale, con diametro medio circa 5 mm, stivato in elementi d'acciaio di particolare geometria e lunghezza;
- serbatoio con sali fusi chimicamente stabili ad alta temperatura, dotati di uno scambiatore di calore che sfrutti la capacità di stratificazione del sale fuso (ossia il gradiente termico lungo l'asse del serbatoio), per accumulare calore ad alta temperatura e produrre energia elettrica anche in assenza di radiazione solare;

Il sistema di accumulo a materiale solido ha il vantaggio di non avere limiti sulla temperatura massima del calore accumulato e inoltre è un sistema necessariamente modulare e quindi gli elementi di accumulo potrebbero essere opportunamente distribuiti all'interno dell'area del campo solare.

La seconda soluzione possibile, che riguarda il sistema di accumulo a sali fusi, è condizionata dalla massima temperatura di stabilità chimica del fluido di accumulo, che per la miscela binaria di nitrati di sodio 60% e potassio 40%, sarebbe circa 600 °C. Temperature di accumulo più elevate sarebbero possibili utilizzando come fluido di accumulo i carbonati fusi.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso

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 un sistema di accumulo termico nell'intervallo di temperatura 200-250°C***

Il candidato più probabile, viste le temperature in gioco e l'esperienza pregressa, è il sale solare,  $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$  (60,40), con l'eventuale aggiunta di nanoparticelle del tipo  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  all'1%wt. Tale PCM è già stato in parte testato nella prima fase ed ha dato buoni risultati. Occorre indagare la possibilità di produrre le quantità di PCM desiderate (tra 5 e 10 kg), in particolare, occorre identificare la macchina (estrusore o miscelatore), fissare il protocollo di produzione e valutare il rateo possibile di produzione che potrà condizionare l'attività sperimentale. Verranno analizzate le proprietà termofisiche (DSC, TGA, ...) facendo anche variare la quantità di nanoparticelle al fine di identificare la soluzione migliore. Elemento essenziale è la misura della conducibilità o diffusività termica, poiché tale dato è essenziale per poter poi arrivare a simulare/progettare l'elemento base di accumulo. Un fattore importante da valutare è la compatibilità del nanoPCM con i materiali di contenimento. Queste attività saranno svolte principalmente dall'Università di Perugia con il supporto dell'ENEA per quanto riguarda le attività di caratterizzazione del fluido e gli effetti di corrosione.

#### Risultati/Deliverable:

- 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
- Studio, produzione e caratterizzazione di un nanoPCM, sia in forma massiva che micro incapsulata, con temperatura di fusione prossima a 220 °C

Principali collaborazioni: Università di Perugia

Durata: ottobre 2013- maggio 2014

### ***b.3 Simulazione del comportamento termo-dinamico di un elemento base di accumulo a calore latente e sensibile e sua progettazione***

Verrà definita la tipologia dell'elemento base di accumulo e studiato il suo comportamento termico attraverso lo sviluppo di opportuni modelli di simulazione sia di tipo semplificato (alle differenze finite) che di dettaglio (fluidodinamica). L'attività di simulazione consentirà di effettuare analisi termiche ed indagini parametriche sulla base delle quali verrà dimensionato l'elemento base di accumulo che sarà quindi realizzato e caratterizzato sperimentalmente.

Queste attività saranno svolte con il supporto dell'Università di Padova per quanto riguarda in particolare la simulazione termomeccanica di moduli elementari di accumulo in cemento e la definizione dei metodi di modellazione termica e meccanica di calcestruzzi con micro-capsule disperse contenenti PCM.

#### Risultati/Deliverable:

- Simulazione del comportamento termo-dinamico di un elemento base di accumulo a calore latente e sua progettazione
- Tecniche di modellazione di moduli di accumulo contenenti micro capsule di PCM

Principali collaborazioni: Università di Padova

Durata: dicembre 2013 - luglio 2014

### ***b.4 Prove sperimentali del comportamento termico di un elemento base di accumulo.***

Per l'attività sperimentale si utilizzerà prevalentemente il piccolo circuito sperimentale SOLTECA dell'ENEA Casaccia, che impiega olio siliconico come fluido termovettore con temperatura massima di esercizio di 250°C, utilizzato per prove su elementi standard di accumulo in calcestruzzo. Poiché per testare gli elementi di accumulo con aggiunta di PCM sono necessarie temperature superiori (280- 300°C), verrà realizzata una nuova sezione di prova che sarà dotata di un opportuno sistema di controllo per automatizzare le fasi di caricamento e scaricamento. Verranno realizzati i nuovi elementi di accumulo termico su cui saranno effettuate prove sperimentali, confrontando i risultati anche con i modelli di simulazione sviluppati. Verranno testati elementi con e senza aggiunta di PCM per valutare l'eventuale incremento delle prestazioni termiche.

L'attività sperimentale è svolta dall'ENEA, il contributo dell'Università di Padova riguarda in particolare l'impostazione della campagna sperimentale e l'analisi e l'interpretazione dei risultati, mentre il contributo dell'Università di Trento riguarda la realizzazione e strumentazione dei moduli di accumulo e l'indagine post test per evidenziare eventuali danneggiamenti.

Risultati/Deliverable:

- Prove sperimentali del comportamento termico di un elemento base di accumulo
- Progettazione campagna sperimentale su elementi in calcestruzzo ed analisi dei risultati
- Sviluppo di mescole per la produzione di calcestruzzo per accumulo termico. Produzione di elementi d'accumulo di calore e valutazione del comportamento dopo trattamento termico

Principali collaborazioni: Università di Trento, Università di Padova

Durata: marzo 2014 - settembre 2014

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

#### ***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***

Questa sperimentazione si rende necessaria per la completa caratterizzazione del comportamento termico del serbatoio di accumulo. Verranno raccolti i dati necessari: temperature di parete del serbatoio, temperature di stratificazione dei sali fusi, calore disperso nel tempo attraverso la coibentazione, potenza elettrica necessaria al mantenimento della temperatura, misura del livello dei sali fusi, ecc.; tutti i dati raccolti saranno utilizzati per la messa a punto e la verifica dei modelli fisico-matematici e dei codici di calcolo sviluppati per simulare i sistemi in studio.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulla caratterizzazione termica del serbatoio di accumulo a sali fusi dell'Impianto Sperimentale PCS in condizioni reali di esercizio del sistema, sia stazionarie che transitorie

Durata: ottobre 2013 - maggio 2014

#### ***c.2 Installazione e prove preliminari di caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo con microturbina a vapore***

Sulla base della progettazione di massima effettuata nell'ambito degli Obiettivi del PAR 2012, l'attività procederà con la progettazione definitiva del circuito vapore, pompa di alimentazione, piping, valvole di sicurezza e regolazione, condensatore per l'alimentazione di una microturbina Dresser Rand serie RVHA da 15 kW che verrà alimentato dal GV integrato nel serbatoio di accumulo per la generazione di vapore ad alta pressione. Verranno realizzate tutte le modifiche necessarie sull'impianto PCS, verranno effettuate le prove preliminari di avviamento dell'impianto e verranno definite le procedure di esercizio per le prove sperimentali. Il contributo dell'Università di Roma Tre riguarda principalmente il supporto alla progettazione definitiva dell'impianto, alla definizione delle specifiche di acquisto dei componenti e alla sperimentazione e all'analisi dei risultati. Effettuerà inoltre analisi di simulazione delle prestazioni dell'impianto e confronto con i dati sperimentali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sull'installazione e prove preliminari di caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo con microturbina a vapore
- Progetto dell'impianto con definizione dei circuiti vapore e acqua e delle apparecchiature termomeccaniche ed elettriche
- Definizione di una matrice di prove sperimentali i cui risultati verranno analizzati e confrontati con modelli di simulazione

Principali collaborazioni: Dipartimento di Ingegneria, Università Roma Tre

Durata: febbraio 2014 - settembre 2014



#### 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. ENEA parteciperà inoltre alle collaborazioni in corso nel settore, sia a livello europeo che internazionale, essenziali per indirizzare le attività di ricerca e stabilire sinergie con i principali attori non nazionali. 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 svolte

Durata: marzo 2014 - settembre 2014

#### *Programma temporale e preventivi economici*

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
<b>LP1. RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE</b>													
a	Materiali e architetture di dispositivo per celle a multigiunzione basate su film sottili di silicio												
b	Celle a eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer sottili di silicio												
c	Celle a film sottili policristallini a base di $Cu_2ZnSnS_4$												
d	Sviluppo di celle organiche												
e	Comunicazione e diffusione dei risultati												
<b>LP2. SOLARE TERMODINAMICO</b>													
a	<b>Filtri interferenziali per impiego solare tramite ottimizzazione del processo sputtering/IBAD</b>												
	a.1 <i>Fabbricazione e caratterizzazione di strati sottili metallici e dielettrici per la realizzazione di filtri solari del tipo interferenziale</i>												
	a.2 <i>Sperimentazione preliminare di tecnica MetaMode mediante l'utilizzo della sorgente IBAD</i>												
b	<b>Studio di sistemi alternativi di accumulo termico</b>												
	b.1 <i>Sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso</i>												
	b.2 <i>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.</i>												
	b.3 <i>Simulazione del comportamento termo-dinamico di un elemento base di accumulo a calore latente e sua progettazione.</i>												
	b.4 <i>Prove sperimentali del comportamento termico di un elemento base di accumulo</i>												
c	<b>Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia</b>												
	c.1 <i>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</i>												
	c.2 <i>Installazione e prove preliminari di caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo con microturbina a vapore.</i>												
d	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali</b>												

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 2012), a pari a 35,7 €/h per la linea LP1 e 40,1 €/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 21,4 €/h per la linea LP1 e 24,0 €/h per la linea LP2.

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)	
<b>LP1. RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE</b>										
<b>a</b>	<b>Materiali e architetture di dispositivo per celle a multigiunzione basate su film sottili di silicio</b>									
	<i>a.1 Sviluppo di materiali assorbitori ad alta energia di gap per celle a tripla giunzione</i>	1000	36	21	14	5	0	2	0	78
	<i>a.2 Sviluppo di riflettori posteriori per celle solari a film sottile di silicio</i>	700	25	15	0	5	0	0	40	85
	<i>a.3 Sviluppo di substrati con elevate proprietà di scattering della radiazione solare</i>	1400	50	30	8	5	0	2	40	135
	<b>Subtotale Ob. a</b>	<b>3100</b>	<b>111</b>	<b>66</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>80</b>	<b>298</b>
<b>b</b>	<b>Celle a eterogiunzione a-Si/c-Si su wafer sottili di silicio</b>	<b>2950</b>	<b>105</b>	<b>63</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>217</b>
<b>c</b>	<b>Celle a film sottili policristallini a base di Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub></b>									
	<i>c.1 Sviluppo dei dispositivi a singola giunzione a base di Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub></i>	1830	65	39	5	5	0	2	70	186
	<i>c.2 Studio di materiali per dispositivi tandem CZTS/c-Si</i>	920	32	20	0	5	0	2	0	59
	<b>Subtotale Ob. c</b>	<b>2750</b>	<b>97</b>	<b>59</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>70</b>	<b>245</b>
<b>d</b>	<b>Sviluppo di celle organiche</b>	<b>2700</b>	<b>96</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>40</b>	<b>220</b>
<b>e</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>	<b>170</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>20</b>
	<b>Subtotale LP1</b>	<b>11670</b>	<b>415</b>	<b>250</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>220</b>	<b>1000</b>

Iglia	Denominazione obiettivi	Ore di personale ENEA	SPESE AMMISSIBILI* (k€)							TOTALE
			Personale (A)	Spese generali	Strumenti e attrezzature (B)	Costi di esercizio (C)	Acquisizione di competenze (D)	Viaggi e missioni (E)	Collaborazioni di cobeneficiari (U)	
<b>LP2. SOLARE TERMODINAMICO</b>										
<b>a</b>	<b>Filtri interferenziali per impiego solare tramite ottimizzazione del processo sputtering/IBAD</b>									
	<i>a.1 Fabbricazione e caratterizzazione di strati sottili metallici e dielettrici per la realizzazione di filtri solari del tipo interferenziale</i>	2000	80	48	4	7	0	0	0	139
	<i>a.2 Sperimentazione preliminare di tecnica MetaMode mediante l'utilizzo della sorgente IBAD</i>	740	30	18	10	3	0	0	0	61
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>2740</b>	<b>110</b>	<b>66</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>200</b>
<b>b</b>	<b>Studio di sistemi alternativi di accumulo termico</b>									
	<i>b.1 Sviluppo di un sistema di accumulo per impianti solari ad alta temperatura alimentati con fluido gassoso</i>	500	20	12	0	0	0	0	0	32
	<i>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 200-250°C.</i>	100	4	2	0	0	0	2	30	38
	<i>b.3 Simulazione del comportamento termo-dinamico di un elemento base di accumulo a calore latente e sua progettazione</i>	250	10	6	0	0	0	0	15	31
	<i>b.4 Prove sperimentali del comportamento termico di un elemento base di accumulo</i>	500	20	12	2	10	0	0	15	59
	<i>Subtotale ob.b</i>	<b>1350</b>	<b>54</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>60</b>	<b>160</b>
<b>c</b>	<b>Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia</b>									
	<i>c.1 Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia</i>	340	14	8	1	0	0	0	0	23
	<i>c.2 Installazione e prove preliminari di caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo con microturbina a vapore</i>	800	32	19	3	10	0	0	20	84
	<i>Subtotale Ob.c</i>	<b>1140</b>	<b>46</b>	<b>27</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>107</b>
<b>d</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati, supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali</b>	<b>250</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>33</b>
	<i>Subtotale LP2</i>	<b>5480</b>	<b>220</b>	<b>131</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>80</b>	<b>500</b>
	<b>TOTALE PROGETTO</b>	<b>17150</b>	<b>636</b>	<b>380</b>	<b>65</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>29</b>	<b>300</b>	<b>1500</b>

\* 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

<b>AREA</b>	<b>PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE</b>
<b>Tema di Ricerca</b>	<b>STUDI E SPERIMENTAZIONI SUI POTENZIALI SVILUPPI DELLE ENERGIE RINNOVABILI - ENERGIA DAL MARE</b>
<b>Progetto B.1.5</b>	<b>STUDI E VALUTAZIONI SULLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DALLE CORRENTI MARINE E DAL MOTO ONDOSONO</b>
	<b>REV.0</b>

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

Il mare racchiude in sé diverse forme di energia: il moto ondoso, le correnti di marea, le correnti marine, e i gradienti di temperatura e salinità. Ognuna di queste fonti di energia è distribuita in maniera non uniforme sul globo terrestre e richiede una specifica tecnologia per la conversione in energia elettrica. Tutti i sistemi di conversione dell'energia derivata dal moto ondoso finora sviluppati sono stati progettati per operare in condizioni di mare aperto. Nel caso dell'Italia è necessario cercare di sviluppare dispositivi che siano in grado di sfruttare caratteristiche differenti dall'altezza delle onde stesse.

Nell'ambito dell'attuale PAR l'ENEA vuole affrontare lo studio e l'analisi delle tecnologie dei sistemi di conversione del potenziale energetico marino, con il duplice obiettivo di proporre nuove soluzioni tecnologiche specifiche per i mari italiani, e di ottimizzare alcuni prototipi, particolarmente promettenti, già realizzati da altre realtà italiane.

### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

Ad oggi l'energia dal mare copre all'incirca lo 0,02% della domanda energetica europea, tuttavia all'interno dell'evoluzione delle energie rinnovabili, l'energia dal mare sta sempre più emergendo come una fonte alternativa che può contribuire agli obiettivi strategici prefissati dall'Unione Europea per il 2020 ed il 2050.

La ricerca in ambito italiano nel campo dell'energia dal mare è particolarmente attiva da circa dieci anni con progetti mirati allo sviluppo di dispositivi atti a funzionare nel Mar Mediterraneo in particolare e in zone oceaniche in genere. Molti dei sistemi in fase di studio in Italia hanno raggiunto maturità scientifica e possono passare alla fase di sviluppo e commercializzazione.

### **Stato attuale delle tecnologie**

Le tecnologie rivolte allo sfruttamento delle correnti di marea e delle onde sono a uno stato di maturità che possiamo definire importante, mentre quelle per lo sfruttamento dei gradienti termici e salini sono in una fase ancora iniziale e di difficile implementazione su scala commerciale nel breve periodo.

I dispositivi in grado di generare energia elettrica sfruttando il moto ondoso vengono comunemente denominati *Wave Energy Converters* (WECs), ed utilizzano uno specifico sistema di *power take off* (di estrazione dell'energia). Vari WECs sono stati progettati e sottoposti a prova a scala di modello; alcuni sono stati anche sperimentati in piena scala in mare.

In questo contesto, in Italia, si possono evidenziare due importanti realtà, presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria è stato sviluppato un dispositivo di conversione *shore-line* del tipo a colonna d'acqua oscillante, comunemente noto come "Oscillating Water Column" (OWC), e presso il Politecnico di Torino è stato sviluppato un dispositivo di conversione del tipo *near-shore/off-shore* denominato ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter). ISWEC è un sistema giroscopico di conversione dell'energia da moto ondoso.

### **Obiettivo finale dell'attività**

L'obiettivo finale dell'attività di ricerca nel campo dell'energia dal mare è quello di favorire l'applicazione di queste nuove tecnologie, accelerare lo sviluppo commerciale dei sistemi, e qualificare le aziende italiane

nei confronti di un prossimo futuro mercato internazionale. 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.

### ***Coordinamento con attività di CNR e RSE***

Il CNR non svolge attività sul presente tema nell'ambito nazionale della Ricerca di Sistema Elettrico.

ENEA e RSE operano in maniera coordinata al fine di assicurare lo scambio dei dati prodotti e pianificare le rispettive attività in modo organico. Nel corso della riunione che si è tenuta presso la sede RSE nel novembre 2013 tra personale RSE e ENEA coinvolto nel progetto, è stato perfezionato il coordinamento delle attività svolte. RSE ed ENEA hanno concordato sulla necessità di dare evidenza ed ampia diffusione ai risultati ottenuti all'interno del progetto costruendo un sito web dedicato in cui saranno caricati tutti i prodotti e i rapporti, e saranno presenti link alle applicazioni sviluppate.

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

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. 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.

## ***PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ***

### ***Descrizione obiettivi***

#### **a. Calcolo di indicatori di produttività energetica a partire dal clima ondoso**

Nel PAR precedente è stato messo a punto il sistema operativo per la previsione dello stato del mare e dell'energia ondosa. Il sistema utilizza il modello WAM alla risoluzione di  $1/32^\circ$  per l'intero bacino Mediterraneo e il modello SWAN per la simulazione relativa a 10 sottobacini lungo le coste italiane alla risoluzione di  $1/128^\circ$ . Questa attività verrà portata avanti nel corso di questa annualità fornendo quotidianamente le previsioni per i cinque giorni successivi.

Nel corso del Progetto verrà prodotta una nuova climatologia delle onde per l'intero bacino Mediterraneo alla risoluzione di  $1/32^\circ$ , basata sulla implementazione del modello WAM attualmente utilizzata all'interno della catena operativa. La climatologia verrà realizzata utilizzando come forzante atmosferico dati di vento ricavati da un modello meteorologico a scala regionale e verrà estesa su un periodo di alcune decadi. Alle variabili integrate, quali altezza significativa e frequenza media delle onde, fornite in uscita su tutta la griglia di calcolo, verrà aggiunta la memorizzazione degli spettri bidimensionali di energia in punti selezionati.

Nelle annualità precedenti sono state individuate le zone delle coste italiane più interessanti dal punto di vista energetico; per alcuni punti più significativi all'interno delle aree ad alta risoluzione è stata calcolata la distribuzione di energia in funzione del periodo significativo e dell'altezza significativa dell'onda. Le analisi effettuate in precedenza sono state ricavate dalle variabili integrate, gli spettri bidimensionali consentiranno invece di effettuare, per singoli siti, analisi statistiche complete. Sarà quindi possibile ad esempio identificare situazioni in cui le onde derivano dalla sovrapposizione di effetti locali e di onde di provenienza remota e individuare in maniera esatta la direzione di provenienza. Il clima d'onda così ricavato è della massima importanza ai fini ingegneristici per la valutazione corretta della produzione di elettricità annua ricavabile in funzione della capacità installata. In questo caso risulta, infatti, possibile

tenere in considerazione, nel calcolo dell'energia ricavabile, parametri del convertitore quali la soglia inferiore di energia ed i limiti di uso in frequenza e direzione.

La simulazione verrà effettuata utilizzando il codice WAM nella configurazione messa a punto per la catena operativa. Lo spettro di energia sarà definito tramite 32 frequenze a partire da 0,06 Hz, con 36 direzioni angolari. Tutte le principali variabili integrate, come altezza significativa, periodo medio, periodo di picco ed energia del moto ondoso, prodotte dal modello WAM, verranno memorizzate per tutto il dominio di calcolo alla risoluzione di  $1/32^\circ$ . Verrà inoltre introdotta la scrittura degli spettri bidimensionali delle onde per circa venti punti nel dominio. L'utilizzo per la creazione di una climatologia della catena di modelli di onda attualmente utilizzata in modalità operativa, richiederà lo sviluppo di appositi script per l'esecuzione automatica e continuativa delle simulazioni, consentendo comunque la normale prosecuzione dell'attività operativa di previsione delle onde. L'elaborazione di una climatologia della lunghezza di 10 anni richiede circa 90 giorni di tempo di calcolo. La messa a punto del sistema e la produzione dei dati richiederanno circa tre mesi di lavoro. Contemporaneamente alla produzione dei dati, avrà inizio la fase di preparazione dei codici di analisi e visualizzazione dei risultati, in particolare per la creazione delle statistiche sugli spettri bidimensionali. Al termine del periodo verranno prodotte mappe del clima d'onda su tutta l'area del Mediterraneo ed inoltre le statistiche degli spettri d'onda bidimensionali per i punti selezionati. Per la simulazione di un giorno con il modello sono necessari circa 30 GB, quindi la simulazione di 10 anni richiede circa 20 TB di spazio disco.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sull'implementazione dei modelli e analisi dei risultati
- Produzione di mappe climatologiche ad alta risoluzione per l'area mediterranea
- Produzione giornaliera delle previsioni dello stato del mare e dell'energia ondosa associata su tutto il Mediterraneo e su 10 sottobacini
- Produzione degli indicatori di produttività energetica relative a specifiche aree selezionate

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **b. Attività sperimentale su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC**

Si prevede l'esecuzione di attività sperimentali su un modello in scala 1/8 di un dispositivo a colonna d'acqua oscillante OWC. Nello specifico, oltre alla tecnica consolidata degli *Oscillating Water Column*, le attività sperimentali considereranno diverse configurazioni (almeno due), cambiando la geometria dell'impianto, o modificando il dispositivo, considerando ad esempio i nuovi dispositivi U-OWC (o REWEC3), al fine di migliorare prestazioni, resa ed efficienza per la conversione dell'energia delle onde e la produzione di energia elettrica. L'esperimento in scala ridotta sui cassoni OWC sarà eseguito nel Laboratorio NOEL dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Allo scopo, si realizzerà un modello di cassone per impianti di produzione di energia elettrica da moto ondoso, da posizionarsi nel lungomare di Reggio Calabria presso il NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory) centro avanzato per l'ingegneria marittima dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria.

La struttura per l'assorbimento di energia del moto ondoso, andrà a posizionarsi su una diga esistente in cemento armato, avente 16 metri di lunghezza. Tale diga diventerà 'attiva' grazie al posizionamento del nuovo cassone in acciaio. Il nuovo cassone sarà dotato di strumentazione collegata alla stazione di misura del laboratorio. Il cassone metallico attivo, realizzato nell'ambito di questo progetto, avrà lunghezza di 3-4 m ed andrà ad integrare un cassone 'attivo' di circa 6 m, di tipo U-OWC, in corso di ultimazione presso il NOEL. La peculiarità del nuovo cassone consisterà nell'elevata modularità: il cassone sarà realizzato con dei setti mobili, che consentiranno di modificare la geometria del cassone nel corso delle attività sperimentali (i cassoni già sperimentati presso il NOEL avevano una geometria fissata a priori, non modificabile).

La modularità del nuovo cassone consentirà una piena integrazione per lo svolgimento di attività congiunte tra Università Mediterranea ed ENEA, attraverso verifiche sperimentali di modellazioni del dispositivo OWC per diverse geometrie. Essa riguarderà sia la possibilità di modificare la larghezza del cassone, attraverso divisori mobili interni, sia la possibilità di modificare il diametro dello sfiato del condotto dell'aria.

L'Università Mediterranea provvederà a supportare le attività sperimentali. In dettaglio, si procederà alla

misura delle onde incidenti (attraverso almeno due sensori posizionati in campo indisturbato) e, all'interno del cassone, alla misura delle pressioni all'imbocco del cassone attivo, alla misura delle pressioni in diversi punti all'interno della camera d'aria, alla misura del livello dell'acqua all'interno del cassone. I livelli di altezza significativa nel NOEL variano tipicamente tra 0,20 m e 0,80 m, con periodo di picco compreso tra 2,0 s e 3,6 s. Le attività sperimentali saranno eseguite inizialmente sul cassone esistente, di 6 metri di lunghezza; contemporaneamente si procederà al progetto esecutivo del cassone REWEC3, da realizzarsi nel corso del progetto. Successivamente si procederà all'esecuzione delle attività sperimentali utilizzando il nuovo cassone, per diverse configurazioni: inizialmente per la larghezza complessiva di 3-4m, successivamente per larghezze più piccole, sfruttando la modularità. Poiché NOEL è un laboratorio a cielo aperto, sarà necessario prevedere tempi per le misure sufficientemente ampi (ciascuna configurazione richiederà almeno due settimane di attività). Complessivamente, nell'ambito del presente progetto, saranno eseguite prove per almeno due geometrie.

Risultati/Deliverable:

- Progettazione, costruzione e installazione prototipo 1:8 a geometria modificabile
- Rapporto tecnico sugli esperimenti preliminari condotti su un prototipo già esistente sia con il prototipo 1:8 acquistato da ENEA a geometria modificabile

Principali collaborazioni: Università Mediterranea di Reggio Calabria

Durata: ottobre 2013 - settembre. 2014

**c. Analisi fluidodinamica CFD su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC**

L'attività prevista nel presente obiettivo è la prosecuzione dello studio fluidodinamico del sistema aria-acqua all'interno del cassone di un dispositivo U-OWC iniziato nel corso della precedente annualità. L'attività c prevede due fasi.

- si procederà alla messa a punto del modello CFD sulla base della geometria definitiva dell'apparato U-OWC sperimentale che sarà realizzato nell'ambito dell'obiettivo precedente, attraverso una sua ottimizzazione sia dal punto di vista del peso computazionale (numero di elementi) sia dal punto di vista delle risorse computazionali necessarie (numero di processori in parallelo e tempo di calcolo), al fine di ridurre il costo complessivo delle simulazioni. Utilizzando il modello CFD così ottimizzato, saranno svolte delle simulazioni utilizzando le stesse forzanti semplificate di tipo sinusoidale impiegate nel precedente modello, e sarà effettuato un confronto tra i risultati dei due tipi di simulazioni, al fine di una prima valutazione dell'influenza delle differenti geometrie sul comportamento del sistema aria-acqua
- In questa seconda fase saranno individuate le misure sperimentali da effettuare sul dispositivo U-OWC in scala, realizzato nell'ambito dell'attività precedente, necessarie per la validazione del modello CFD ottimizzato. Successivamente saranno analizzati i risultati delle precedenti misure, ottenuti dall'attività sperimentale su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC, da realizzarsi nell'ambito dell'attività di questo anno del presente Progetto B.1.5. Quindi saranno svolte le simulazioni numeriche del comportamento del sistema aria-acqua, utilizzando il modello ottimizzato, ed introducendo come forzante quella reale misurata sperimentalmente. Sarà quindi valutata l'affidabilità dei risultati ottenuti dalle analisi CFD attraverso il confronto dei risultati numerici con i risultati sperimentali precedentemente ottenuti sul dispositivo U-OWC di Reggio Calabria.

Per analizzare e visualizzare l'enorme mole di dati prodotti nel corso delle simulazioni, si renderà necessario disporre di una dotazione hardware in grado di supportare adeguatamente le simulazioni CFD prodotte.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico su fase 1
- Rapporto tecnico su fase 2

Principali collaborazioni: Università Mediterranea di Reggio Calabria

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **d. Studio delle prestazioni di un dispositivo di tipo point absorber “attivo” in scala reale, e progettazione di un sistema oscillante “passivo” per il recupero di energia dal moto ondoso**

Le attività del seguente obiettivo si distinguono su due tematiche differenti: la prima è a continuazione delle attività svolte nell'annualità precedente, ed è mirata allo studio delle prestazioni e affidabilità, in ambiente reale, del sistema di conversione basato su architettura giroscopica attiva; la seconda riguarda invece una nuova linea di attività legata allo sviluppo e analisi di un dispositivo di conversione di tipo passivo.

Riguardo la prima linea di attività, si prevede l'analisi delle prestazioni e affidabilità di un dispositivo con sistema giroscopico in scala reale che sarà realizzato e installato a Pantelleria dal Politecnico di Torino nell'ambito di un progetto finanziato della Regione Piemonte. Dal momento dell'installazione del prototipo, sarà monitorata, in collaborazione con ENEA, la potenza elettrica prodotta in funzione dei parametri di controllo e dell'altezza e periodo delle onde marine incidenti.

I sistemi attivi, pur avendo fornito buoni risultati sperimentali ed essendo risultati promettente dal punto di vista applicativo, presentano alcune criticità che potrebbero limitarne il campo di applicazione: in particolare il consumo di energia per mantenere in rotazione il giroscopio risulta significativo e nei casi di potenziale marino medio-basso, frequente nei mari italiani, la resa energetica netta potrebbe risultare non soddisfacente. Una possibile alternativa del sistema attivo sopra descritto è rappresentata da un sistema galleggiante che operi in condizioni di risonanza basato su un sistema oscillante passivo, quale un pendolo. Si prevede di poter sintonizzare il dispositivo con il moto ondoso incidente al fine di assorbire energia dal moto relativo tra pendolo e scafo, riuscendo a esaltare il modo di beccheggio del solo scafo. L'unica regolazione in tale tipologia di convertitore è la coppia d'assorbimento del generatore elettrico posto sul giunto di accoppiamento tra pendolo e scafo e si prevede un calo delle prestazioni al di fuori dell'onda nominale, venendo a mancare la possibilità di variare i parametri dinamici propri del dispositivo che consentono l'adeguamento alla variazione della lunghezza d'onda.

La seconda attività del presente obiettivo riguarderà la modellazione matematica del sistema passivo di conversione dell'energia delle onde, ricercando i parametri progettuali e di regolazione per massimizzarne la produttività. Vista la specificità dell'applicazione (alte coppie, basse velocità angolari e moto alternato) sarà analizzata la soluzione elettrica che consenta il miglior rendimento di trasformazione. Le analisi verranno svolte sulla *scattering table* descrittiva dello stato di mare di Pantelleria. Al termine di questa prima fase sarà svolta la progettazione esecutiva e la realizzazione di un prototipo in scala, idoneo allo svolgimento di test in condizioni controllate presso la vasca navale del Politecnico di Torino. Nella parte di progettazione si dovrà procedere all'opportuno dimensionamento del sistema in modo tale da massimizzare la conversione dell'energia ondosa, utilizzando i modelli di simulazione prodotti nel corso della prima fase. Si studierà inoltre la possibilità di variare le caratteristiche geometriche e funzionali del dispositivo passivo nelle diverse condizioni del mare, mediante servomeccanismi o altri sistemi di tipo semplice, affidabili, di basso costo e con consumi energetici limitati, con eventuale possibilità di controllo da remoto o anche locale, per esempio mediante microprocessore, nonché di proporre soluzioni costruttive alternative. Nel caso si arrivi a individuare una soluzione facilmente integrabile nel prototipo da realizzare, se ne terrà conto nella progettazione e costruzione del prototipo. Questo, dopo le prove preliminari di controllo presso i laboratori dell'ENEA, verrà inviato al Politecnico di Torino per essere installato nel dispositivo di prova e sottoposto alle prove sperimentali in vasca, che serviranno a dimostrarne la funzionalità e l'efficienza nelle diverse condizioni del moto ondoso e successivamente a fornire indicazioni per la progettazione di prototipi in scala reale o intermedia.

#### Risultati/Deliverable:

- Report di sintesi sulla metodologia progettuale del sistema di conversione di tipo “passivo”
- Progettazione e costruzione del sistema meccanico di conversione in scala 1:45
- Report di sintesi delle attività contenente: disegni costruttivi del dispositivo, nota sulle verifiche e prove preliminari, descrizione delle prove sperimentali, e risultati ottenuti
- Report di sintesi sull'installazione e valutazione delle prestazioni del sistema di conversione “attivo”

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2013-settembre 2014



## e. 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.

Sarà assicurata una presenza tecnicamente qualificata in sedi internazionali quali la *European Energy Research Alliance* (EERA). Sarà inoltre organizzato un workshop sullo stato dell'arte dello sviluppo di sistemi di conversione dell'energia dal mare per il bacino Mediterraneo.

Nell'ambito di questo obiettivo si prevede inoltre lo sviluppo di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS, *Decision Support System*) di tipo GIS-based, finalizzato alla rappresentazione dei dati e delle informazioni territoriali, alla loro condivisione con utenti a vario livello (da quelli specializzati a quelli comuni, secondo differenti modalità di accesso) ed a fornire supporto alla pianificazione delle nuove installazioni, al sistema previsionale ed alla gestione delle infrastrutture esistenti. Il DSS-WebGIS previsto sarà strutturato per archiviare e gestire dati geografici e territoriali relativi alle aree marine e costiere di interesse, con particolare riguardo a quelli relativi agli impianti già esistenti ed a quelli previsti.

I dati geospaziali di base e le mappe elaborate saranno archiviati e gestiti in un apposito *repository* rappresentato da un database geospaziale (Geodatabase) strutturato ad hoc. Il Geodatabase potrà, altresì, essere affiancato da uno specifico repository in cui archiviare i risultati provenienti da modelli di simulazione esterni, nonché i cosiddetti "dati geolocalizzati", ossia quei dati come documenti, report, tabelle, ecc..., non intrinsecamente geografici ma associabili al territorio, in quanto contenenti informazioni documentali su impianti o indicatori ambientali, riconducibili agli ambiti geografici di interesse. Il sistema, così configurato, potrà essere debitamente aggiornato per tenere conto di aggiornamenti cartografici, variazioni, ecc..

In questa visione complessiva, in particolare, la componente WebGIS costituirà la naturale interfaccia geografica del sistema DSS previsto: le informazioni territoriali di base e le mappe elaborate potranno essere visualizzate ed interrogate sia mediante applicativi GIS di tipo desktop (e.g. Esri ArcGIS o QuantumGIS), sia via web (client WebGIS), tramite un *map viewer* integrato in un comune browser internet o tramite dispositivi mobili (Palmari o Tablet). In tal modo, altresì, i principali risultati prodotti nel corso delle attività progettuali saranno resi fruibili in maniera open e accessibili on-line. Infine, nel WebGIS potranno confluire informazioni geografiche e territoriali archiviate in repository GIS esterni (ad esempio: Geoportale Nazionale), attingendole via webservices (e.g. WMS, WFS e WCS, secondo gli standard OGC).

In sintesi, gli obiettivi specifici del Sistema integrato DSS-WebGIS saranno:

- 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, per le fasi connesse alla progettazione di nuovi impianti;
- Fornire supporto al sistema di previsione e monitoraggio;
- Fornire supporto alla gestione di impianti esistenti;
- Condivisione di dati, mappe e informazioni mediante un portale WebGIS dedicato.

Tali funzionalità richiederanno una gestione avanzata ed integrata di:

- dati geo-spaziali di base necessari alla caratterizzazione del territorio marino e costiero di interesse, nelle sue diverse componenti naturali ed infrastrutturali;
- dei dati geo-spaziali elaborati a supporto della gestione, della pianificazione, della previsione, ecc... (e.g. Mappe tematiche, Scenari, ecc.).

A tal fine, si farà ricorso a procedure ed algoritmi GIS di analisi spaziale (geoprocessing), finalizzati alla elaborazione geo-statistica ed alla visualizzazione spaziale per realizzare le funzionalità sopra descritte.

Per poter sviluppare adeguatamente il WebGIS in oggetto, sarà implementata la summenzionata architettura Client-Server per l'interscambio dei dati geospaziali attraverso il Web, nella quale si prevede di utilizzare un framework software open-source evoluto, capace di supportare lo sviluppo di applicazioni RIA (Rich Internet Application). Le applicazioni RIA sono la soluzione più utilizzata attualmente per un'architettura di tipo distribuito; esse permettono una elevata interattività e multimedialità, sono

caratterizzate dalla velocità d'esecuzione (vantaggi: pronta risposta all'interfaccia utente, la maggior parte dei dati e delle funzionalità restano sul server remoto, alleggerimento sul computer utente) e rappresentano l'approccio ideale per l'implementazione di applicativi WebGIS efficienti ed evoluti.

Inoltre, si provvederà alla migrazione nella suddetta architettura della piattaforma WebGIS "Waves Energy" già sviluppata, al fine di migliorarne caratteristiche, funzionalità e prestazioni.

A tal fine, si rende necessario disporre una dotazione hardware in grado di supportare adeguatamente gli sviluppi delineati. Il punto centrale di tale architettura sarà una macchina Server Linux-compliant dotata di adeguato spazio di archiviazione (e.g. HP Proliant certificato Linux), affiancata da una unità di backup di tipo NAS (Network Attached Storage).

Come concordato tra ENEA e RSE, al fine di dare ampia diffusione ai risultati ottenuti all'interno del progetto, verrà costruito un sito web dedicato in cui saranno caricati tutti i prodotti e i rapporti, e saranno presenti link alle applicazioni sviluppate. Questo sito vuole configurarsi come un punto di riferimento per la ricerca italiana sull'energia dal mare e sarà costruito in modo da avere un elevato ranking nei motori di ricerca e facilità di consultazione. Il sito sarà bilingue italiano/inglese per quanto riguarda la navigazione e le descrizioni generali delle applicazioni. Il sito sarà gestito congiuntamente da RSE ed ENEA.

**Risultati/Deliverable:**

- Report di sintesi sulla creazione del DSS-WebGIS
- Realizzazione e pubblicazione in rete del sistema DSS-WebGIS
- Realizzazione e pubblicazione in rete del sito web congiunto ENEA/RSE
- Pubblicazioni scientifiche
- Presentazioni a congressi
- Organizzazione Workshop dedicato al tema dell'energia dal mare

**Principali collaborazioni:** Università Mediterranea di Reggio Calabria, Politecnico di Torino

**Durata:** ottobre 2012- settembre 2013

***Programma temporale e preventivi economici***

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
a	Sviluppo di indicatori di produttività del clima ondoso												
b	Attività sperimentale su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC												
c	Analisi fluidodinamica CFD su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC												
d	Studio delle prestazioni di un dispositivo di tipo <i>point absorber</i> "attivo" in scala reale, e progettazione di un sistema oscillante "passivo" per il recupero di energia dal moto ondoso												
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 B.1.4 del PAR 2012), pari a 40,6 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 24,3 €/h.

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	Sviluppo di indicatori di produttività del clima ondoso	710	29	17	3	0	0	1	0	49
b	Attività sperimentale su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC	500	20	12	35	0	0	2	35	104
c	Analisi fluidodinamica CFD su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC	810	33	20	1	0	0	2	0	55
d	Studio delle prestazioni di un dispositivo di tipo <i>point absorber</i> "attivo" in scala reale, e progettazione di un sistema oscillante "passivo" per il recupero di energia dal moto ondoso	500	20	12	10	0	0	2	30	74
e	Comunicazione e diffusione dei risultati	130	5	3	1	5	0	2	0	16
<b>TOTALE</b>		<b>2650</b>	<b>107</b>	<b>64</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>65</b>	<b>300</b>

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

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

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

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

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

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

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

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

- 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;
- analisi di sistema e di sicurezza di sistemi nucleari e relativi cicli del combustibile;
- progettazioni e qualifiche di componenti e sistemi per impianti nucleari di quarta generazione;
- sviluppo di materiali per sistemi nucleari innovativi.

Le infrastrutture di ricerca proposte e realizzate potranno essere di supporto alle industrie nazionali del settore di essere competitive sia a livello europeo sia internazionale.

### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

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. Di pari passo, lo sviluppo dei sistemi nucleari riguarderà 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.

### **Stato attuale delle tecnologie**

Le attività di ricerca proposte sono volte alla 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.

La partecipazione alle iniziative e piattaforme Europee come SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform) ed ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative) 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. In ambito europeo lo 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 è inquadrato nella ESNII, di cui anche l'ENEA è membro.

### **Obiettivo finale dell'attività**

Gli obiettivi programmatici dell'intero progetto prevedono di 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 a pieno titolo alle grandi iniziative di R&S internazionali/europee sul nucleare di IV generazione.

### **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 fissione sono ad esclusiva responsabilità ENEA.

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

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.

Di pari importanza è lo sviluppo di competenze e infrastrutture di ricerca in ambito LFR e SMR refrigerati a piombo nel contesto delle collaborazioni internazionali, su cui il sistema di ricerca italiano e l'industria nazionale del settore già gioca un ruolo di leadership sia a livello comunitario che internazionale.

## **PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ**

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

### **Descrizione obiettivi**

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

##### **a. Acquisizione, sviluppo e validazione di codici e metodi per studi ed analisi di sicurezza e sostenibilità**

###### **a.1 Dati nucleari e librerie per schermaggio e dosimetria**

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

1. 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.
2. Prosecuzione delle attività di validazione delle librerie di lavoro a gruppi BUGJEFF311.BOLIB e BUGENDF70.BOLIB per lo schermaggio ed il danno da radiazione LWR, prodotte recentemente in ENEA-Bologna.
3. Aggiornamento delle librerie di decadimento contenute nel package per il calcolo dell'attivazione di materiali sottoposti ad irraggiamento neutronico ANITA basandosi sui dati più recenti disponibili (EAF-2010, JEFF-3.1/RDD).

### **Tematica 1**

All'interno della collaborazione n\_TOF, verranno svolte le seguenti attività:

- Studio teorico dei modelli d'interazione adronica per il calcolo delle sezioni d'urto di fissione e delle distribuzioni angolari dei prodotti di fissione;
- Simulazioni, tramite il Monte Carlo Geant4, del flusso neutronico successivo al processo di spallazione di un fascio di protoni di 20 GeV/c su bersaglio di piombo.

L'esperimento n\_TOF studia le sezioni d'urto (n,f) utilizzando neutroni la cui energia varia da energie termiche fino ad 1 GeV. Per ottenere tale "range" d'energia si utilizza un fascio di protoni di 20 GeV che interagiscono con un bersaglio (di spallazione) di Piombo. Con tali energie protoniche si possono (nella simulazione) usare diversi modelli d'interazione (Physics List), ognuno dei quali determina un flusso neutronico d'uscita diverso a seconda dei modelli teorici utilizzati. La prima fase del lavoro rivolge l'attenzione alle "Physics List", contenenti il modello "HP" (High Precision) che descrive al meglio i neutroni fino a 20 MeV.

In particolare, va valutata la bontà del modello FTFP\_HP che, da quanto disponibile in letteratura, sembra descrivere meglio i processi di spallazione dei protoni di energia del GeV. Il flusso di neutroni uscente transita per una serie di collimatori e poi interagisce su una targhetta di U235. Sperimentalmente si "contano" i processi di fissione e le distribuzioni angolari. La caratterizzazione del flusso (in uscita dal bersaglio di spallazione) è fortemente legata al calcolo delle sezioni d'urto dei neutroni che interagiscono con l'Uranio (vedi quanto scritto nel primo punto di attività). Data l'impossibilità sperimentale di "misurare" il flusso neutronico, la simulazione permette di valutare quale Physics List "genera" un flusso neutronico che, successivamente, interagendo con il bersaglio di uranio, determina valori sperimentali di sezione d'urto di fissione in accordo con quelli della simulazione. All'interno delle Physics List si possono modificare alcuni parametri (densità di livelli nucleari) per riprodurre al meglio i dati sperimentali.

### Tematica 2

Nel corso della seconda annualità del PT 2012-2014, il Gruppo Dati Nucleari intende proseguire le attività di validazione delle librerie di lavoro a gruppi BUGJEFF311.BOLIB e BUGENDF70.BOLIB per lo schermaggio ed il danno da radiazione LWR, prodotte recentemente in ENEA-Bologna, distribuite liberamente da OECD-NEADB ed ORNL-RSICC e rispettivamente basate sulle librerie di dati valutati OECD-NEADB JEFF-3.1.1 e US ENDF/B-VII.0. In particolare, si intende produrre un rapporto dettagliato avente per oggetto una analisi deterministica tridimensionale in geometria cartesiana, effettuata tramite il codice ORNL alle ordinate discrete TORT-3.2 e le librerie di lavoro menzionate, dedicata alla esperienza inglese PCA-Replica (H<sub>2</sub>O/Fe) che è inclusa nella banca dati internazionale SINBAD di esperienze benchmark di schermaggio.

In particolare, tale esperienza riproduce la geometria radiale ex-core di un PWR, con simulatori di scudo termico e di recipiente in pressione alternati a zone di acqua, ed è specificamente concepita per verificare l'accuratezza dei dati nucleari e dei codici di trasporto impiegati nel calcolo del danno da radiazione neutronica nel recipiente in pressione, di decisivo interesse per la sicurezza nucleare.

### Tematica 3

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 package comprende: a) il codice di attivazione ANITA-4M, basato sul codice originale sviluppato al CEC JRC Ispra, in grado di calcolare l'inventario radioattivo di un materiale esposto ad irraggiamento neutronico, sia continuo che pulsato; b) librerie di sezioni d'urto d'attivazione neutroniche, c) una libreria di dati di decadimento (denominata "FL1") e d) una libreria ("FL2") contenente gli spettri dei raggi gamma di decadimento emessi dai nuclidi radioattivi, in una struttura energetica a 18 gruppi. I dati contenuti nelle attuali librerie denominate "FL1" e "FL2" sono basati sulla libreria di decadimento FENDL/D-2.0. Recentemente, da parte di utilizzatori di ANITA-2000, in particolare dal gruppo di Radiation Analysis di Ansaldo Nucleare, è sorta l'esigenza di aggiornare le librerie di decadimento contenute nel package.

Con l'attività di questa tematica si prevede di aggiornare tali librerie basandosi sui dati più recenti disponibili (EAF-2010, JEFF-3.1/RDD ecc.). Tale attività richiede lo sviluppo di opportuni codici di interfaccia per trasformare i dati in formato ENDF-6 delle librerie originali nel formato richiesto dal codice ANITA. Come fase finale di questa seconda annualità, si prevede la validazione del codice ANITA con le nuove librerie tramite confronto con risultati sperimentali prodotti al Frascati Neutron Generator.

### Risultati/Deliverable:

- LP1.a1.1 Rapporto "Fission at intermediate nuclear energies"
- LP1.a1.2 Rapporto "PCA-Replica (H<sub>2</sub>O/Fe) Neutron Shielding Benchmark Experiment - Deterministic Analysis in Cartesian (X,Y,Z) Geometry Using the TORT-3.2 3D Transport Code and the BUGJEFF311.BOLIB, BUGENDF70.BOLIB and BUGLE-96 Cross Section Libraries"
- LP1.a1.3 Aggiornamento delle Librerie di decadimento del Package ANITA-2000

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

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

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

1. Metodi Monte Carlo per Analisi Sicurezza del Nocciolo e Stoccaggio Materiale Fissile
2. Calcolo preliminare dei parametri neutronici e termoidraulici necessari per una successiva descrizione con codici deterministici del primo ciclo di funzionamento.

#### Tematica 1

L'attività prevede l'applicazione di tecniche Monte Carlo ad alcuni problemi di analisi di sicurezza neutronica di pertinenza ai PWR in generale e all'EPR in particolare. Nello specifico, nell'ambito della collaborazione con l'IRSN, si procederà alla valutazione del danno da radiazione accumulato durante tutta la vita del reattore ai cavi in fibra ottica che sono a varie profondità nel fondamento di cemento sotto il vessel di un PWR. Continuerà la partecipazione alla NEA WPNCs ("Working Party on Nuclear Criticality Safety") e al EGAMCT ("Expert Group on Advanced Monte Carlo Techniques") e la promozione delle nuove tecniche Monte Carlo sviluppate nelle precedenti annualità presso l'ENEA di Bologna, da utilizzare nei calcoli del nocciolo del reattore e nello stoccaggio di materiale fissile.

#### Tematica 2

L'attività prevede il calcolo, con il codice di cella APOLLO versione 2.8-3.E, delle sezioni d'urto efficaci a due gruppi energetici di tutti gli assembly 17x17 del primo ciclo di funzionamento di un reattore ad acqua pressurizzato da 1600 MWe. I dati geometrici e materiali della configurazione di riferimento saranno estratti da documentazione pubblica. Le sezioni d'urto saranno calcolate al variare di cinque parametri: temperatura del combustibile, concentrazione di boro, densità del moderatore, bruciamento, tipo di assembly (cioè con e senza barre di controllo). Il metodo di risoluzione adottato per l'equazione del trasporto sarà quello delle Probabilità di Collisione Pij.

I calcoli verranno eseguiti con una libreria a 281 gruppi energetici di tipo SHEM ottimizzata per il sistema in esame. Tale attività è propedeutica a quella prevista nell'ultima annualità del PT 2012-2014, quando le sezioni d'urto efficaci verranno utilizzate per calcoli di safety di nocciolo del primo ciclo di funzionamento dello stesso pressurizzato da 1600 MWe, con il codice di nocciolo CRONOS-2. In collaborazione con CEA saranno altresì reperiti i dati necessari a valutazioni di termoidraulica di nocciolo per un possibile impiego del codice FLICA-4 in aggiunta ai moduli semplificati già disponibili in CRONOS-2 per il calcolo del feedback termico.

#### Risultati/Deliverable:

- LP1.a2.1 Metodi Monte Carlo per analisi sicurezza del nocciolo e stoccaggio materiale fissile
- LP1.a2.2 Sezioni d'urto a Due Gruppi del Primo Ciclo di Funzionamento di un PWR da 1600 MWe finalizzate a calcoli di safety di nocciolo

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***a.3 Validazione di codici incidentali e modelli fenomenologici per simulazione di transitori su reattore PWR da 900 MWe e per confronto con dati disponibili da prove sperimentali***

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

1. Analisi di reflooding di mezzi porosi attraverso analisi di pre-test e di post-test a supporto del programma sperimentale PEARL per la validazione dei modelli presenti nei codici ICARE/CATHARE e/o ASTEC
2. Studi per la realizzazione di un nuovo modello, da inserire nel codice TRANSURANUS, per il calcolo della "plenum temperature"
3. Verifica dei progressi e dell'affidabilità dei codici ASTEC e MELCOR attraverso il confronto dei risultati di calcolo riferiti ad una sequenza incidentale significativa per reattori PWR da 900 MWe

#### Tematica 1

Nell'ambito di accordi bilaterali con l'IRSN, l'ENEA è impegnata in attività finalizzate alla verifica e validazione dei modelli di reflooding di un nocciolo degradato (codici ICARE/CATHARE e ASTEC) durante un incidente severo e dei modelli di termoidraulica e termomeccanica della barretta di combustibile del codice

DRACCAR in condizioni di DBA. In continuità con quanto svolto nella precedente annualità, le attività con ICARE/CATHARE (o ASTEC) sono finalizzate al supporto del programma sperimentale PEARL dell'IRSN per l'analisi di reflooding di mezzi porosi, attraverso analisi di pre-test, e di post-test per la validazione dei modelli. Per quanto riguarda DRACCAR, l'attività di validazione continua in accordo a quanto stabilito con l'IRSN. A completamento delle analisi di reflooding di un nocciolo degradato, vengono riportati e analizzati i risultati di studi effettuati con il codice ASTEC nell'ambito del Benchmark OECD/NEA/CSNI sull'impianto TMI-2, per diversi scenari di reflooding in condizioni di incidente severo.

### Tematica 2

Il codice TRANSURANUS, disponibile in ENEA, permette l'analisi termomeccanica del combustibile. Nella seconda annualità si procederà allo sviluppo di un nuovo modello per il calcolo della "plenum temperature" anche attraverso l'uso di metodi numerici da affiancare a modelli empirici già disponibili. L'attività ha l'obiettivo di introdurre all'interno del codice un nuovo modello per il calcolo della "plenum temperature", parametro di particolare importanza per l'analisi del comportamento termomeccanico della barretta di combustibile nel corso di un DBA. A sostegno dell'attività si propone l'impiego dei codici COMSOL e ABAQUS, entrambi disponibili in ENEA. In particolare lo studio prevede la verifica, la validazione del modello e del suo dominio di applicazione attraverso l'uso di dati sperimentali e di analisi numeriche effettuate, in particolare, con il codice COMSOL Multiphysics.

### Tematica 3

L'attività è finalizzata alla verifica dei progressi e dell'affidabilità di codici di calcolo attualmente impiegati nell'analisi di incidenti severi, relativamente agli aspetti di termoidraulica del circuito primario e degradazione in-vessel del nocciolo, attraverso il confronto dei risultati di calcoli per una sequenza incidentale severa rappresentativa. A tale scopo, in collaborazione con CIRTEN, verranno impiegati i codici di calcolo integrali ASTEC (UNIBO) e MELCOR (UNUPI).

Il reattore di riferimento è il PWR di 900 MWe di tipo TMI-2, già oggetto di verifiche nell'ambito di benchmark internazionali promossi dall'OECD/NEA/CSNI, e la sequenza incidentale studiata è uno Small Break LOCA con mancata attuazione dei sistemi di raffreddamento di emergenza. L'evoluzione dell'incidente verrà analizzata fino alla possibile rottura della parete del vessel.

### Risultati/Deliverable:

LP1.a3.1/3.2 Verifica e Sviluppo di Modelli di Calcolo per l'Analisi di Incidenti in Reattori Nucleari

LP1.a3.3 Rapporto sul confronto dei Risultati dei Calcoli di Una Sequenza Incidentale Severa di Riferimento su Reattore PWR da 900 MWe di Tipo TMI-2 eseguiti con i codici integrali ASTEC e MELCOR

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **a.4 Metodi per verifiche di sostenibilità**

In continuità con le attività dei precedenti Piani Triennali e della prima annualità del PT 2012-2014, proseguiranno le attività di sviluppo e monitoraggio di metodologie che interessano aree trasversali allo sviluppo di reattori di nuova generazione. Le due tematiche previste riguarderanno elementi essenziali e imprescindibili con riferimento alla sostenibilità delle attività nucleari nazionali residue, a valle della discontinuità del programma nucleare italiano:

1. Valutazioni di resistenza alla proliferazione e protezione fisica, security e interfaccia con la safety, sostenibilità del ciclo del combustibile
2. Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre iniziative internazionali sulla gestione dei rifiuti radioattivi

### Tematica 1

Continua la partecipazione ai gruppi di lavoro GIF Proliferation Resistance and Physical Protection (PR&PP-WG) e INPRO (collaborative project PROSA) e l'applicazione della metodologia GIF PR&PP a reattori di nuova generazione in collaborazione con il JAEA. Nel contesto NEA e IAEA, continuerà il contributo



all'approccio metodologico per valutazioni di sostenibilità del ciclo del combustibile e analisi di opzioni di cicli avanzati.

Le attività sulla nuclear security, inclusa la sua interfaccia con la safety, saranno improntate alle iniziative internazionali, in particolare IAEA, G8 e Nuclear Security Summit. Continueranno anche le attività, già iniziate nella precedente annualità, sull'interfaccia tra safety e security, con riferimento ai fattori scatenanti (sabotaggio o incidente) e conseguenze.

### Tematica 2

Nell'ambito degli organismi di settore (IAEA, OECD-NEA, EURATOM, ecc.) proseguirà la partecipazione a iniziative internazionali sulla gestione dei rifiuti radioattivi, in particolare a IGD-TP (Implementing Geological Disposal Technological Platform) e a OECD-NEA-RWMC (Radioactive Waste Management Committee). Le iniziative che in esse si sviluppano consentono tra l'altro la partecipazione attiva ad avanzati Progetti Europei di R&S insieme a qualificati partner europei.

### Risultati/Deliverable:

- LP1.a4.1 Rapporto sulla resistenza alla Proliferazione e Nuclear Security
- LP1.a4.2 Rapporto "La Piattaforma IGD-TP e altre iniziative internazionali sulla gestione dei rifiuti radioattivi"

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **b. Metodologie avanzate per la valutazione delle conseguenze incidentali**

### ***b.1. Sviluppo di una metodologia per valutazioni di sicurezza in condizioni incidentali o di pre-emergenza***

Le attività programmate nella seconda annualità si sviluppano su quattro tematiche:

1. Raccolta di coefficienti e parametri integrali per il calcolo rapido di termini sorgente a partire da inventari di nocciolo per LWR
2. Studio integrale di sequenzebdba su reattori del tipo PWR da 900 MWe
3. Verifica di fattibilità di una catena di calcolo "fast-running" e studi di "Sensitivity & Uncertainty" con l'uso del codice DAKOTA
4. Proseguimento dell'attività relativa alla realizzazione del database esperto.

### Tematica 1

Verrà presa in esame la letteratura open-source, prevalentemente di provenienza US-NRC, relativa ai coefficienti ed ai parametri integrali necessari alla stima rapida dei termini sorgente di incidenti severi per reattori di tipo PWR e BWR a combustibile UOX. Verranno in particolare analizzati i documenti NUREG-1228, NUREG-1465, NUREG/CR-4722, NUREG-1150, NUREG-75/014, NUREG-1935, NUREG/BR-0150. I coefficienti raccolti, tipicamente usati moltiplicativamente a convolvere l'inventario di nocciolo, saranno classificati in funzione del loro ruolo logico nel percorso ideale dal nocciolo all'atmosfera in due macro-blocchi distinti e consecutivi: 1) coefficienti e parametri per la stima del rilascio dal combustibile al contenimento primario, 2) coefficienti e parametri per la stima del rilascio dal contenimento primario all'atmosfera. Verranno presi in conto gli eventuali fenomeni e meccanismi di mitigazione ed attenuazione dei rilasci (spraying, pool scrubbing, filters, ecc.) ed il loro impatto su tali coefficienti. L'attività qua riassunta è la naturale prosecuzione di quella svolta nelle due precedenti annualità (inventari di nocciolo per le centrali frontaliere) 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.

### Tematica 2

L'attività svolta nella prima annualità del presente PAR ha consentito la messa a punto di un modello MELCOR di un tipico impianto nucleare PWR da 900 MWe la cui bontà è stata testata nei confronti di un

transitorio di SBO. Nell'ambito della seconda annualità tale modello potrà essere testato nei confronti di altri transitori che possono evolvere in incidenti severi, inoltre esso potrebbe essere considerato come base di partenza per lo sviluppo della nodalizzazione degli altri impianti frontali. Oltre alle dette attività di valutazione di risposta incidentale dei sistemi, si procederà alla individuazione degli indicatori critici per la esatta simulazione dei processi dispersivi di materiale radioattivo rilasciato a breve e medio raggio (fino a 500 km) e loro valutazione preliminare.

### Tematica 3

Come identificato nella precedente annualità del PAR, la quantificazione dell'incertezza dei calcoli è uno dei requisiti fondamentali della catena di calcolo "fast-running" per la gestione degli incidenti nucleari. La credibilità di ogni simulazione numerica è infatti strettamente legata alle attività di Verification & Validation (V&V) e di quantificazione dell'incertezze (UQ). Inoltre, opportune analisi di sensitività (SU) possono condurre, mediante l'individuazione di punti di biforcazione, all'identificazione di ulteriori scenari incidentali. Pertanto, lo scopo di questa tematica è quello di investigare le capacità del tool DAKOTA, sviluppato dai Sandia National Laboratories (USA), nell'effettuare UQ ed SU, anche sfruttando le capacità di calcolo parallelo attualmente disponibili in ENEA.

### Tematica 4

Prosegue l'attività per la realizzazione di un sistema integrato per il calcolo (sia in tempo reale che differito) e la conseguente messa a disposizione al personale interessato, dei termini sorgente riferiti ai reattori appartenenti alle centrali elettronucleari site a distanze non superiori ai 200 km dai confini nazionali.

In particolare, si propone il proseguimento delle seguenti attività:

- prima messa in opera di un database finalizzato a contenere i dati relativi agli inventari dei reattori prossimi ai confini italiani, così come ogni altra informazione riferita ai siti nucleari considerati, utile al calcolo dei termini sorgente dei reattori stessi;
- verifica di funzionamento dell'apposito software di gestione del database che, per mezzo di appropriati strumenti web, consenta l'aggiornamento dei dati e la loro visualizzazione, strutturati secondo criteri e formati opportuni;
- verifica di funzionamento di un'apposita interfaccia che consenta, in maniera trasparente all'utente, di trasferire i dati di inventario contenuti nel database agli appositi codici per il calcolo dei termini sorgente, di mandare in esecuzione i codici stessi (con o senza l'intervento dell'utente) e di memorizzare i dati relativi ai termini sorgente così calcolati;
- integrazioni al software di gestione in modo da poter selezionare, visualizzare, esportare e/o rendere disponibili ad altri codici (tipicamente i codici di trasporto e di calcolo dosi) i dati, opportunamente codificati, e relativi ai termini sorgente precedentemente memorizzati.

### Risultati/Deliverable:

- LP1.b.1.1 Coefficienti e parametri integrali per il calcolo rapido di termini sorgente a partire da inventari di nocciolo per PWR e BWR
- LP1.b.1.2 Nodalizzazione MELCOR per lo studio integrale di sequenze incidentali su reattori PWR da 900 MWe e valutazioni preliminari d'impatto a breve e medio raggio
- LP1.b.1.3 Verifica di fattibilità e quantificazione dell'incertezza dei calcoli in una catena di calcolo "Fast-Running" per la gestione degli incidenti nucleari
- LP1.b.1.4 Realizzazione di un data base esperto a supporto della gestione di una Situazione di Crisi – Fase 2

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## ***b.2 Applicazione di metodologia PSA e DSA del tipo "Risk-Informed" per la stima del rischio di eventi esterni***

L'incidente di Fukushima ha messo in evidenza alcune lacune nell'ambito degli studi finalizzati alla analisi di rischio degli impianti nucleari, come la analisi della combinazione degli eventi esterni come eventi iniziatori,

la valutazione del rischio relativa a siti con molte unità, l'esame di scenari incidentali che comportano la prestazione dei sistemi di sicurezza, ad esempio per lo smaltimento del calore residuo, per periodi di tempo prolungati.

L'attività proposta ha come obiettivi:

- Identificazione ed analisi degli specifici aspetti riguardo l'analisi probabilistica di sicurezza, come evidenziati dall'incidente di Fukushima.
- L'analisi viene corredata anche da alcuni esempi illustrativi, tesi alla implementazione dei relativi modelli nell'approccio probabilistico.
- Come parte degli studi di sicurezza orientati all'analisi "risk informed", vengono compiuti anche calcoli deterministici per valutare la risposta degli impianti relativamente ad esempio alla funzione di Contenimento, a fronte di determinate situazioni incidentali, come l'incidente prolungato di Station BlackOut.

Un modello di codice di contenimento verrà utilizzato per valutare la caratterizzazione della risposta dell'impianto (pressione, temperatura, tempistica) e per definire la sequenza incidentale. Tale analisi ha l'obiettivo di fornire informazioni per lo sviluppo di eventuali strategie, i tempi e le azioni alternative per la gestione dell'incidente o accident management.

Si procederà infine ad un'analisi di incertezze e sensibilità rispetto alle fenomenologie più significative per il fallimento del contenimento, in termini di:

- Identificazione dei parametri che più contribuiscono all'incidente e relativa analisi di sensibilità
- Quantificazione delle relative incertezze.

#### Risultati/Deliverable:

LP1.b2.1 Analisi di rischio di impianti nucleari a fronte di eventi esterni

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***b.3 Calcolo e valutazione della sequenza incidentale nell'Unità 1 della Centrale di Fukushima Dai-Ichi. Identificazione delle principali criticità per l'avvio di azioni di "Accident Management" con riferimento alle centrali prossime ai confini nazionali***

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

1. Analisi "best estimate" con RELAP5 della Sequenza Incidentale nell'unità 1 della centrale di Fukushima Dai-ichi
2. Realizzazione di un input-deck MELCOR per lo studio integrale di sequenzebdba su reattori BWR tipo MARK1.

#### Tematica 1

L'Unità 1 della centrale nucleare di Fukushima Dai-ichi, avendo perso immediatamente i sistemi di refrigerazione del core e del sistema di contenimento, ha subito un esteso danneggiamento che, secondo stime di diverse organizzazioni internazionali, ha comportato la fusione e rilocazione di buona parte del combustibile nucleare. Lo scopo di questa tematica è quello di simulare con il codice "best-estimate" RELAP5, accoppiato con il codice per gli incidenti severi SCDAP, l'evoluzione di tale incidente. Dopo aver modellato, in base alle informazioni attualmente disponibili, il reattore, il contenimento e la sequenza di eventi, si identificheranno le possibili modalità di danneggiamento del nocciolo, associando a ciascuna di esse una stima della quantità di combustibile rilocato. Lo studio includerà anche una serie di analisi di sensibilità (SU) delle operazioni eseguite/eseguibili dal personale, in modo da dimostrare le potenzialità del tool di simulazione nell'identificare i possibili scenari di gestione dell'incidente (AM).

#### Tematica 2

Scopo di questa tematica è sviluppare un modello di un reattore BWR di tipo MARK 1 (Fukushima Dai-ichi) con il codice MELCOR al fine di analizzare e caratterizzare, in modo integrale, i vari fenomeni che si evidenziano in tali reattori durante un incidente severo, che possono portare ad escursioni dei parametri di

impianto oltre i margini di progetto. Una tale situazione può causare, in condizioni estreme, la fusione del nocciolo del reattore che, nel caso aggravante di cedimento della struttura di contenimento, può portare al rilascio di contaminanti radioattivi nell'ambiente. Considerando la presenza di centrali nucleari ai confini del nostro Paese, alcune delle quali dotate di reattori del tipo BWR, appare importante operare analisi e simulazioni codicistiche per le più rilevanti sequenze incidentali gravi.

Dopo avere raccolto le informazioni disponibili in letteratura sul reattore di riferimento, si creerà l'input-deck MELCOR dell'impianto e si realizzerà un'interfaccia grafica per la visualizzazione dei principali parametri che caratterizzano il reattore in condizione di progetto e in condizioni transitorie. Una prima analisi di un transitorio del tipo BDBA "beyond design-basis accident", individuando le fenomenologie caratterizzanti la sequenza incidentale, verrà effettuata.

Le analisi consentiranno di giungere a prime valutazioni integrali qualitative e quantitative, basate su uno strumento computazionale qualificato a livello internazionale e in linea con il presente stato dell'arte. I risultati potranno essere di ausilio per una classificazione di rischio delle sequenze analizzate e per l'individuazione di opportune azioni di post-accident management. Non ultimo, si potranno ricavare valide indicazioni utili per gli addetti alla preparazione di eventuali piani di emergenza e di evacuazione.

#### Risultati/Deliverable:

LP1.B3.1/.2 Simulazione dell'incidente nell'Unità 1 della Centrale di Fukushima Dai-Ichi con Codici Integrali e Best-Estimate al fine di Identificare le più Efficaci Azioni di "Accident Management" in Riferimento alle Centrali con BWR prossime ai confini nazionali

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

### **c. Sperimentazione e calcolo in appoggio agli studi sulla sicurezza**

#### ***c.1 Studi relativi alla simulazione integrale di sistema presso gli Impianti SIET***

La disponibilità di attrezzature sperimentali è essenziale non solo per verificare la sicurezza nei reattori attuali, ma ancor più per confermare la validità dei principi su cui si basa il progetto di sicurezza dei reattori innovativi. Pertanto tali attrezzature devono essere mantenute e potenziate per conseguire gli obiettivi del programma triennale di ricerca. Inoltre deve essere preservata la capacità di progettazione ed interpretazione di campagne sperimentali attraverso l'utilizzo degli strumenti numerici più idonei.

Il programma di attività per la presente annualità è suddiviso in tre tematiche:

1. Analisi di fattibilità e costi di una nuova configurazione della facility SPES3
2. Studio per la sperimentazione di un sistema per la rimozione del calore residuo in LFR
3. Validazione e verifica (V&V) di CATHARE2 e TRACE sul programma sperimentale SPES2

#### Tematica 1

In questa tematica si operano studi per valutare la possibilità di completare la costruzione della facility sperimentale SPES3 (simulatore integrale di SMR), parzialmente realizzata presso i laboratori SIET di Piacenza. Nella precedente annualità del PAR si è iniziato uno studio di fattibilità di una configurazione della facility SPES3 che prevedeva l'utilizzo combinato di componenti esistenti delle facility SPES-2 e SPES-3. A tale scopo sono state realizzate delle simulazioni preliminari i cui risultati sono stati promettenti nel confermare la rappresentatività rispetto a fenomenologie di interesse per i reattori innovativi. L'utilizzo di componenti preesistenti (canale di potenza e pompe dell'impianto SPES2) richiede delle modifiche al design originale di SPES3 la cui fattibilità deve essere valutata dal progettista (SIET) che dovrà inoltre valutare in dettaglio i costi ed i tempi di realizzazione di queste modifiche.

L'attività che si propone per la seconda annualità riguarda quindi l'approfondimento degli studi effettuati fino ad ora, considerando ad esempio la possibilità di: abbassare la quota del canale di potenza, allargare le valvole di bypass del core, caratterizzare le pompe di SPES-2 nella configurazione parallela e realizzare le connessioni fisiche proposte tra componenti SPES-3 e SPES-2.

## Tematica 2

In questa tematica si analizza la possibilità di rimuovere il calore di decadimento nei reattori refrigerati a piombo, attualmente in fase progettuale, tramite l'utilizzo di un sistema di tipo passivo basato sul fenomeno della condensazione del vapore all'interno dei tubi di uno scambiatore immerso in una piscina di acqua fredda. In tale ambito, una delle maggiori problematiche da affrontare è la regolazione delle performance dello scambiatore per impedire che, in determinate condizioni di esercizio, il metallo liquido venga eccessivamente raffreddato con rischio di solidificazione. La riduzione della potenza termica rimossa per degrado del coefficiente di scambio termico nei tubi tramite iniezione di incondensabile è una delle soluzioni in esame, che però necessita di conferma sperimentale. La SIET, che nel passato ha acquisito una notevole esperienza sulla sperimentazione di questo tipo di sistemi passivi (qualificazione del prototipo di IC per reattore SBWR e sviluppo del sistema innovativo PERSEO), ha impianti che potrebbero essere adattati e rimessi in esercizio a questo scopo. Nella corrente annualità si rende pertanto necessario uno studio di fattibilità tecnica integrato da valutazioni economiche relative a tempi e costi dell'attività sperimentale.

## Tematica 3

Proseguono le attività di validazione - verifica (V&V) dei codici termo-idraulici di sistema per lo studio di fenomenologie rilevanti per il progetto della sicurezza nei sistemi innovativi, in genere dotati di sistemi di sicurezza di tipo passivo. Tali sistemi, anche alla luce dell'evento di Fukushima, rivestono un ruolo di forte interesse internazionale. L'attività qui proposta riguarda la validazione dei codici di calcolo TRACE e CATHARE2, e potrà essere considerata molto utile nei relativi programmi internazionali di validazione (rispettivamente CAMP e CATHARE User Club). Per lo svolgimento di tale attività, si potranno utilizzare dati ottenuti da prove sperimentali condotte nel passato, quindi già disponibili, sulla facility SPES2 (simulatore integrale dell'impianto AP600). La V&V dei codici utilizzerà un approccio di confronto code-to-code e code-to-data compatibile con i vincoli di proprietà dei dati sperimentali.

### Risultati/Deliverable:

- LP1.c1.1      Analisi di fattibilità e costi di una nuova configurazione della Facility SPES3
- LP1.c1.2      Studio per la sperimentazione di un sistema per la rimozione del calore residuo in LFR
- LP1.c1.3      Validazione e Verifica di CATHARE2 e TRACE sul Programma sperimentale SPES2

Principali collaborazioni: CIRTEN, SIET

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

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

L'attività proposta per il presente PAR tiene conto dei risultati raggiunti nel corso del PAR precedente, che da una parte hanno mostrato i limiti ancora presenti nella strumentazione sviluppata per la misura della portata bifase, mentre dall'altra hanno mostrato la capacità dei modelli empirici e dei codici CFD nello studio di fenomenologie di interesse per componenti innovativi come gli scambiatori a tubi elicoidali ed il fondo vessel-downcomer di reattori integrati.

La task si sviluppa secondo le tre tematiche seguenti:

1. Analisi dei dati sperimentali disponibili dello Spool Piece per stimare e ridurre l'incertezza sulla misura della portata (SIET)
2. Modellazione di uno Spool Piece per la stima dei parametri caratteristici dei deflussi bifase
3. Analisi comparata delle prestazioni di scambiatori di calore/generatori di vapore compatti per la rimozione della potenza in modo passivo

## Tematica 1

Riguardo alla strumentazione per la misura della portata massica bifase, due diverse configurazioni di Spool Piece (SP) basate sulla Sonda Capacitiva (SC) sviluppata da SIET hanno entrambe presentato dei problemi, in particolare nella messa a punto di un modello teorico per l'interpretazione dei segnali elettrici. Nel corso della presente annualità SIET (SP composto da SC, Drag Disk e Vortex) realizzerà un'analisi approfondita dei

dati acquisiti nelle campagne sperimentali effettuate e delle problematiche emerse, definendo i limiti di utilizzo dello SP, stimando chiaramente le incertezze sulla misura di portata massica e traendo indicazione per l'ottimizzazione della sonda che permettano una riduzione delle incertezze ed un ampliamento della zona di impiego.

### Tematica 2

In parallelo ed in collaborazione con SIET, CIRTEN svilupperà un modello empirico della sonda che permetta di ricavare in maniera univoca e con incertezza nota il grado di vuoto e la distribuzioni delle fasi nel condotto in cui è posta la sonda. Una ulteriore campagna sperimentale, riguardante lo SP composto da venturi e sonda capacitiva, verrà effettuata in configurazione orizzontale al fine di caratterizzare il comportamento degli strumenti in deflusso orizzontale e confrontare i risultati sia con quelli ottenuti da SIET con la sonda "a caldo" sia con quelli ottenuti con lo SP in configurazione verticale.

### Tematica 3

Per i requisiti di sicurezza e sostenibilità dei reattori innovativi di IV generazione è di grande interesse lo sviluppo di sistemi per la rimozione del calore di tipo compatto e passivo (convenzione naturale) che svolgano correttamente la loro funzione sia in condizioni di normale esercizio che in condizioni incidentali. Sulla linea degli studi effettuati negli anni scorsi sui Generatori di Vapore a tubi elicoidali verranno presi in considerazione scambiatori di calore/generatori di vapore di diversa tipologia (a baionetta, a spirale, a piastre) effettuando un'analisi ed un confronto delle loro potenzialità in termini di rimozione di potenza alle diverse condizioni. In parallelo, si definirà un'attività sperimentale che, su modelli scala, permetta di valutare l'influenza dei vari parametri di progetto (velocità e direzione del fluido, diametri e curvature delle tubazioni) sull'efficacia dello scambio termico.

### Risultati/Deliverable

- LP1.c2.1 Analisi dei dati sperimentali disponibili dello spool piece per stimare e ridurre l'incertezza sulla misura della portata
- Lp1.c2.2 Modellazione di uno spool piece per la stima dei parametri caratteristici dei deflussi bifase
- Lp1.c2.3 Analisi comparata delle prestazioni di scambiatori di calore/generatori di vapore compatti per la rimozione della potenza in modo passivo

Principali collaborazioni: CIRTEN, SIET

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **d. Comunicazione e diffusione dei risultati**

La comunicazione e diffusione dei principali risultati avverrà attraverso pubblicazioni su riviste scientifiche di settore e la partecipazione a convegni nazionali ed internazionali. In particolare l'ENEA organizzerà due eventi: un workshop aperto alle università, all'industria e ad altri centri di ricerca nazionale, dal titolo "Sviluppo di Competenze Scientifiche nel Campo della Sicurezza Nucleare: stato attuale e prospettive" e un seminario, con il coinvolgimento di personale ENEA e di colleghi di laboratori francesi dell'IRSN di Cadarache e Fontenay-aux-Roses, dal titolo "Nuclear and Radiological Emergency Response & Preparedness".

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 previsto in quella finale. Il seminario internazionale verterà su tematiche rivolte agli aspetti di analisi incidentale, post-processing e produzione di informazioni di utilità per il personale chiamato all'attuazione dei piani d'emergenza, visto che la Francia è la nazione con più reattori localizzati in prossimità del territorio italiano.

### Risultati/Deliverable

- LP1.d Raccolta e diffusione delle presentazioni fatte durante il Workshop "Sviluppo di Competenze Scientifiche nel Campo della Sicurezza Nucleare: stato attuale e prospettive"

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

Nell'ambito delle attività per il nucleare di IV generazione le attività sono focalizzate sulla tecnologia dei reattori a piombo.

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, e impianti (LECOR, GIORDI) per prove materiali in piombo.

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.

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-Lead), deve rispondere ai tre requisiti fondamentali di sicurezza, sostenibilità ed economicità affinché esso possa essere accettato ed attuato. Verrà valutata la possibilità di utilizzare il reattore TAPIRO per esperienze di trasporto neutronico in sistemi a piombo a potenza zero. 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 di sistema***

Proseguendo gli studi di sostenibilità sui sistemi nucleari refrigerati a piombo, LFR e SMR di IV generazione, saranno analizzate diverse strategie nei processi di separazione e di trasmutazione degli attinidi per ottenere la chiusura del ciclo del combustibile, attraverso l'utilizzo ottimale delle risorse naturali e la minimizzazione dei rifiuti radioattivi da disporre nel deposito geologico.

In particolare saranno valutate le differenze in termini tecnici ed economici tra l'impiego di soli LFR e di LFR abbinati a sistemi sottocritici tipo ADS (Accelerator Driven System).

Saranno inoltre analizzate, in via preliminare, configurazioni del nucleo del reattore che soddisfano criteri di maggiore sicurezza contro la proliferazione. Queste sono caratterizzate da intervalli di sostituzione del combustibile molto più lunghi (> 5 anni) rispetto a quelli adottati nelle soluzioni tradizionali (sostituzione di un terzo del combustibile e riallocazione della restante parte con periodicità tipica di dodici/diciotto mesi).

Saranno infine effettuate simulazioni neutroniche volte a valutare l'efficacia delle diverse strategie di gestione del combustibile, confrontandole in termini di sostenibilità ambientale, livello della sicurezza ed efficienza del sistema.

Inoltre si avvieranno analisi economiche relative al DEMO-LFR ALFRED. Infatti, passo fondamentale verso la realizzazione di questa macchina è una prima stima dei costi che è influenzata da numerose potenziali incertezze per i seguenti motivi:

- la scarsa esperienza maturata nella costruzione di oggetti simili;
- la difficoltà nell'individuare la durata della costruzione;
- una serie di componenti innovativi anche in ambito nucleare;
- la continua oscillazione dei prezzi delle materie prime;
- una ancora incompleta analisi degli scenari incidentali e dei conseguenti sistemi di sicurezza necessari.

Pertanto un primo lavoro di valutazione dell'impegno economico necessario è di primaria importanza e rappresenta una tappa ineludibile nello sviluppo del progetto.

Un'analisi sarà effettuata con un approccio bottom-up, cercando di individuare il costo per la realizzazione dei principali componenti che, in analogia con i reattori tradizionali, rappresentano una cospicua parte dell'investimento. Una seconda valutazione comprenderà una stima del costo *overnight* della realizzazione del reattore ed in fine verranno integrate anche valutazioni finanziarie, con una ipotesi di tempi di realizzazione, finalizzate alla individuazione del Levelized Cost of Energy (LCOE).

#### Risultati/Deliverable:

- LP2a1\_a Studi di sostenibilità volti a massimizzare l'utilizzo del combustibile e a minimizzare le scorie nucleari con i sistemi veloci refrigerati a piombo
- LP2.a1\_b Studi e valutazioni del costo del DEMO LFR ALFRED.

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **a.2 Progettazione nocciolo LFR**

In armonia con la European Strategic Energy Technology Plan (SET-PLAN), a livello europeo è attualmente prevista la realizzazione di due progetti di reattori veloci raffreddati a piombo (Lead Fast Reactors, LFR), entrambi in ottica GEN IV: ALFRED e MYRRHA.

Mentre per ALFRED è prevista l'operazione unicamente in configurazione critica, per MYRRHA sono previste entrambe le modalità di operazione in configurazioni critica e sottocritica. In particolare, la modalità sottocritica prevede la messa a punto di metodologie sperimentali affidabili per il monitoraggio del livello di sottocriticità durante il funzionamento dell'impianto.

In parallelo, e ciò vale sia per ALFRED che per MYRRHA, occorre approfondire sia a livello sperimentale sia a livello di metodologie di calcolo, ivi inclusi i dati nucleari di base, lo stato di conoscenza del comportamento neutronico di sistemi moltiplicanti in matrice di piombo.

In tale ambito saranno implementate esperienze di trasporto neutronico e studi spettrali rappresentativi dei reattori LFR. In particolare, si completerà la calibrazione del modello neutronico del reattore TAPIRO (sviluppato nel PAR 2011 con il codice MCNPX) con le misure di tassi di fissione (camere a fissione) lungo traverse nel vano di irraggiamento "colonna termica", e si provvederà alla progettazione, mediante l'uso del modello neutronico calibrato, di una facility di propagazione neutronica in piombo. Su tale facility potranno essere condotte esperienze di trasporto neutronico e studi spettrali rappresentativi dei reattori LFR. Al fine di garantire la rappresentatività delle esperienze eseguibili sulla facility di cui sopra, la sorgente neutronica definita con il codice MCNPX sul lato della colonna termica sarà utilizzata dal codice ERANOS per la valutazione dei coefficienti di correlazione necessari alla stima delle quantità integrali del reattore di riferimento, aggiustandone i valori calcolati, in modo da eseguire una corretta valutazione dell'incertezza che ad esse va associata.

In parallelo, considerando che uno dei problemi connessi con il funzionamento dei reattori subcritici (ADS) è rappresentato dalla capacità di valutare con sufficiente precisione e in condizioni di sicurezza il loro livello di sottocriticità durante il funzionamento, saranno realizzati studi con la metodologia GPT in supporto alla caratterizzazione di tali incertezze. La metodologia GPT, che si avvale del concetto di reattività generalizzata applicata ai sistemi sottocritici, permette un approccio specifico a questo problema. Il livello di sottocriticità



può essere misurato attraverso delle manovre compensative tra barre di regolazione e intensità della sorgente neutronica mantenendo potenza di esercizio praticamente inalterata. Oggetto dell'attività è la definizione di un'esperienza sul reattore TAPIRO atta a verificare tale metodologia.

Relativamente alle attività di sviluppo del codice deterministico ERANOS, dopo una prima fase (conclusa) di lavoro di validazione e benchmarking del codice ERANOS in rapporto alla metodologia GPT per il calcolo dei rapporti di tassi di reazione e dei coefficienti di reattività, si intende ora implementare la stessa metodologia nel campo non-lineare neutroni/nuclidi al fine di potere effettuare studi di sensibilità relativi all'evoluzione dei nuclidi durante la vita del nocciolo in reattori sia critici che sottocritici. La suddetta implementazione consentirà di disporre di un metodo per analisi dettagliate relative a grandezze d'interesse per la vita dei reattori in rapporto ai parametri fisici e di progetto ma anche per valutare le incertezze dei parametri fisici sul calcolo delle quantità integrali relative al sistema in esame.

Per quanto riguarda gli studi relativi al progetto del nocciolo LFR, gli studi condotti in ambito europeo hanno consentito la definizione della configurazione tanto del reattore industriale di riferimento ELFR (European Lead-cooled Fast Reactor), quanto del suo dimostratore ALFRED, nonché la stesura di una roadmap per la prospezione temporale dello sviluppo della filiera LFR per successive fasi di maturazione della tecnologia correlata.

Specificamente al nocciolo, conclusa la fase di progettazione preliminare, alcune attività si rendono necessarie per l'avanzamento del progetto verso la successiva fase di dettaglio, rappresentando inoltre uno dei contributi del sistema italiano al costituendo Consorzio Internazionale.

Infatti, conclusa la fase di progettazione preliminare del nocciolo di ALFRED ed ultimate le analisi di sicurezza sulla configurazione proposta, emerge la necessità di avanzare lo studio, affinando il progetto attraverso l'ottimizzazione di alcuni dettagli della configurazione esistente per i quali sono state poste in luce criticità puntuali.

In primis, il design dell'elemento di combustibile sarà rianalizzato in dettaglio: partendo dalla verifica e - possibilmente - la validazione dei risultati preliminari di termoidraulica ottenuti tramite il codice di sottocanale ANTEO per gli elementi più sollecitati, dai quali era emersa l'evidenza di alcune macchie calde, si procederà con lo studio di alcune soluzioni che permettano di rispettare i limiti sulle temperature di esercizio. In parallelo, l'attuale progetto del riflettore/schermo posto intorno al nocciolo sarà riconsiderato, valutando modifiche geometriche e/o materiali che consentano di ottenere le performance desiderate, anche alla luce della possibilità di una estensione o contrazione della regione attiva del nocciolo per incertezze sulla massa critica.

A complemento dell'affinamento del progetto di nocciolo di ALFRED, saranno condotti studi relativi alla strumentazione "stato dell'arte" di rivelazione neutronica attualmente disponibili, e sull'integrazione di una rete di rivelatori all'interno od in prossimità del nocciolo di ALFRED, verificandone - per mezzo di dettagliate simulazioni neutroniche - l'efficacia di monitoraggio del livello e della distribuzione spaziale del flusso neutronico in tutte le condizioni operative dell'impianto, congruentemente alle esigenze di controllo previste per il reattore. In parallelo sarà effettuata la progettazione concettuale di un sistema che consenta, in caso di fessurazione di una barretta di combustibile, di identificare l'elemento cui la barretta fessurata appartiene, così da consentire un più rapido intervento correttivo, mirato. Il sistema si basa sull'uso di un'opportuna miscela di gas marcatori inseriti all'interno degli elementi in fase di fabbricazione. Il concetto, inizialmente sviluppato con riferimento specifico al caso del reattore PRISM, sarà qui ripreso e riadattato alle specificità del reattore ALFRED.

#### Risultati/Deliverable:

- LP2.a2\_a Neutronic design and characterization of a facility, to be hosted in the thermal column of the TAPIRO reactor, representative of LFR neutron propagation characteristics in lead media
- LP2.a2\_b Definizione di una esperienza per la verifica della attitudine della metodologia GPT al calcolo del livello di sottocriticità di un reattore
- LP2.a2\_c Implementazione della metodologia GPT in campo non lineare
- LP2.a2\_d Ottimizzazione del progetto di nocciolo di ALFRED
- LP2.a2\_e Studi preliminari di tecniche efficaci di monitoraggio del nocciolo di ALFRED

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **a.3 Analisi di sicurezza**

Lo sviluppo di strumenti di simulazione ingegneristica e di sistemi di strumentazione e controllo specialistici rappresenta un prerequisito necessario nella progettazione di un reattore innovativo.

Per quanto riguarda i sistemi di strumentazione e controllo (I&C), data la vastità del campo, ci si dovrà necessariamente ricondurre a una duplice indagine: sul piano generale, approfondendo le problematiche emerse in sistemi I&C di reattori assimilabili a quello in corso di studio e valutando l'applicazione delle soluzioni proposte al caso in oggetto; sul piano specifico, investigando aspetti già individuati come critici per lo sviluppo di un reattore al piombo e proponendo soluzioni innovative.

Su questa duplice linea si muovono le due attività di seguito proposte.

L'attività prevede quindi, in continuità con il PAR 2012, uno studio di fattibilità preliminare per la realizzazione del sistema di misura "in-core" per la mappatura del flusso neutronico e la conseguente analisi dell'interfaccia di tale sistema di misura. In particolare, tale studio prenderà in considerazione i seguenti argomenti:

- determinazione delle condizioni ambientali (temperatura, pressione) e di flusso neutronico nelle diverse condizioni di esercizio di un nocciolo LFR di riferimento;
- elaborazione della struttura di massima di un insieme di sonde neutroniche adatte per le varie fasi di funzionamento del nocciolo LFR, in particolare per le condizioni di "start-up", "intermediate range", "power range". Tale attività sarà condotta tramite simulazioni con il codice di trasporto MCNPX, eseguendo uno studio sistematico di diversi sistemi di rivelazione.

L'obiettivo che s'intende raggiungere è la definizione delle caratteristiche di un prototipo di misura neutronica del flusso di reattori LFR in previsione della sua sperimentazione sul reattore TAPIRO.

In continuità con il PAR 2012, in cui si è realizzata una progettazione di massima di una piattaforma di simulazione per reattori Gen IV, si propone di sviluppare la progettazione di dettaglio della Piattaforma e di iniziare la integrazione tra i modelli software già disponibili.

Sarà approfondita la possibilità di una architettura disaggregata basata sull'utilizzo di computer in diverse locazioni, tra cui super-computer per calcolo parallelo (es. CRESCO di ENEA). Tale soluzione si rende necessaria alla luce delle linee di tendenza per la simulazione sia dei processi fisici dentro il sistema reattore (es. utilizzo di modelli CFD per fenomeni complessi tridimensionali nel refrigerante) che dei processi esterni all'isola nucleare (eventi estremi naturali) aventi però rilevanza sia sul progetto che sulla verifica di sicurezza dei nuovi reattori Gen IV. I "nuovi modelli software post Fukushima" da inserire nelle future piattaforme di simulazione ingegneristica sono caratterizzati da elevati consumi di CPU e saranno normalmente parallelizzati. Analoga osservazione vale per i modelli avanzati (più accurati e affidabili) di dispersione in aria degli inquinanti anche radioattivi, utilizzabili in piattaforme di simulazione sia per analizzare eventi incidentali in fase di progetto e di safety analysis, che per la conduzione di attività di "Response" ad eventi incidentali. In tale contesto di progettazione integrata e dettagliata verranno trovate e descritte soluzioni simulative sia per le parti centrali dell'impianto (vessel, nocciolo, generatori di vapore...) che per quei sistemi al contorno (ausiliari, secondario, generatore, sistemi di sicurezza) la cui definizione di dettaglio spesso segue la progettazione di massima di un nuovo reattore nucleare.

Particolare attenzione verrà data all'area modellistica di simulazione del lato primario del vessel di ALFRED per la quale andrà approfondita la possibilità di utilizzare codici CFD sia in modalità off line (ad es. per ricavare coefficienti da inserire in codici di sistema quali Relap5) che in modalità on line (ovvero dialoganti con il resto della piattaforma). Oltre al sistema primario, le altre parti di impianto "allargato" per le quali verranno cercate e descritte soluzioni modellistiche sono: sistemi ausiliari e di emergenza, sistema secondario (acqua), sistemi elettrici, sistemi I&C, sistema di contenimento, eventi esterni e loro interazioni con l'impianto, dispersione rilasci e dosi alla popolazione.

Alla luce delle esigenze di fruibilità emerse nel corso del PAR 2012 la ricerca punterà anche alla individuazione (per ognuna delle aree di simulazione necessarie alla piattaforma) di una soluzione sofisticata ed una alternativa "fast running". Ciò consentirà alla costituenda piattaforma di essere utilizzata

con un focus di dettaglio variabile, in funzione delle esigenze dei vari utenti. In altri termini l'utente interessato ad una particolare sezione dell'impianto (per fini progettuali o di verifica di sicurezza) potrà utilizzare il necessario strumento di dettaglio mentre il resto della piattaforma potrà fare affidamento sulle versioni "veloci" dei vari moduli.

Alla luce degli obiettivi strategici del progetto, e tenuto conto delle complessità tecnico scientifiche, saranno quindi implementate le seguenti attività:

- sviluppo modellistica/nodalizzazioni (mediante uso codici disponibili) relativamente alle parti 'centrali' del progetto ALFRED (Sistema Primario, Sistema Secondario, Sistemi ausiliari rappresentabili con tale codice, Sistemi di emergenza quale il DHR) ed esecuzione di relativi casi di prova. Tale attività includerà l'acquisizione di un software di interfaccia grafica per il RELAP 5. Il risultato sarà un primo "nucleo" di piattaforma di simulazione comprendente le parti di impianto a maggiore priorità;
- ricerca bibliografica di soluzioni modellistiche disponibili (o in sviluppo) a livello internazionale nei settori degli incidenti severi, degli eventi naturali estremi, dei modelli di impatto su ambiente e popolazione ad alta affidabilità (approfondimento necessario sui moduli di simulazione a più bassa priorità ma ad alto significato strategico);
- analisi dettagliata dei possibili utilizzi di sistemi HPC per almeno tre aree di modellistica previste nella piattaforma : codici CFD per primario in Pb, codici di dispersione ad alta risoluzione, codici per eventi naturali estremi. Il risultato permetterà di produrre una architettura dettagliata della Piattaforma che copra con adeguata informazione tutti i moduli di processo previsti, e consenta ulteriori implementazioni nell'anno 2015;
- approfondimento degli aspetti Informatici e di Controllo, includendo la progettazione di massima : a) del sistema di gestione della piattaforma (denominato Sim.exe), b) delle interfacce uomo macchina (HMI), c) della simulazione dei sistemi di I&C.

Per quanto concerne il supporto alla progettazione del combustibile nucleare per reattori veloci, l'attività avrà l'obiettivo di sviluppo e validazione del codice di fuel pin performance TRANSURANUS per l'analisi dei reattori veloci a piombo.

Il lavoro prevede una revisione critica dei principali modelli fenomenologici per il termovettore (piombo), il materiale di guaina (acciaio austenitico AIM1 della classe Ti-15-15) e il combustibile (MOX). In particolare, sulla base dei dati sperimentali disponibili in letteratura, si intende:

- fare una revisione critica delle correlazioni attualmente disponibili nel codice TRANSURANUS per i suddetti materiali;
- mettere a punto correlazioni specifiche per la modellazione dell'acciaio di guaina AIM1, focalizzando l'attenzione sulle problematiche relative allo swelling, allo scorrimento viscoso e ai tempi di rottura per interazione meccanica guaina-combustibile (aspetto cruciale, attualmente assente in TRANSURANUS);
- realizzare una versione estesa di TRANSURANUS, adatta per le analisi delle barrette di combustibile per reattori veloci a piombo.

Nell'ambito del PAR 2012 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<sup>®</sup>) del reattore di ricerca EBR-II refrigerato a sodio ed è stato messo a punto un modello calcolo Monte Carlo (MCNP), qualificato nell'ambito di un'attività NEA, che ha consentito di calcolare parametri nucleari e distribuzione di potenza.

Relativamente all'analisi numerica di scenari operativi e incidentali, l'attività tecnica consiste nella messa a punto, nell'applicazione e nella validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione. L'attività, di lungo respiro, è multi-physics e multi-scale e trarrà beneficio dalla disponibilità di dati sperimentali misurati in reattore durante l'esecuzione di test sperimentali: protected (SHRT-17) ed unprotected (SHRT-45r) loss of flow.

L'attività nel suo complesso richiederà uno sforzo sinergico di differenti competenze tecniche, dalla fisica del reattore, alla termoidraulica di sistema, alla fluidodinamica computazionale, alla termomeccanica del fuel. Partendo da quanto svolto nell'ambito del PAR 2012, ci si propone di proseguire l'attività secondo il seguente schema logico.

- Si effettuerà l'implementazione del modello geometrico e della composizione strutturale del nocciolo del reattore EBR-II mediante un codice di neutronica, eventualmente confrontando un duplice approccio modellistico. Un'analisi deterministica mediante il codice ERANOS 2.1, riferimento europeo per la reattoristica veloce, sarà avvalorata da un confronto secondo le metodologie di un codice Monte Carlo. Si calolerà il fattore di moltiplicazione, la frazione dei neutroni ritardati, la distribuzione di potenza e i coefficienti di reattività attraverso l'uso dei codici di calcolo deterministici e Monte Carlo, per il reattore EBR-II nelle configurazioni di interesse. I risultati ottenuti potranno essere qualificati a fronte dei dati disponibili (code to data e code to code benchmark).
- Il modello RELAP5-3D<sup>®</sup> sviluppato sarà completato attraverso l'implementazione della cinetica neutronica puntuale e qualificato in stazionario. Successivamente sarà applicato alla simulazione dei transitori di reattore SHRT-17 e SHRT-45r, e quindi qualificato a fronte dei dati sperimentali.
- Il modello termoidraulico RELAP5-3D<sup>®</sup> sarà accoppiato con un codice di cinetica neutronica 3D (es. PHYSICS). I risultati di questo accoppiamento saranno verificati attraverso la simulazione dei test SHRT-17 e SHRT-45r. I risultati ottenuti saranno confrontati con quelli ottenuti con la cinetica 0D e con i dati sperimentali disponibili.
- Visto il livello di dettaglio della strumentazione nelle assembly sperimentali XX09 e XX10, installate nel driver del reattore, sarà realizzato un modello CFD per condurre uno studio numerico di dettaglio dell'assembly, partendo dalle condizioni al contorno fornite dalla termoidraulica e dalla neutronica. Il modello include in principio la conduzione nelle guaine e nel filo, la convezione nel refrigerante, la conduzione nella scatola esagonale ed il bypass flow.

Relativamente agli studi di core-compaction avviati nel PAR 2012, 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.

In questa seconda fase si continuerà con:

- miglioramento dei modelli numerici sviluppati nel corso del CERSE 6 tale da rappresentare con maggior dettaglio i fenomeni idrodinamici e di interazione fluido-struttura (FSI) che influenzano la propagazione dei carichi dinamici;
- l'analisi dinamico-strutturale di modelli geometricamente complessi;
- l'analisi di dettaglio della sola "core region", anche prendendo in considerazione una configurazione deformata, i cui risultati dovrebbero permettere l'identificazione della porzione di core deformato (% di flow blockage) e la verifica dell'integrità del combustibile.

Tale attività saranno propedeutiche a un'attività sperimentale (da svolgere nel PT 2012-2014) 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.

Nell'ambito delle analisi di sicurezza dei reattori veloci, viene inoltre approfondito il tema del flow-blockage in elementi di combustibile per reattori refrigerati a piombo (LFR).

Nell'ambito del precedente PAR, è stata già messa a punto una metodologia di analisi numerica attraverso la fluidodinamica computazionale (CFD) sul flow-blockage in elementi di combustibile (FA) refrigerati a metallo liquido pesante in ambito tecnologia LFR. L'elemento esagonale chiuso del progetto di dimostratore ALFRED è stato preso in esame per lo studio. Il modello CFD presenta un elevato livello di dettaglio ed include le diverse regioni del FA. Sono state modellate tutte le pin del FA senza particolari piani di simmetria, cosa che consente di studiare situazioni di blockage non-simmetrico, nonché di tener conto correttamente dei flussi trasversali di massa, quantità di moto ed energia tra tutti i sottocanali del FA. I risultati sono in linea con le aspettative e sono oggetto di pubblicazione in riviste internazionali.

Le analisi suddette, pur essendo molto dettagliate ed accurate sul piano geometrico e termo-fluidodinamico, presentano il limite di non tenere conto della retroazione neutronica locale dovuta al riscaldamento anomalo nei sottocanali bloccati. Per tener conto di questo effetto e nella direzione di sviluppo di una metodologia integrata CFD-neutronica per l'analisi dei fenomeni termoidraulici di dettaglio

del core LFR, nel presente anno si svilupperà un accoppiamento della CFD (ANSYS CFX) con un codice di neutronica. Per ragioni di efficienza di calcolo si opta per il codice deterministico di trasporto ERANOS che è già stato acquisito ed utilizzato in ENEA.

In seconda battuta, ci si riserva di investigare la possibilità di implementare il trasporto di scalari dentro il codice di fluidodinamica CFX per modellare e risolvere le equazioni multi-gruppo della diffusione neutronica. Questa metodologia innovativa avrebbe il vantaggio di risolvere la fluidodinamica e la neutronica sullo stesso dominio e sulla stessa mesh di calcolo e con la stessa risoluzione temporale in un framework di accoppiamento pieno, evitando errori di interpolazione dovuto al up/down-scaling dell'informazione.

#### Risultati/Deliverable:

- LP2.a3\_a Studio di fattibilità di sonde per la misura dei flussi neutronici di un reattore LFR. Concettualizzazione di test sperimentali preliminari sul reattore TAPIRO. Valutazioni sull'interfaccia uomo macchina e sulla gestione dei flussi di controllo
- LP2.A3\_b Rapporto sullo sviluppo e l'utilizzo di moduli "RELAP based" per la descrizione della parte centrale di impianto GEN IV refrigerato a Pb
- LP2.A3\_c Rapporto sulla architettura dettagliata ed i componenti di una piattaforma di simulazione ingegneristica del reattore al Piombo ALFRED da utilizzare per lo sviluppo del progetto di sistema e di componenti, e la conduzione di verifiche di sicurezza integrali e/o focalizzate su specifiche parti di impianto
- LP2.A3\_d Modellazione e analisi del comportamento integrale di barretta di combustibile per il progetto di reattori a piombo innovativi
- LP2.A3\_e Sviluppo e validazione di un approccio e di modelli per analisi di sicurezza di reattori veloci di IV generazione
- LP2.A3\_f Valutazione degli effetti dinamico-strutturali indotti dal fenomeno del "core compaction"
- LP2.A3\_g Analisi numerica dei fenomeni di flow-blockage nel DEMO ALFRED

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

#### **a.4 Rilascio e migrazione dei prodotti di fissione**

A seguito di un scenario incidentale 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 2012, 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 UO<sub>2</sub> - con il refrigerante in un reattore a piombo. 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).

Contemporaneamente proseguiranno gli studi condotti nei precedenti PAR 2011 e PAR 2012 relativi alla determinazione della composizione del sistema Pb-UO<sub>2</sub> e Pb-MOX all'equilibrio termodinamico. Tali studi prenderanno in considerazione un sistema sempre più rappresentativo del problema in esame, tenendo presente la formazione nel MOX dei principali prodotti di fissione, ed anche l'eventuale coinvolgimento della guaina. A tal fine l'attività si focalizzerà principalmente sulla valutazione dei dati termodinamici non disponibili attraverso metodi semiempirici o alternativamente attraverso codici di simulazione basati su metodi ab initio.

Particolare importanza riveste, nell'ambito del medesimo tema, le interazioni tra il refrigerante e i prodotti di fissione volatili, sempre a seguito di situazioni incidentali. In particolare vanno prese in considerazione sostanze quali cesio, iodio, antimonio, 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 2012, nell'ambito del quale è stato completato l'allestimento dell'impianto OGATA (Off-GAs

Treatment Apparatus) e sono state effettuate prove sperimentali sul cesio volatile, saranno effettuati esperimenti utilizzando, come sostanze volatili, antimonio e iodio, al fine di stabilire l'entità dell'interazione con il piombo, nonché le metodiche per l'"intrappolamento" dei suddetti elementi. Contemporaneamente saranno effettuati studi atti ad evidenziare le caratteristiche della mordenite con argento, nonché quelle del MOF-5 (molecola di recente formulazione) per la cattura dello iodio, per quanto riguarda la sintesi del MOF-5 e le analisi per la caratterizzazione dello stesso.

Risultati/Deliverable:

LP2.A4\_a Studio delle interazioni tra prodotti di fissione e refrigerante in sistemi LFR

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **b. Materiali e Fabbricazioni**

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

Nei precedenti PAR si è focalizzata l'attenzione su rivestimenti passivanti basati su leghe Al-Fe ed alla loro deposizione su elementi scaldanti. Successivamente, sono stati sviluppati rivestimenti multistrato costituiti da un deposito intermedio di FeAl o FeCrAl e da un rivestimento esterno di Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sono stati inoltre sviluppati rivestimenti di allumina amorfa mediante tecniche di deposizione per ablazione laser (PLD).

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

#### Tematica 1

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 2012.

Riguardo alla linea di sviluppo di rivestimenti compositi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> amorfa/nanocristallina mediante tecniche di deposizione per ablazione laser (PLD), si provvederà alla validazione dei rivestimenti depositati su substrati AISI (316/304/15-15Ti) fino a temperature di 600 °C mediante test di corrosione di 2000 ore in Pb statico. Si provvederà poi alla verifica della stabilità a lungo termine della struttura nanocristallina. La tecnica di deposizione PLD verrà impiegata per realizzare ricoperture di supporti cilindrici che saranno in seguito sottoposti a caratterizzazione termo-meccanica. Si avvieranno quindi test di corrosione in piombo fluente (1 m/s) in regime di controllo dell'ossigeno mediante le infrastrutture sperimentali del Brasimone (LECOR, HELENA). Infine si provvederà alla progettazione e sviluppo di rivestimenti graded-layer con prestazioni meccaniche avanzate e per alta temperatura (T > 700 °C).

Riguardo alla linea di sviluppo di ricoperture basate su leghe FeCrAl, le attività svolte nell'ambito del PAR 2011 e PAR 2012 sono state centrate nello sviluppo di rivestimenti FeCrAl utilizzando la tecnologia arc – PVD: si ritiene di interesse per lo sviluppo di rivestimenti protettivi da utilizzare in bagno di piombo fuso, comparare tali rivestimenti con quanto ottenibile da alluminizzazione per pack cementation. In particolare verrà realizzata la messa a punto del processo di alluminizzazione su substrati in acciaio al fine di identificare i parametri di processo tali da conseguire l'alluminizzazione preservando le proprietà microstrutturali del substrato. Verranno quindi prodotti provini coi rivestimenti FeCrAl arc PVD messi a punto nei precedenti PAR che verranno sottoposti a test di ossidazione ciclica in aria al fine di verificare la stabilità della scaglia di ossido e del rivestimento in regime di fluttuazione termica. I parametri dei cicli termici saranno definiti sulla base delle condizioni operative previste durante l'esercizio nel LFR.

Le attività di cui sopra saranno supportate dalla caratterizzazione con misure di microindentazione, misure di tensioni residue per mezzo di analisi XRD, analisi termogravimetrica, analisi XRD a T<sub>a</sub> ed in camera calda.

Verrà infine progettato e messo a punto un sistema per l'esecuzione di prove meccaniche a caldo.

#### Tematica 2

Deterioramento della funzionalità dei rivestimenti per deplezione dell'elemento passivante. L'alluminio dei rivestimenti viene consumato dall'ossidazione superficiale e dalla diffusione nel substrato: entrambi i

processi comportano lo svuotamento in alluminio della regione esposta al metallo liquido durante l'esercizio. Al di sotto di una soglia critica (che dipende dalla concentrazione di ossigeno disciolto) non si forma lo strato passivante protettivo ed il rivestimento/substrato sono esposti all'azione del metallo liquido. L'attività proposta riguardo al deterioramento per deplezione dell'elemento passivante nello strato superficiale si divide in due tronconi:

- determinazione della concentrazione critica di Al al di sotto della quale non si forma la scaglia protettiva attraverso la produzione di campioni di leghe basate su Al-Fe e successivo testing in metallo liquido pesante al variare della concentrazione di ossigeno;
- trattamenti termici al variare di tempo e temperatura su campioni ricoperti per misurare i profili di concentrazione delle specie coinvolte, lo spessore dello strato in cui si è avuta diffusione di alluminio nel substrato, ed in particolare la concentrazione superficiale di alluminio.

### Tematica 3

Deterioramento della funzionalità dei rivestimenti per cedimento meccanico. Riguardo al cedimento meccanico dei rivestimenti si provvederà alla caratterizzazione micromeccanica degli stessi in modo da avere i parametri materiali necessari alla simulazione termomeccanica con tecniche FEM.

A completamento delle attività di cui sopra, si proseguirà la qualifica preliminare dei rivestimenti mediante prove di irraggiamento con ioni pesanti per valutarne la stabilità sotto irraggiamento, stabilità microstrutturale e dimensionale.

In supporto agli studi sui materiali strutturali vengono avviati studi sulla modellazione della corrosione in metallo liquido. Una strategia per proteggere l'acciaio è quella di mantenere nel metallo liquido una concentrazione di sostanze passivanti, che inibiscano cioè la corrosione formando sulla superficie uno strato protettivo. Fra queste, lo zirconio ed il titanio che se presenti in soluzione nel piombo con concentrazioni intorno ai 50-500 ppm, formano uno strato di carburi e/o di nitruri sulla superficie a spese del carbonio e/o azoto presente nell'acciaio. Risulta molto efficiente per gli acciai al carbonio e per acciai basso legati mentre per l'acciaio inossidabile la loro efficienza è scarsa.

Sarà svolta una attività rivolta allo sviluppo di un modelli basati sulle tecniche di dinamica molecolare per l'evoluzione del danno da corrosione per acciai esposti a metallo liquido pesante. A integrazione delle attività di caratterizzazione di materiali strutturali ricoperti e operanti in piombo, saranno realizzate prove termomeccaniche a lungo termine di "CREEP-RUPTURE" su materiali strutturali convenzionali (acciai austenitici) ricoperti a base di FeAl, FeCrAl, TiN e Ta 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.

Infine, relativamente agli acciai strutturali per applicazioni nucleari, grande interesse assumono gli acciai doppio stabilizzati (Ti, Nb) che hanno dimostrato grande stabilità al rigonfiamento e alla deformazione anelastica. Appartenenti alla famiglia dell' AISI 316 (es. 15-15 Ti), i doppio stabilizzati sono stati sviluppati da ENEA in collaborazione con il CEA per essere applicati quale materiale di guaina per i reattori veloci refrigerati al sodio. Date le ottime proprietà termomeccaniche, anche con danneggiamento fino a 100 dpa in spettro veloce, si rende estraneamente promettente il loro utilizzo nei reattori LFR in alternativa ai F/M. Si rende però ineludibile la loro caratterizzazione in piombo. A tale scopo si provvederà all'approvvigionamento di una colata di 50 kg, in cui verranno definite tutte le fasi di produzione e trattamento termico, provvedendo ad una prima caratterizzazione meccanica che certifichi i requisiti minimi richiesti per tali applicazioni.

### Risultati/Deliverable:

- LP2b1\_a Sviluppo di ricoperture CVD a base Al-Fe per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo
- LP2.b1\_b Studio del comportamento di rivestimenti FeCrAl arc PVD sottoposti a ciclaggio termico
- LP2.b1\_c Sviluppo di Ricoperture per la protezione di materiali strutturali operanti in sistemi nucleari refrigerati a piombo mediante tecniche di ablazione laser

- LP2.b1\_d Report sulla caratterizzazione di materiali strutturali ricoperti per applicazioni nucleari: definizione dei criteri di fallimento dei rivestimenti per deplezione dell'elemento passivante
- LP2.b1\_e Report sulla caratterizzazione delle proprietà meccaniche di ricoperture per applicazioni nucleari
- LP2.b1\_f Report sulla caratterizzazione di rivestimenti mediante prove di irraggiamento con ioni pesanti
- LP2.b1\_g Modellazione dei fenomeni di corrosione/dissoluzione da metallo liquido pesante e verifiche sperimentali mediante microscopia elettronica
- LP2.b1\_h Prove di CREEP-RUPTURE su materiali strutturali ricoperti per applicazioni in sistemi refrigerati a metallo liquido pesante
- LP2.b1\_i Double stabilized stainless steel procurement

Principali collaborazioni: CIRTEN, CSM SpA

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

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

Partendo dagli studi realizzati nello scorso PAR, che hanno portato alla realizzazione del primo prototipo in scala 1:1 della griglia spaziatrice di ALFRED, verrà realizzata un mock-up di 7 pin con griglia interposta per prove di grid-to-rod fretting nell'impianto GIORDI del CR Brasimone.

Obiettivo è verificare l'accoppiamento meccanico in regime turbolento tipico degli LFR, analizzando l'erosione delle pin e gli effetti del coating nella prevenzione di tali fenomeni.

Tali attività, svolte in collaborazione con FN Spa, permettono di sviluppare ed implementare nuove tecniche e metodologie di fabbricazione, associate allo sviluppo di materiali e coating prototipici. Inoltre, coerentemente agli obiettivi di sviluppo e validazione di un sistema di controllo e monitoraggio della chimica del refrigerante, e in continuità con il PAR 2012, 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 inoltre alla definizione e concettualizzazione di una piccola facility per il monitoraggio dei prodotti di corrosione in piombo fluente (circolazione naturale), e per il controllo del rateo di corrosione in funzione dell'ossigeno disciolto e di altri elementi inibitori (Ni, Cr)

Infine saranno progettate e realizzate strutture per il decapaggio e la pulizia di componenti di grosse dimensioni (fino a 1 t) che hanno operato in piombo, e che richiedono di essere modificati e/o riparati per del loro reintegro negli impianti sperimentali.

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 Rapporto tecnico di fine fabbricazione di un mock-up di elemento di combustibile del DEMO ALFRED per prove di erosione/corrosione in piombo
- LP2.b2\_b Prove di corrosione su materiali strutturali ricoperti in piombo stagnate
- LP2.b2\_c Concettualizzazione di un impianto per il monitoraggio del rateo di corrosione su materiali strutturali operanti in piombo fluente
- LP2.b2\_d Report sulle prove di corrosione in piombo fluente mediante impianto LECOR

Principali collaborazioni: FN SPA

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **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 l'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.

Si propone quindi di effettuare uno studio teorico e sperimentale per l'applicazione di una nuova tecnica riflettometrica per la misura del livello. In particolare, l'attività di ricerca sarà suddivisa nelle seguenti fasi:

- studio teorico sull'analisi TDR per la misura di livello di un sistema bifase;
- simulazioni a supporto dello studio di fattibilità e della progettazione dell'esperimento del misuratore;
- fase di pre-test: esperimento ridotto a pressione e temperatura ambiente per la valutazione delle problematiche di base dell'esperimento e per lo sviluppo dei relativi sistemi di controllo.

Nell'ambito dell'implementazione del laboratorio di termofluidodinamica sarà dato inoltre particolare 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 delle prove sperimentali di interazione su larga scala tra leghe di piombo ed acqua in pressione (fino a 16 bar), anche mediante modifiche ed aggiornamenti dell'impianto CIRCE dell'ENEA Brasimone ed una definizione delle condizioni operative. In particolare è prevista:

- la progettazione e realizzazione di una nuova sezione di prova per la qualifica di un generatore di vapore a tubi dritti;
- la progettazione e realizzazione di un nuovo sistema di acquisizione dati veloce e del sistema di controllo dell'impianto;
- l'acquisizione di nuova strumentazione (misuratore di portata coriolis, strain gauge e termocoppie, trasduttori di pressione piezoelettrici).

Infine proseguiranno gli studi sull'accoppiamento dei codici di calcolo secondo l'approccio "two-way".

Partendo dai risultati ottenuti nelle precedenti annualità, si provvederà ad implementare:

1. un'estensione dell'accoppiamento alle "strutture termiche";
2. un'ulteriore raffinamento dello schema numerico di accoppiamento, al fine di migliorare le caratteristiche di robustezza, stabilità e convergenza, specialmente nei casi caratterizzati da maggiore complessità (rapidi transitori, configurazioni di loop chiusi, ecc.);
3. un miglioramento e potenziamento dell'interfaccia grafica;
4. una sistematica (ed il più possibile estesa) attività di "Verification & Validation": applicazione a problemi di diversa complessità, a partire da semplici casi "accademici" fino a casi di interesse pratico per i quali siano disponibili dati sperimentali (validazione) e/o risultati di simulazioni effettuate mediante altri codici (code-to-code benchmarking).

L'attività descritta al punto 4 è quella a cui si dovrà dedicare gran parte delle risorse. Essa infatti è finalizzata alla "qualifica" del tool di accoppiamento sviluppato e deve pertanto "testare" lo stesso su uno spettro di applicazioni quanto più ampio possibile. Essa fornirà tra l'altro dei feedback per le attività di cui ai punti 1-3, che avanzeranno quindi in maniera iterativa.

Un preliminare confronto tra risultati sperimentali e quelli derivanti dall'applicazione del modello sviluppato nel PAR 2012 ha dimostrato una buona capacità di quest'ultimo di prevedere i risultati derivanti da prove sperimentali effettuate per lo studio della circolazione assistita con l'apparecchiatura NACIE dell'ENEA del Brasimone.

Nel presente PAR, per perseguire lo sviluppo successivo di tale metodologia si prevede:

- l'applicazione del modello a prove sperimentali per lo studio della transizione da circolazione forzata a circolazione naturale;

- lo 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;
- parallelizzazione della routine Fluent (UDF) per l'applicazione a calcoli paralleli 3D (riduzione dei tempi di calcolo e possibilità di calcoli da eseguire su cluster);
- applicazione del modello a calcoli stazionari in sistemi a piscina (per es. CIRCE).

Relativamente allo sviluppo del codice FEM-LCORE, si provvederà a sviluppare una interfaccia di integrazione per il codice con la libreria MED presente nella piattaforma di calcolo SALOME.

Si potrà quindi accoppiare il codice FEM-LCORE, che simula con un modello poroso il core di un reattore veloce raffreddato a piombo, con tutti gli altri codici che dispongono di simili interfacce per la piattaforma SALOME. In particolare l'obiettivo è accoppiare il modello del core con codici di termoidraulica 1D che simulino il restante circuito primario. Saranno eseguiti test con modelli semplificati 1D e col codice CATHARE se disponibile in versione integrata sulla suddetta piattaforma.

Analogamente, nell'ambito dello sviluppo e validazione di codici per la termoidraulica di sistemi LFR, nelle precedenti annualità si è 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'acquisizione dell'ultima versione di CATHARE v2.5\_3 mod 2.1 e della relativa interfaccia grafica GUTHARE, l'attività di validazione del codice proseguirà e riguarderà valutazioni sulle correlazioni di scambio termico implementate e sulla capacità di predire correttamente l'instaurarsi della circolazione naturale in facility integrali raffreddate a piombo-bismuto. A questo scopo si utilizzeranno i nuovi dati sperimentali della seconda fase del benchmark OECD/NEA LACANES sull'impianto coreano HELIOS e i dati sperimentali provenienti da una campagna di calibrazione di un misuratore di portata di tipo induttivo condotto sull'impianto NACIE di Brasimone, anch'essi resi disponibili per il benchmark LACANES. La validità dei risultati sarà confrontata anche attraverso benchmark di calcolo con il codice termoidraulico di sistema RELAP5.

Relativamente alla validazione ed il benchmark del codice FRENETIC, si realizzerà un benchmark puramente termoidraulico (TH) del codice, a fronte di risultati ottenuti con il codice RELAP sulla base della geometria dell'EBR-II, considerando possibili transitori rilevanti, allo scopo di riprodurre l'evoluzione della distribuzione di temperatura all'uscita della regione attiva del nocciolo e i profili assiali di temperatura sia del refrigerante sia delle barrette di combustibile.

Si provvederà poi ad una validazione puramente TH del FRENETIC a fronte di dati sperimentali dell'EBR-II.

L'attività prevede inoltre lo sviluppo del modulo neutronico del codice FRENETIC con l'inserimento dell'opzione quasi-statica per il calcolo di transitorio. A tale scopo, è richiesto di implementare il calcolo della soluzione aggiunta delle equazioni di bilancio neutronico e la valutazione dei parametri cinetici integrali. Il codice verrà quindi applicato a configurazioni di tipo ALFRED.

#### Risultati/Deliverable:

- LP2.c1\_a ALFRED-SGBT. Preliminary characterization by the HERO test section
- LP2.c1\_b Studio di fattibilità teorico-sperimentale sull'analisi TDR per la misura di livello di un sistema bifase
- LP2.c1\_c Design of a test section to be implemented and installed into the CIRCE pool in order to examine SGTR event
- LP2c\_d Report sull'accoppiamento di codici CFD e codici di sistema
- LP2.c1\_e Validazione dell'accoppiamento fra il codice di sistema RELAP5 e il codice CFD FLUENT
- LP2.c1\_f Integrazione del codice FEM-LCORE con la piattaforma SALOME
- LP2.c1\_g Progressi nella validazione del codice T/H CATHARE2 attraverso il benchmark LACANES
- LP2.c1\_h Development of the neutronic module and benchmark and validation of the thermal-hydraulic module of the FRENETIC code

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **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 dell'impianto a metallo liquido pesante HELENA, e del sistema elettro-meccanico e di regolazione e controllo, si rende necessario provvedere alla installazione del circuito secondario (100 bar) per la rimozione della potenza.

Relativamente agli studi di scambio termico in fuel pin bundle prototipici in regime di circolazione naturale o mista, si rende necessario completare l'upgrade dell'impianto NACIE, inserito nel progetto europeo SEARCH (FP7-EC). L'attività prevede la progettazione e installazione del circuito secondario ad acqua in pressione (16 bar) per il definitivo completamento dell'impianto prima dell'esecuzione delle prove di scambio termico.

Relativamente agli studi sperimentali necessari per la completa investigazione del comportamento dei sistemi LFR e SMR, si rende necessaria la 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 PAR 2012, al fine di rendere applicabili tali modelli di calcolo alle analisi di sicurezza dei sistemi LFR/SMR.

### Risultati/Deliverable:

- LP2.c2\_a Specifica tecnica di fornitura e installazione del circuito secondario ad acqua in pressione dell'impianto a metallo liquido pesante HELENA
- LP2.c2\_b Specifica tecnica di fornitura e installazione del circuito secondario ad acqua in pressione dell'impianto a metallo liquido pesante NACIE
- LP2c2\_c Specifica tecnica di fornitura e installazione della facility SOLIDX

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **d. Comunicazione e diffusione dei risultati**

La comunicazione e diffusione dei principali risultati avverrà attraverso pubblicazioni su riviste scientifiche di settore e la partecipazione a convegni nazionali ed internazionali: 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\_a Raccolta delle Lecture del Workshop Tematico "LFR-Gen IV: Stato attuale della tecnologia e prospettive di sviluppo"

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**Programma temporale e preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
<b>LP1.SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE</b>													
<b>LP1.a Acquisizione, sviluppo e validazione di codici e metodi per studi ed analisi di sicurezza e sostenibilità</b>													
	a.1 Dati nucleari e librerie per schermaggio e dosimetria												
	a.2 Metodi Monte Carlo e deterministici per analisi di sicurezza nocciolo e stoccaggio di materiale fissile												
	a.3 Validazione codici incidentali e modelli fenomenologici per simulazione di transitori su reattore PWR da 900 MWe e per confronto con dati disponibili da prove sperimentali												
	a.4 Metodi per verifiche di sostenibilità												
<b>LP1.b Metodologie avanzate per la valutazione delle conseguenze incidentali</b>													
	b.1 Sviluppo di una metodologia per valutazioni di sicurezza in situazioni incidentali o pre-emergenza												
	b.2 Applicazione di metodologia PSA e DSA del tipo Risk Informed per la stima del rischio di eventi esterni												
	b.3 Calcolo e valutazione della sequenza incidentale nell'unità 1 della centrale Fukushima Dai-ichi. Identificazione delle principali criticità per l'avvio di azioni di Accident Management con riferimento alle centrali prossime ai confini nazionali												
<b>LP1.c Sperimentazione a supporto degli studi sulla sicurezza</b>													
	c.1 Studi relativi alla simulazione integrale di sistema presso gli impianti SJET												
	c.2 Sperimentazione su componenti critici e strumentazione prototipica per reattori innovativi												
<b>LP1.d Comunicazione e diffusione dei risultati</b>													
<b>LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE</b>													
<b>LP2.a. Progettazione di sistema e analisi di sicurezza</b>													
	a.1 Progettazione di sistema												
	a.2 Progettazione nocciolo LFR												
	a.3 Analisi di sicurezza												
	a.4 Rilascio e Migrazione dei Prodotti di Fissione												
<b>LP2.b Materiali e Fabbricazioni</b>													
	b.1 Qualifica, modellazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR												
	b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici												
<b>LP2. c Termoidraulica del refrigerante</b>													
	c.1 Sperimentazione e Modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi												
	c.2 Studi sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR												
<b>LP2.d Comunicazione e diffusione dei risultati</b>													

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 2012), pari a 42,6 €/h per la linea LP1 e 38,1 €/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 25,5 €/h per la linea LP1 e 22,8 €/h per la linea LP2.

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)	
<b>LP1. SVILUPPO COMPETENZE SCIENTIFICHE NEL CAMPO DELLA SICUREZZA NUCLEARE</b>										
<b>a</b>	<b>Acquisizione, sviluppo e validazione di codici e metodi per studi ed analisi di sicurezza e sostenibilità.</b>									
	<i>a.1 Dati nucleari e librerie per schermaggio e dosimetria</i>	410	17	10	0	0	0	3	0	30
	<i>a.2 Metodi Monte Carlo e deterministici per analisi di sicurezza nocciolo e stoccaggio di materiale fissile</i>	540	24	15	0	2	0	5	0	46
	<i>a.3 Validazione codici incidentali e modelli fenomenologici per simulazione di transitori su reattore PWR da 900 MWe e per confronto con dati disponibili da prove sperimentali</i>	630	27	16	0	0	0	6	20	69
	<i>a.4 Metodi per verifiche di sostenibilità</i>	475	20	12	0	9	0	7	5	53
	<i>Subtotale Ob.a</i>	<b>2055</b>	<b>88</b>	<b>53</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>198</b>
<b>b</b>	<b>Metodologie avanzate per la valutazione delle conseguenze incidentali</b>									
	<i>b.1 Sviluppo di una metodologia per valutazioni di sicurezza in situazioni incidentali o pre-emergenza</i>	940	40	23	0	2	0	8	30	103
	<i>b.2 Applicazione di metodologia PSA e DSA del tipo Risk Informed per la stima del rischio di eventi esterni</i>	440	18	11	0	0	0	3	20	52
	<i>b.3 Calcolo e valutazione della sequenza incidentale nell'unità 1 della centrale Fukushima Dai-ichi. Identificazione delle principali criticità per l'avvio di azioni di Accident Management con riferimento alle centrali prossime ai confini nazionali</i>	540	23	14	0	0	0	5	25	67
	<i>Subtotale Ob.b</i>	<b>1920</b>	<b>81</b>	<b>48</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>75</b>	<b>222</b>
<b>c</b>	<b>Sperimentazione a supporto degli studi sulla sicurezza</b>									
	<i>c.1 Studi relativi alla simulazione integrale di sistema presso gli impianti SIET</i>	297	12	7	0	0	120	2	20	161
	<i>c.2 Sperimentazione su componenti critici e strumentazione prototipica per reattori innovativi</i>	43	2	1	0	0	50	1	55	109
	<i>Subtotale Ob.c</i>	<b>340</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>170</b>	<b>3</b>	<b>75</b>	<b>270</b>
<b>d</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>	<b>97</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
	<b>Totale LP1</b>	<b>4412</b>	<b>188</b>	<b>112</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>170</b>	<b>40</b>	<b>175</b>	<b>700</b>

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)	
<b>LP2. COLLABORAZIONE INTERNAZIONALE PER IL NUCLEARE DI IV GENERAZIONE</b>										
<b>a</b>	<b>Progettazione di sistema e analisi di sicurezza</b>									
	<i>a.1 Progettazione di sistema</i>	1300	49	30	0	0	0	6	30	115
	<i>a.2 Progettazione nocciolo LFR</i>	2000	76	46	25	3	0	4	50	204
	<i>a.3 Analisi di sicurezza</i>	2950	112	67	0	12	0	8	85	284
	<i>a.4 Rilascio e Migrazione dei Prodotti di Fissione</i>	700	27	16	6	4	0	3	45	101
	<i>Subtotale Ob.a</i>	<b>6950</b>	<b>264</b>	<b>159</b>	<b>31</b>	<b>19</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>210</b>	<b>704</b>
<b>b</b>	<b>Materiali e Fabbricazioni</b>									
	<i>b.1 Qualifica, modellazione e analisi di coating e materiali strutturali per sistemi LFR</i>	2500	95	57	0	95	30	6	90	373
	<i>b.2 Studi ed esperienze sulla chimica del refrigerante e sulla fabbricazione di componenti prototipici</i>	1300	49	30	40	40	0	4	100	263
	<i>Subtotale Ob.b</i>	<b>3800</b>	<b>144</b>	<b>87</b>	<b>40</b>	<b>135</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>190</b>	<b>636</b>
<b>c</b>	<b>Termoidraulica del refrigerante</b>									
	<i>c.1 Sperimentazione e Modellistica per la termoidraulica dei metalli liquidi</i>	1700	65	39	250	42	0	5	125	526
	<i>c.2 Studi sperimentali per lo scambio termico nei sistemi LFR e SMR</i>	1500	57	34	285	34	0	4	0	414
	<i>Subtotale Ob.c</i>	<b>3200</b>	<b>122</b>	<b>73</b>	<b>535</b>	<b>76</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>125</b>	<b>940</b>
<b>d</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>									
		160	6	4	0	10	0	0	0	20
	<b>Totale LP2</b>	<b>14110</b>	<b>536</b>	<b>323</b>	<b>606</b>	<b>240</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>525</b>	<b>2300</b>
	<b>TOTALE PROGETTO</b>	<b>18522</b>	<b>724</b>	<b>435</b>	<b>606</b>	<b>255</b>	<b>200</b>	<b>80</b>	<b>700</b>	<b>3000</b>

\* 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€)

## **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 e IFERC 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, dello sviluppo e caratterizzazione di materiali compositi ceramici in matrice e fibra di silicio (SiC/SiC).
- Altre attività di ricerca nell'ambito del programma FAST, il nuovo esperimento satellite europeo, che ha come obiettivo è 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.

### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

La ricerca sulla fusione richiede di sviluppare oltre alle conoscenze di fisica anche le tecnologie relative ai materiali, ai processi di fabbricazione dei componenti ed alla manutenzione remotizzata, che nel caso della fusione presentano caratteristiche che vanno oltre la normale pratica realizzativa. Ai compositi ceramici si guarda infatti con grande interesse per l'utilizzo sia come materiale strutturale sia come materiale funzionale per barriere termiche ed elettriche.

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.

### **Stato attuale delle tecnologie**

Il conduttore in NbTi del magnete toroidale di JT-60SA, è stato ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida e migliorare la stabilità intrinseca. Lo sviluppo del modello CAD della bobina e della cassa di contenimento ha consentito lo studio delle interfacce e la definizione dei disegni di massima. 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. Attualmente sono stati realizzati 4 doppi pancake completi di isolamento contro massa e sagomatura dei terminali elettrici.

Gli Switching Network Unit giocano un ruolo fondamentale negli esperimenti sul plasma finalizzati alla fusione nucleare. L'ingegnerizzazione degli SNU ha consentito l'identificazione e l'acquisizione dei componenti industriali e l'esecuzione delle prove preliminari per la verifica delle prestazioni elettriche. È stato realizzato il primo elemento delle SNU e sono stati realizzati i diversi "cubicoli" che costituiscono il sistema prototipo delle SNU.

Lo studio di compositi di SiC/SiC è una delle attività di ricerca e sviluppo di DEMO previste nell'ambito del progetto IFERC (International Fusion Energy Research Center). L'ENEA ha il compito di studiare le proprietà meccaniche e chimico-fisiche dei compositi in SiC/SiC e di sviluppare un'analisi di modello in grado di simulare ed interpretare le prove meccaniche su campioni di SiC/SiC.

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/m<sup>2</sup>), 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***

La realizzazione delle 9 bobine sarà eseguita utilizzando la linea di avvolgimento installata nello stabilimento della ASG Superconductors Spa dove avverrà la relativa impregnazione, inserimento e chiusura finale nella cassa di contenimento. Sperimentazioni sono in fase di esecuzione su piccoli campioni per ottimizzare le prestazioni elettriche e fluidiche dei componenti superconduttori.

L'impianto IFMIF sarà una facility di ricerca di cospicuo rilievo, con una lunghezza di oltre 200 metri, progettata ad hoc. ENEA, in ambito europeo, è responsabile dello sviluppo del target per la produzione di neutroni. La proposta progettuale di ENEA comprende 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.

Riguardo lo studio di compositi di SiC/SiC l'ENEA ha il compito di studiare le proprietà meccaniche e chimico-fisiche dei compositi e di sviluppare un'analisi di modello in grado di simulare ed interpretare le prove meccaniche su campioni di SiC/SiC.

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 obiettivi

#### a. Macchina JT-60SA

L'obiettivo prevede la realizzazione completa di due avvolgimenti della bobina toroidale e delle relative prove di accettazione come indicato nella documentazione tecnica. Lo sviluppo degli avvolgimenti delle bobine toroidali è accompagnato dalla realizzazione dei componenti meccanici ricavati da lamiere per la composizione delle casse di contenimento. Nell'ambito delle attività per le alimentazioni elettriche, si prevede di eseguire le prove di accettazione del prototipo della Switching Network Unit, realizzata nel PAR 2012, e dedicata alla commutazione rapida della corrente continua delle bobine del solenoide centrale. Verranno inoltre realizzati tre sistemi di interruzione statico (static circuit breaker, SCB) delle ulteriori 3 SNU previste dalla fornitura. In aggiunta si prevede lo sviluppo dei disegni di fabbrica e di layout, disegni meccanici ed elettrici dei sistemi di alimentazione di potenza. Infine verranno realizzati dei convertitori e gli associati trasformatori per Fast Plasma Position Control (FPPC) completi di prove finali 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. Alcuni componenti delle bobine superconduttrici sono validati in condizioni criogeniche a cura di ENEA.

Il preventivo per la sola spesa in attrezzature per la macchina JT-60SA ricadente nel presente PAR è stimato in 5224 k€, di cui si dirà in maggior dettaglio nella seguente descrizione dei quattro subtask in cui è suddiviso l'obiettivo.

#### **a.1 Fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale**

Nell'ambito delle attività 2013 si prevede il completamento di due avvolgimenti della bobina toroidale e la realizzazione di tre doppi pancake, dei sei che costituiscono l'avvolgimento dell'intera bobina toroidale. Gli avvolgimenti della bobina toroidale saranno completi di impregnazione sotto vuoto e delle prove finali di accettazione previste dalla documentazione tecnica. Il piano originario prevedeva l'inserimento degli avvolgimenti delle bobine nelle casse di contenimento e la loro integrazione finale per formare due moduli di magneti completi.

Prove sui componenti forgiati della cassa di contenimento hanno dimostrato che questo materiale non è adeguato all'uso per temperature criogeniche. La revisione del programma di attività prevede di continuare nella produzione dei soli avvolgimenti di bobina in numero superiore a quanto precedentemente programmato e procedere durante le attività del successivo PAR 2014 con la loro integrazione nella cassa di contenimento.

Il personale ENEA, oltre ad essere impegnato sulle attività di monitoraggio del contratto ASG, esegue l'attività di integrazione dei modelli 3D dell'avvolgimento della bobina e della cassa di contenimento per garantire le condizioni di interfaccia. Inoltre, attività di prova sono eseguite in ENEA utilizzando facility operanti alla temperatura ambiente e criogenica su componenti realizzati e qualificati dall'industria. L'attività di prova rende più confidente l'ENEA del rispetto dei tempi e dei costi complessivi di consegna del modulo di magneti.

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 2.243,54 k€.

### **a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA**

Il piano di fornitura prevedeva di avanzare con la consegna di componenti delle casse di contenimento complete degli elementi forgiati. I risultati di prove meccaniche hanno dimostrato che gli attuali componenti forgiati non sono adeguati all'uso per temperature criogeniche. Verranno quindi condotte intensive campagne di prove dirette ad accertare le proprietà meccaniche dei componenti forgiati e la possibilità di un loro parziale recupero. Gli studi e le prove sui materiali forgiati prevedono un contratto con un istituto di prova opportunamente attrezzato per l'esecuzione di prove a temperature dell'elio liquido su campioni di dimensioni adeguate. Per minimizzare i ritardi dovuti alla inadeguatezza del materiale forgiato F4E, sulla base di una nuova specifica con vincoli più stringenti riguardanti la natura del materiale, prevede di iniziare la consegna dei nuovi elementi di materiale forgiato a partire da maggio 2014. Considerando la non disponibilità dei materiali forgiati nei primi mesi del PAR 2013 si prevede pertanto la realizzazione dei soli componenti ricavati da laminati per la composizione di nove casse di contenimento, di 6 componenti ricavati da lamiera costituenti le parti dritte delle casse di contenimento e di due gomiti in materiale forgiato.

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. Le attività di indagine riducono al minimo i rischi di malfunzionamento alle temperature criogeniche, 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 1.584 k€.

### **a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit" (SNU)**

Lo sviluppo delle attività contrattuali prevede l'effettuazione delle prove di tipo (Factory Type Test) sul prototipo per verificarne le caratteristiche funzionali e la rispondenza alle specifiche tecniche. Saranno effettuate prove sia su singoli elementi critici del sistema, sia sul prototipo nel suo insieme.

A valle dell'esito positivo delle prove di tipo, saranno realizzati i 3 sistemi di interruzione statica della corrente (static circuit breaker, SCB) degli ulteriori 3 SNU previsti dalla fornitura. L'impegno di personale ENEA, oltre al monitoraggio del contratto OCEM-Energy Technology, è volto alla definizione dei programmi di prova in relazione ai frequenti incontri internazionali. Il personale ENEA cura, attraverso frequenti visite a Naka e continue interazioni con F4E e JAEA, i 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 PAR 2011 per l'importo complessivo di 3509,88 k€. La quota di spesa in attrezzature relativa a detto contratto ricadente nel PAR2013 per le attività succitate è di 877,47 k€.

### **a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA**

Nel corso del presente PAR 2013, si prevede di iniziare le seguenti attività:

- a. Sviluppo dei disegni di fabbrica/layout, disegni meccanici e funzionali, schemi elettrici di potenza, protezione, misure, comando e controllo dei sistemi di alimentazione.
- b. Realizzazione del prototipo di convertitore per Fast Plasma Position Control (FPPC) incluso il sistema di comando e controllo e le relative prove.
- c. Realizzazione di 2 (due) trasformatori per FPPC upper e 2 (due) per FPPC lower completi di prove di accettazione secondo quanto previsto dagli allegati tecnici.
- d. Realizzazione di 1 (uno) convertitore per FPPC e 1(uno) convertitore per FPPC lower ciascuno dotato di un sistema di comando e controllo completi di prove di accettazione secondo quanto previsto dagli allegati tecnici.

Nel corso del PAR2013 le attività dei punti a) e c) raggiungeranno la fase di completamento.

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 prime due attività a) e b) di detto contratto ricadente nella presente annualità è stimata complessivamente in 518,400 k€.

Risultati/Deliverable:

- Completamento di due avvolgimenti della bobina toroidale completi di prove di accettazione finale e realizzazione di tre doppi pancake
- Realizzazione dei soli componenti ricavati da laminati per la composizione di nove casse di contenimento, di 6 componenti ricavati da lamiera costituenti le parti dritte delle casse di contenimento e di due gomiti in materiale forgiato
- Rapporto tecnico per la valutazione dei risultati delle prove eseguiti sui materiali
- Esecuzione delle prove di tipo (Factory Type Test) sul prototipo di SNU
- Realizzazione di 3 sistemi di interruzione statica della corrente (SCB) relativi agli ulteriori 3 SNU
- Sviluppo dei disegni di fabbrica/layout, disegni meccanici e funzionali, schemi elettrici di potenza, protezione, misure, comando e controllo dei sistemi di alimentazione
- Realizzazione di 2 trasformatori per FPPC upper e 2 per FPPC lower completi di prove di accettazione secondo quanto previsto dagli allegati tecnici

Principali collaborazioni: Contratto esterno

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **b. Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF**

### ***b.1 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianto a litio EVEDA Loop per IFMIF***

I sistemi di monitoring forniti da ENEA sono: il sistema di misura della resistività elettrica del litio (resistivity meter - RM) che permette di determinare la quantità di azoto in esso disciolta e il sistema per il rilevamento della cavitazione. Tali sistemi sono stati spediti in dicembre 2012 e sono attualmente presso il centro ricerche di Oarai in Giappone. Dei due sistemi di misura attualmente solamente il sistema per la cavitazione sarà installato. Infatti, da quanto comunicato dal JAEA, l'installazione del RM è eccessivamente costosa ed in questa fase tali costi non possono essere da loro sostenuti.

Il rilevamento del fenomeno della cavitazione sarà effettuato per mezzo di uno strumento (CASBA system) progettato dall'ENEA. Due sensori di cavitazione saranno installati, in novembre 2013 a cura del JAEA, all'ingresso della pompa elettromagnetica dell'impianto ELTL e all'uscita del target assembly. In tali punti è attesa la presenza di fenomeni di cavitazione. Da alcune misure eseguite particolarmente grave appare la situazione all'uscita del TA. Infatti in tale posizione è stata registrata la presenza di un fenomeno di erosione di 8,2  $\mu\text{m}/\text{h}$ , che è molto superiore di quello atteso. Valutazioni sulle cause che hanno indotto un così alto valore di danneggiamento della tubazione di uscita del target sono in corso, ma quella su cui ci si sta concentrando maggiormente è l'ipotesi che in questa zona vi sia un effetto importante di cavitazione. Pertanto l'installazione dei sensori CASBA dell'ENEA è ritenuta fondamentale.

Il commissioning del sistema di cavitazione sarà eseguito dall'ENEA con la presenza di personale ENEA in Giappone a gennaio 2014 mentre la parte sperimentale è prevista in maggio 2014 con presenza di personale in missione di lunga durata in Giappone per 15 gg circa.

Inoltre si prevede la presenza in Giappone di un esperto ENEA nel campo dei metalli liquidi con la funzione di coordinamento sulle attività dell'impianto ELTL in Giappone e LiFus6 in ENEA. Si prevede che tale esperto rimanga in Giappone con una missione di lunga durata di ca. otto mesi.

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.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto: Risultati della campagna sperimentale sull'impianto ELTL di Oarai per la rilevazione dei fenomeni di cavitazione

Principali collaborazioni: Consorzio RFX

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**b.2 Forniture ed implementazioni comuni per sperimentazioni della corrosione/erosione per IFMIF; campagne sperimentali per lo studio dei fenomeni di corrosione da litio**

IFMIF è progettato per operare in litio fluente ad una temperatura di 250 °C con picchi di 300°C. 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, 1 µm/anno per il target e 50 µm/30 anni 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 AISI 316L, Eurofer ed F82H ( materiale prodotto in Giappone ed equivalente all'Eurofer), nelle condizioni operative di IFMIF ed anche più severe. Le modifiche impiantistiche richieste in sede di revisione di progetto dell'impianto LiFus6, eseguita in gennaio 2013, sono state già implementate. Ultimata la realizzazione dell'impianto, il commissioning avrà luogo nel mese di dicembre 2013 e le campagne sperimentali potranno utilmente cominciare in gennaio 2014. In particolare, la campagna sperimentale che partirà a gennaio 2014 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 3000 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.

Risultati/Deliverable:

- Risultati delle campagne sperimentali di breve termine sui fenomeni di erosione/corrosione da litio in LiFus6

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**b.3 Forniture ed implementazioni comuni per la qualifica sperimentale del sistema di purificazione litio per IFMIF**

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) La validazione della procedura per la misura di analisi offline dell'azoto sviluppata in collaborazione

con l'Università di Firenze. La disponibilità di campioni di litio prelevati dall'impianto consentirà inoltre l'ottimizzazione di tale procedura.

- 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 al grado di purezza del litio circolante nell'impianto LiFus6 ed alle procedure impiegate per la purificazione

Principali collaborazioni: Università di Firenze

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**b.4 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF**

Il contributo ENEA nell'ambito di questa linea di attività riguarda la dimostrazione della fattibilità di tutte le operazioni di ricondizionamento e di sostituzione del Target assembly di IFMIF. A tal fine, con il completamento della realizzazione del prototipo del target assembly in scala reale, nella presente annualità le attività saranno concentrate sulla validazione delle procedure di manutenzione dell'intero target. Tali attività includono la validazione delle seguenti procedure:

- 1) la rimozione della backplate;
- 2) la rimozione del litio solido (solo simulato) dalle superfici del frame mediante pulitura;
- 3) l'ispezione dell'ugello;
- 4) l'apertura/ chiusura dei sistemi FDS per la sostituzione del target assembly;
- 5) la rimozione del litio solido dalle superfici delle flange di connessione Target Assembly con il loop a litio;
- 6) il test del bersaglio/target dopo l'installazione: prove di vuoto e determinazione della perdita; misura del corretto posizionamento del target assembly.

I risultati attesi di queste prove sono in particolare utile per:

- 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;
- la disponibilità di procedure di manutenzione remotizzata ottimizzate.

Inoltre il contributo ENEA comprende:

- la progettazione e la realizzazione dei prototipi dei connettori per alimentazione elettrica e per la diagnostica. L'attività consiste nella realizzazione dei connettori, adatti per essere gestiti in modo remotizzato, per le alimentazioni elettriche di potenza del sistema di riscaldamento del target assembly e per i segnali della diagnostica. Tali connettori saranno installati sui prototipi del target assembly e della Test cell per le successive prove di manutenzione remotizzata;
- lo sviluppo delle procedure di manutenzione remotizzata per la gestione dei connettori di potenza. Saranno quindi sviluppate le procedure per la connessione/disconnessione automatica di tali sistemi. Lo studio permetterà di definire le specifiche dei dispositivi robotici adatti ad eseguire tali operazioni.

Risultati/Deliverable:

- Risultati delle prove di manutenzione remotizzata per il ricondizionamento e per la sostituzione del Target assembly di IFMIF
- Progettazione e fabbricazione dei connettori di alimentazione elettrica e segnali per il target assembly di IFMIF

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**b.5 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione completa di target assembly per IFMIF**

Scopo dell'attività è la progettazione ingegneristica completa del target assembly. 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. Inoltre di rilevante importanza è la progettazione della struttura di supporto del target assembly dovendo essa garantire il corretto posizionamento dello stesso. Nella presente annualità quindi le attività saranno concentrate sui seguenti temi:

### 1. Progettazione della struttura di supporto del target assembly Europeo

La struttura di supporto del target assembly gioca un ruolo fondamentale sul posizionamento del target stesso. Infatti il delta di temperatura a cui è soggetto il target assembly e la struttura di supporto stessa comporta la deformazione dell'intero insieme. Una delle principali richieste di specifica per il target è quella di mantenere costante il gap di 2 mm tra la backplate e il fronte dei moduli che portano i campioni da irraggiare. La progettazione del sistema di supporto del target dovrà soddisfare tale richiesta insieme a quella di minimizzare il volume occupato. Sono previste indagini di tipo nucleare al fine di valutare principalmente la deposizione di potenza da neutroni e gamma nella struttura e analisi termomeccaniche.

### 2. Sviluppo di materiali a bassa attivazione alternativi all'Eurofer per la realizzazione del TA

L'attuale materiale di riferimento per il target assembly Europeo di IFMIF è costituito dall'acciaio ferritico-martensitico a bassa attivazione EUROFER97. A fianco delle sue buone proprietà meccaniche e di ridotta attivazione, tale materiale ha però anche lo svantaggio di presentare, sotto irraggiamento neutronico, un innalzamento della temperatura di transizione duttile-fragile a valori prossimi a quelli a cui normalmente opera il target assembly, con conseguente infragilimento dello stesso e frequente necessità della sua sostituzione. Ciò pone quindi un significativo vincolo alla lifetime del componente. E' dunque opportuno studiare materiali alternativi all'EUROFER che, pur essendo caratterizzati da bassa attivazione neutronica, mantengano le proprie caratteristiche di duttilità anche sotto elevati tassi di irraggiamento. A tal fine verranno quindi sviluppati e proposti nuovi materiali che saranno fabbricati su piccola scala e caratterizzati dal punto di vista meccanico sia allo stato vergine che, per quanto possibile, dopo irraggiamento con neutroni veloci.

### 3. Studio preliminare di sorgenti neutroniche alternative da 14 MeV: Progetto preliminare del target inclusa termomeccanica

La sempre più urgente necessità di avere a disposizione database con le proprietà dei materiali da utilizzare nei futuri reattori a fusione irraggiati con neutroni da 14 MeV suggerisce la possibilità di valutare lo studio di una sorgente neutronica alternativa ad IFMIF, meno performante di quest'ultima in termini di ratei di danneggiamento (dpa/anno) ottenibili ma di più semplice progettazione e costruzione, in modo tale da avere la possibilità di ottenere, entro il prossimo decennio, un primo set di dati utili (con proprietà valutate fino ad almeno 20 dpa) con cui poter procedere alla progettazione del reattore DEMO. Si propone pertanto uno studio preliminare di sorgenti neutroniche di più semplice concezione rispetto ad IFMIF e basate su tecnologie già mature (quali ad esempio quelle basate su reazioni D-T innescate da fasci incidenti su target rotanti). In quest'ambito verrà pertanto condotto uno studio concettuale preliminare della sorgente proposta che includa in particolare l'analisi neutronica e termomeccanica del relativo target.

#### Risultati/Deliverable:

- Progettazione dei sistemi ausiliari del Target assembly di IFMIF
- Analisi preliminare di materiali alternativi per la realizzazione del target assembly di IFMIF
- Studio preliminare di sorgenti neutroniche alternative da 14 MeV

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Università di Pisa

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **c. Attività IFERC (International Fusion Energy Research Center)**

### **c.1 Studio di compositi in SiC**

I materiali compositi in SiC saranno soggetti a lavorazione meccanica per l'ottenimento di particolari da utilizzare come componenti meccanici nel forno destinato alla caratterizzazione del composito ceramico SiCf/SiC in litio liquido. Nel PAR 2012 è stato iniziato lo studio dell'applicazione di prismi a sezione quadrata di grande e medio spessore e con lato di almeno 100 mm da utilizzare come incamiciatura dei condotti di

acciaio ferritico utilizzati nei blanket liquidi. Nel corso del PAR 2013 questo studio verrà proseguito considerando in particolare le tecnologie di collegamento meccanico tra acciaio ferritico e composito ceramico SiCf/SiC esplorando la possibilità di realizzare rivestimenti impermeabili all'idrogeno ed isotopi. Si proseguirà inoltre lo studio sull'effetto delle radiazioni ionizzanti sulle proprietà chimico fisiche del composito ceramico SiCf/SiC al fine di arricchire la base dei dati da cui trarre informazioni statisticamente valide. Nello specifico, l'ENEA sulla base della recente letteratura scientifica definirà le specifiche tecniche ed il disegno di tubi di medie e grosse dimensioni e di altri componenti meccanici in SiCf/SiC. Il disegno dei componenti in SiCf/SiC verrà realizzato con codici di calcolo mediante analisi termo-meccanica riferita alle condizioni operative dei blanket liquidi dei reattori a fusione. Verrà valutata la permeabilità di idrogeno ed isotopi attraverso i componenti in SiCf/SiC mediante studio dei meccanismi di trasporto dei gas nei mezzi porosi e l'efficacia di eventuali rivestimenti anti-permeazione con riferimento alle specifiche di progetto dei reattori a fusione (DEMO).

FN realizzerà i compositi in SiCf/SiC mediante la tecnica CVD che richiederà una attività di R&D finalizzata ad ottimizzare la densificazione del materiale secondo le specifiche richieste dalla applicazione nei blanket dei reattori a fusione. I compositi prima delle lavorazioni meccaniche verranno sottoposti a una caratterizzazione fisico-strutturale. Inoltre, si studieranno gli effetti delle radiazioni ionizzanti sulle proprietà chimico fisiche del composito ceramico SiCf/SiC. Le attività saranno condotte in regime di garanzia di qualità con la stesura preliminare di un piano di qualità e di un piano di fabbricazione e controllo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico, produzione e fornitura ad ENEA di tubi di medio e grosso diametro e componenti meccanici in SiC<sub>f</sub>/SiC
- Rapporto tecnico, produzione e fornitura ad ENEA di prismi a sezione quadrata in SiC<sub>f</sub>/SiC e delle tecnologie e di campioni di acciaio ferritico con rivestimento in SiC monolitico o SiC<sub>f</sub>/SiC

Principali collaborazioni: FN

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

***c.2 Progettazione e costruzione di una camera sperimentale per prove di erosione-corrosione ad alta temperatura (1000°C) di campioni di SiC/SiC in litio-piombo***

Nel corso del PAR 2012 è stata completata la costruzione di un forno per lo studio della erosione-corrosione ad alta temperatura di compositi di SiC/SiC in LiPb. Nel PAR 2013 verranno realizzate le prove preliminari di funzionamento ed il collaudo finale di tale apparato in presenza dei funzionari F4E e dei rappresentanti della JAEA. Si prevede una missione in Giappone di 1-2 ricercatori dell'ENEA per 1-2 settimane per supportare i tecnici giapponesi durante l'installazione del forno presso i laboratori di Rokkasho.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sul collaudo finale del forno ad alta temperatura

Durata: ottobre 2013 - giugno 2014

**d. FAST il nuovo esperimento satellite europeo**

La macchina JT-60SA utilizzerà, nella prima fase di operazione, la grafite come materiale esposto al plasma nel divertore e nella prima parete. Questa soluzione presenta tuttavia diversi problemi di fisica del plasma, quale l'accumulo al centro di impurezze leggere, che rendono difficile lo sviluppo degli scenari avanzati necessari per ottenere una produzione netta significativa di energia nel futuro reattore a fusione. Esperimenti basati su tali scenari avanzati dovranno essere riprodotti e sviluppati in JT-60SA, perciò è prevista una successiva fase di operazione in cui il divertore e la prima parete verranno sostituiti da altri aventi il tungsteno come materiale di interfaccia con il plasma. Questa successiva fase di operazione potrà così dare un contributo significativo alla progettazione della macchina e degli scenari di DEMO, che attualmente prevede l'utilizzo del tungsteno.

Un contributo significativo al necessario sviluppo preliminare ed alla verifica concettuale di tali soluzioni in JT-60SA potrà essere dato dall'applicazione degli studi e delle soluzioni ingegneristiche sviluppate per FAST

con divertore e prima parete metallici. Il concetto di macchina FAST sarà perciò utilizzato come strumento di sviluppo e verifica di soluzioni avanzate nel campo del power exhaust, dell'interazione plasma-parete e della progettazione di componenti sostituibili da remoto.

***d.1 Analisi del problema del power exhaust e del suo smaltimento su componenti metallici in JT-60SA basato su soluzioni FAST-like***

Lo studio del power exhaust e dell'interazione tra il centro ed il bordo del plasma durante le operazioni con divertore e prima parete metallici verrà sviluppato su JT-60SA in analogia a quanto fatto per FAST. Verrà inoltre studiata la possibilità di realizzare una configurazione di plasma di tipo "Snow-Flake", con un divertore metallico, che permetterà una riduzione significativa del carico termico sulle superfici esposte al plasma.

***d.2 Studio preliminare delle soluzioni di sostituzione da remoto del divertore e della prima parete in JT60-SA, basato su soluzioni FAST-like***

La sostituzione del divertore e della prima parete con altri basati sul tungsteno in JT-60SA dovrà utilizzare tecniche di manutenzione remota a causa dell'attivazione nucleare dei materiali dopo la prima fase di operazione. Per contribuire allo sviluppo preliminare di questi componenti in JT-60SA verranno sviluppate a livello ingegneristico delle possibili soluzioni sulla proposta FAST, integrate con le opportune analisi strutturali. Verrà eventualmente analizzata una possibile configurazione innovativa del divertore compatibile con configurazioni di plasma di tipo "Snow-Flake".

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sul problema del power exhaust e l'interazione tra centro e bordo del plasma in JT60-SA e FAST in presenza del tungsteno come materiale esposto al plasma
- Rapporto sullo sviluppo della configurazione di plasma di tipo "Snow-Flake" per JT60-SA
- Rapporto sulle soluzioni di sostituzione da remoto del divertore e della prima parete in FAST e JT-60SA
- Progettazione preliminare e verifica strutturale di un divertore per JT60-SA, eventualmente compatibile con configurazioni di plasma di tipo "Snow-Flake"

Principali collaborazioni: Consorzio CREATE

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**e. Comunicazione e diffusione dei risultati**

I risultati di queste attività saranno disseminati, attraverso contributi presentate alle principali conferenze e meeting internazionali sulla fusione e attraverso pubblicazioni di articoli su riviste scientifiche.

Risultati/Deliverable:

- Report sulle attività di diffusione e comunicazione

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014



## Programma temporale e preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
<b>a</b>	<b>Macchina JT-60SA</b>												
	<i>a.1 Fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale</i>												
	<i>a.2 Realizzazione strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA</i>												
	<i>a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit" (SNU)</i>												
	<i>a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA</i>												
<b>b</b>	<b>Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF</b>												
	<i>b.1 Campagna sperimentale dei sistemi di monitoring online per la misura delle impurezze in litio e per i fenomeni di cavitazione per l'impianto EVEDA di Oarai (Giappone) e costruzione del bersaglio a baionetta</i>												
	<i>b.2 Campagne sperimentali a breve-medio termine (2000/4000 ore) per corrosione/erosione da litio</i>												
	<i>b.3 Validazione del sistema di purificazione del litio e calibrazione del sistema di monitoring online per misura delle impurezze in litio per l'impianto LiFus 6</i>												
	<i>b.4 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF</i>												
	<i>b.5 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione completa di target assembly per IFMIF</i>												
<b>c</b>	<b>Attività IFERC (International Fusion Energy Research Center)</b>												
	<i>c.1 Studio di compositi in SiC</i>												
	<i>c.2 Progettazione e costruzione di una camera sperimentale per prove di erosione-corrosione ad alta temperatura (1000°C) di campioni di SiC/SiC in litio-piombo</i>												
<b>d</b>	<b>FAST il nuovo esperimento satellite europeo</b>												
	<i>d.1 Sviluppo di un nuovo divertore compatibile con la standard topologia magnetica e con l'innovativa "Snow Flakes"</i>												
	<i>d.2 Studio sulla possibilità di modificare la parte inferiore di FAST per realizzare una configurazione tipo "Super X"</i>												
<b>e</b>	<b>Diffusione dei risultati</b>												

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 2012), pari a 39,9 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 % del costo diretto, con una tariffa media risultante di 24,0 €/h.

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)	
<b>a</b>	<b>Macchina JT-60SA</b>									
	a.1 Fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale	10150	406	244	2244	5	0	8	0	2907
	a.2 Realizz. strutture di contenimento bobine toroidali JT-60SA	9100	364	218	1584	25	55	7	0	2253
	a.3 Realizzazione degli "Switching Network Unit"	5800	232	139	878	5	0	5	0	1259
	a.4 Realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA	6900	276	166	518	5	0	5	0	970
	<i>Subtotale Ob.a</i>	<b>31950</b>	<b>1278</b>	<b>767</b>	<b>5224</b>	<b>40</b>	<b>55</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>7389</b>
<b>b</b>	<b>Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF</b>									
	b.1 Campagna sperimentale dei sistemi di monitoring online per la misura delle impurezze in litio e per i fenomeni di cavitazione per l'impianto EVEDA e costruzione del bersaglio a baionetta	450	18	11	5	10	150	40	0	234
	b.2 Campagne sperimentali a breve-medio termine (2000/4000 ore) per corrosione/erosione da litio	500	20	12	40	15	0	5	0	92
	b.3 Validazione del sistema di purificazione del litio e calibrazione del sistema di monitoring online per misura delle impurezze in litio per l'impianto LiFus6	450	18	11	15	15	6	5	0	70
	b.4 Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF	500	20	12	110	20	14	5	0	181
	b.5 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione completa di target assembly per IFMIF	500	20	12	45	10	26	5	0	118
	<i>Subtotale Ob.b</i>	<b>2400</b>	<b>96</b>	<b>58</b>	<b>215</b>	<b>70</b>	<b>196</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>695</b>
<b>c</b>	<b>Attività IFERC</b>									
	c.1 Studio di compositi in SiC	1500	60	36	0	0	0	0	250	346
	c.2 Progettazione e costruzione di una camera sperimentale per prove di erosione-corrosione ad alta temperatura di campioni di SiC/SiC in litio-piombo	1750	70	42	30	0	0	15	0	157
	<i>Subtotale Ob.c</i>	<b>3250</b>	<b>130</b>	<b>78</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>250</b>	<b>503</b>
<b>d</b>	<b>FAST il nuovo esperimento satellite europeo</b>									
	d.1 Sviluppo di un nuovo divertore compatibile con la standard topologia magnetica e con l'innovativa "Snow Flakes"	2245	90	54	0	0	45	0	0	189
	d.2 Studio sulla possibilità di modificare la parte inferiore di FAST per realizzare una configurazione tipo "Super X"	2243	90	53	0	0	45	0	0	188
	<i>Subtotale Ob. d</i>	<b>4488</b>	<b>180</b>	<b>107</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>377</b>
<b>e</b>	<b>Diffusione dei risultati</b>	<b>380</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>36</b>
	<b>TOTALE</b>	<b>42468</b>	<b>1699</b>	<b>1019</b>	<b>5469</b>	<b>110</b>	<b>343</b>	<b>110</b>	<b>250</b>	<b>9000</b>

\*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 la partecipata FN (250 k€)

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

Il Piano d'Azione Europeo per l'Efficienza Energetica 2011 rimarca il ruolo dell'efficienza energetica come strumento imprescindibile di riduzione dei consumi nell'ambito dei Paesi Membri, nel raggiungimento dell'obiettivo del -20% al 2020 e al fine di avviare un uso efficiente delle risorse. In parallelo, il Piano d'Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (PAN) fornisce ulteriori indicazioni a favore dell'efficienza energetica, come presupposto indispensabile per il raggiungimento degli obiettivi in materia di energie rinnovabili e riduzione della CO<sub>2</sub>. Il raggiungimento di tali obiettivi 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 energetica-mente 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 attuale del prodotto dell'attività**

Il consumo elettrico per abitazione in Italia ha registrato una riduzione di poco superiore al 4%, collegata all'acquisto e all'utilizzo da parte dei consumatori di apparecchi elettrici più efficienti, rispetto all'aumento di circa il 6% della media europea; nel settore terziario si evidenzia una differente distribuzione delle fonti energetiche rispetto a quanto visto nel residenziale, in quanto sono utilizzate quasi esclusivamente le due fonti principali: gas (50,4%) ed energia elettrica (45,4%). Il mercato dispone di diverse tecnologie di particolare interesse per il miglioramento dell'efficienza energetica nei settori civile e manifatturiero, ma è necessario che si consolidino e diffondano anche altre tecniche tali da rendere gli impianti energeticamente positivi grazie all'uso di un'attenta progettazione del sistema, grazie all' sviluppo di strumenti di calcolo validi con modelli matematici sufficientemente evoluti, e di logiche di regolazione e controllo.

### **Stato attuale delle tecnologie**

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.

Per quanto riguarda l'Industria alimentare, un ruolo primario assume la cosiddetta "catena del freddo", uno degli aspetti più importanti per la conservazione del prodotto e per la conseguente riduzione dei consumi energetici. 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). In questo ambito assume particolare importanza la combinazione e lo sfruttamento delle numerose caratteristiche e dei molti vantaggi della tecnologia Solid-State Lighting (SSL).

## **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. Le attività riguardano:

- 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. Comunicazione e diffusione dei risultati.

## **Coordinamento con attività di CNR e RSE**

Sono stati istituiti gruppi di lavoro con lo scopo di 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:

- Sistemi e tecnologie per il solar cooling
- Sistemi illuminazione innovativi LED OLED
- Sviluppo pareti opache
- Politiche energetiche nazionali e comunitarie.

Inoltre, 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 sullo studio di reti di distribuzione attive in MT e BT e sviluppo sistemi di accumulo avanzati integrati nelle reti elettriche.

## **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, 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". 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 obiettivi**

#### **a. Reti di poligenerazione**

##### **a.1 Sviluppo di indici per la valutazione delle prestazioni di reti energetiche in assetto poligenerativo e caratterizzazione mediante tali indici di varie topologie di reti reali e simulate mediante codici di calcolo dinamici**

La tematica oggetto del presente obiettivo nasce dai risultati dell'attività della scorsa annualità che ha

messo in evidenza come gli indici più comuni (reperibili in letteratura) utilizzati per valutare le prestazioni delle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento (EUF, PES, TPES, FESR) siano validi per reti alimentate da sistemi di generazione a fonte fossile, cioè cogeneratori, caldaie e pompe di calore a compressione ma palesino evidenti limiti in presenza di sistemi di generazione a fonte rinnovabile. Infatti tutti questi indici hanno lo scopo di valutare i consumi di energia primaria delle reti energetiche e confrontarli con il caso in cui la produzione energetica avvenga in modo separato, cioè da impianti che producano solamente energia elettrica, energia termica e/o energia frigorifera; quando nella rete energetica è presente un sistema di generazione a fonte rinnovabile o viene introdotto calore di scarto di processi industriali ovviamente la richiesta di energia primaria è nulla per cui gli indici suddetti o perdono significato o producono dei valori alterati e non interpretabili; a titolo di esempio si cita l'Energy Utilization Factor che coincide con il rendimento di Primo Principio, ovvero con il rapporto fra l'energia prodotta e quella consumata, e pertanto in presenza di fonti rinnovabili diventa infinito.

Poiché l'attività svolta nell'ambito del presente obiettivo mira a completare lo sviluppo di strumenti per la valutazione dei risparmi energetici conseguibili con reti energetiche che integrino varie tecnologie di produzione dell'energia (convenzionale e non) è necessario sviluppare nuovi indici prestazionali che contemplino la presenza di fonti rinnovabili e apporti di calore residuo di altri processi (lavorazioni industriali, RSU, etc.).

Un ulteriore aspetto che dovrà essere sintetizzato in appositi *indici* è quello relativo alle perdite caratteristiche della tipologia di rete: anche se tale informazione è implicita nei parametri che mettono in relazione l'energia primaria con quella distribuita dalla rete, un indice che evidenzia in dettaglio questo aspetto può meglio consentire la valutazione delle prestazioni e dell'efficienza della rete nella distribuzione del fluido termovettore. A completamento di tale fase sarà effettuato uno studio per caratterizzare una rete relativamente ai materiali e ai componenti impiegati, avvalendosi di casi reali e della collaborazione con le associazioni di categoria.

Per poter effettuare una analisi più completa delle prestazioni di una rete energetica, sarà effettuata una analisi exergetica di alcune fra le tipologie di reti più diffuse in Italia. L'obiettivo di tale approccio, che tiene conto del concetto di entropia e di irreversibilità di un sistema termodinamico, è quello di determinare il reale potenziale prestazionale di una rete e di incrementarne l'efficienza globale attraverso:

- la determinazione delle imperfezioni nella distribuzione e nell'utilizzo dell'energia;
- la determinazione dei livelli termici di distribuzione del fluido termovettore che avvicinino l'andamento della richiesta dell'utenza a quello della produzione.

Tutta l'attività sarà svolta prevalentemente utilizzando la piattaforma di simulazione dinamica sviluppata nelle precedenti annualità e gli indici sviluppati saranno applicati anche a casi reali.

La stessa piattaforma sarà ulteriormente sviluppata per poter ampliare le tipologie di reti energetiche simulabili, arricchita nella sezione di generazione con altre tecnologie di produzione a fonte rinnovabile (geotermia a bassa entalpia) e con l'immissione di calore di scarto (industriale, RSU) e per simulare la connessione alla rete termica di piccoli utenti produttori (allo scopo di consentire la realizzazione delle attività descritte al punto a.2).

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività descritta

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino, AIRU

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **a.2 Analisi di soluzioni progettuali e gestionali che favoriscano l'implementazione di nuovi servizi energetici nelle reti termiche in presenza di sistemi di poligenerazione**

Con il D. Lgs. 28/11: attuazione della direttiva 2009/28/CE, dal 28 maggio 2012 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; il decreto prevede inoltre un incremento al

50% dal 1 gennaio 2017.

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 presenza di una rete di teleriscaldamento gli obiettivi di produzione termica da fonte rinnovabile potrebbero però essere svincolati dai singoli edifici ed essere invece considerati in funzione del fabbisogno termico dell'intero sistema rete-edifici.

Lo studio del contributo delle sorgenti rinnovabili nelle reti termiche risulta inoltre 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 dalla stessa direttiva come sistemi che usano "per almeno il 50% energia rinnovabile, il 50% calore di scarto, il 75% calore cogenerato o il 50% una combinazione di tale energia e calore".

### Net metering termico

Nel corso della presente annualità, si verificherà la possibilità di applicare alle reti termiche di teleriscaldamento e di teleraffrescamento il servizio di scambio sul posto (net metering termico) e nell'annualità successiva si approfondirà l'argomento delle regole tecniche di connessione di utenze attive e delle problematiche ad esso collegate. In particolare, le attività si articoleranno secondo i seguenti punti:

- Simulazione del servizio di scambio sul posto in presenza di impianti a fonte rinnovabile connessi ad una rete di teleriscaldamento (o teleraffrescamento) esistente progettata per erogare potenza in modalità unidirezionale
- Analisi di scenari di gestione della rete termica (dispatching termico) e identificazione dei possibili operatori di rete in presenza di utilizzatori attivi.
- Analisi dei risparmi energetici ed economici apportati dal servizio di scambio sul posto agli utenti finali
- Analisi del sistema di contabilizzazione dell'energia termica prelevata e immessa in rete da utenti attivi scambiata con la rete da parte di utenti attivi ed individuazione dei sistemi di metering (contatori, protocolli di comunicazione, algoritmi di analisi dei dati acquisiti) utilizzabili per il servizio di scambio sul posto termico.

Sempre in considerazione del fatto che l'ottimizzazione delle reti di teleriscaldamento può essere realizzata anche attraverso la fornitura di specifici servizi ancillari, il calore può essere utilizzato anche per l'alimentazione degli utilizzatori elettrotermici (lavaggi). A seconda della presenza di storage termico, generazione locale di elettricità, controllabilità dei carichi, può risultare più o meno vantaggioso usare il calore dal teleriscaldamento invece che riscaldare l'acqua localmente elettricamente nell'utilizzatore.

Lo studio vuole sviluppare modelli in ambiente simulink matlab di una rete elettro termica campione per confrontare diversi scenari partendo da reti plausibili e carichi elettrotermici caratterizzati nel diagramma di assorbimento di calore ed elettricità. L'obiettivo è di individuare un possibile algoritmo di controllo che decida in tempo reale se alimentare l'utilizzatore con l'acqua calda o riscaldare l'acqua con elettricità.

### Caratterizzazione metrologica e funzionale di reti di misuratori

In continuità con quanto sviluppato nella precedente annualità gli aspetti che si intendono affrontare nella presente annualità riguardano lo studio delle possibili soluzioni progettuali e gestionali che consentano l'implementazione di una rete di smart multi-metering includendo anche la sua caratterizzazione metrologica e la validazione funzionale. Fulcro della suddetta rete è un concentratore di dati che sarà dotato di differenti interfacce di comunicazione, sia di tipologia a "bus" sia "punto-punto", per consentire la connessione a diversi tipi di misuratori.

Uno dei tradizionali limiti per l'integrazione orizzontale di diversi misuratori è nell'utilizzo di protocolli differenti e talvolta di natura proprietaria quindi non di pubblico dominio. Nella realizzazione della rete, invece, adeguandosi alle più recenti linee guida internazionali, si implementerà una soluzione basata su protocolli standard di comunicazione wireless e/o wired di tipo "open", che consentirà la massima possibilità di integrazione, interoperabilità ed intercambiabilità dei misuratori, anche in base ai più recenti

standard internazionali di gestione dei livelli superiori, nell'ambito ICT e Smart Cities. In particolare l'attività proposta si articolerà secondo i seguenti punti:

- Implementazione di protocolli di comunicazione aperti per consentire la intercambiabilità dei misuratori prodotti da differenti costruttori (lo stesso "linguaggio" o lo stesso meta-linguaggio)
- Individuazione di procedure di calibrazione e diagnostica di tutti i misuratori afferenti alla rete di misura (Self-identification, Self-configuration, Self-calibration);
- Intercambiabilità nella rete di controllo per misuratori installati
- Individuazione di "indici di prestazione" quali: accuratezza della misura, resilienza ad errori di comunicazione, tempo di latenza sulla comunicazione, sicurezza del dato, minimo intervallo di lettura, etc. per la qualificazione di reti di misuratori smart;
- Validazione della metodologia di prova e caratterizzazione metrologica proposta attraverso il lavoro sperimentale in laboratorio sia sui prototipi appositamente realizzati, sia su prodotti commerciali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività di studio e implementazione del servizio di net metering per le reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento
- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività relative alla caratterizzazione di una rete di misuratori

Principali collaborazioni: Seconda Università di Napoli (SUN) - Dipartimento DIII, Università "Sapienza" di Roma - Dipartimento DIAEE, Università di Bologna

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**a.3 Metodologia per l'individuazione del potenziale di applicazione e sviluppo delle reti di teleriscaldamento e di teleraffrescamento efficienti locali e su scala nazionale**

Sarà sviluppata una metodologia per l'individuazione del potenziale di adozione delle reti di teleriscaldamento e di teleraffrescamento efficienti. Tale metodologia potrà contribuire a rispondere a quanto previsto dalla Direttiva 2012/27/CE stessa in ambito di promozione dell'efficienza per il riscaldamento ed il raffrescamento. L'attività sarà condotta in collaborazione con le principali associazioni di categoria. Per lo svolgimento dell'attività si partirà dalla raccolta di dati (ad es. di consumo di energia termica) a differenti livelli di dettaglio (nazionale, regionale, locale) sulla base dei quali sarà realizzata l'analisi della domanda nazionale di riscaldamento e raffrescamento. Tale analisi avrà lo scopo primario di fornire un quadro della distribuzione territoriale della domanda di energia termica, per individuare ad es. le aree di concentrazione della domanda. Un'ulteriore analisi sarà relativa alle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento esistenti: il loro stato attuale, le tecnologie utilizzate (ad es. tipo di generazione, tipo di distribuzione, eventuale integrazione con fonti rinnovabili, utilizzo di cascami termici), l'individuazione della domanda energetica da esse soddisfatta. Per la raccolta dati e l'analisi dello stato attuale delle reti esistenti sarà fondamentale la collaborazione con le associazioni di categoria.

Una fase ulteriore dell'attività sarà l'individuazione di criteri e parametri in base ai quali potrà essere valutata l'opportunità dello sviluppo e dell'incremento delle reti esistenti e dell'incremento della loro efficienza in termini di utilizzo di energia rinnovabile e/o di calore di scarto o cogenerato. Tali criteri dovranno considerare aspetti quali ad es. quelli territoriali (orografia, estensione superficiale), urbanistici (indice di edificabilità), industriali e produttivi (presenza di distretti industriali o terziari e caratteristiche degli stessi), del territorio di riferimento. Analogamente saranno individuati criteri e parametri in base ai quali potrà essere valutata l'opportunità di realizzazione di una nuova rete efficiente. Saranno quindi individuati tipologicamente gli aggregati urbani e/o produttivi con caratteristiche compatibili con nuove reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento o con l'estensione di reti esistenti.

Alla luce dell'analisi della domanda dettagliata di riscaldamento e di raffrescamento, e delle analisi relative alle condizioni al contorno favorevoli allo sviluppo e/o alla realizzazione di nuove reti efficienti, sarà individuata la domanda di riscaldamento e di raffrescamento che potrebbe essere soddisfatta con teleriscaldamento e teleraffrescamento efficienti.

Sarà inoltre sviluppata una metodologia di valutazione costi-benefici dell'applicazione di reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento in funzione di possibili scenari energetici - tipo.

Avvalendosi delle analisi sopra descritte, degli indici sopra menzionati e degli indici prestazionali delle reti che saranno sviluppati nell'ambito dell'obiettivo a1, sarà definita una metodologia di valutazione globale dei potenziali di efficienza energetica raggiungibili con l'adozione di sistemi di reti efficienti. Tra gli aspetti cardine che saranno presi in considerazione rientrano la quota di energia rinnovabile utilizzata, l'uso efficiente delle risorse locali disponibili nel territorio (ad es. la geotermia, il calore di scarto industriale riutilizzabile) e l'adozione di tecnologie efficienti di produzione di energia termica (ad es. cogenerazione ad alto rendimento). L'applicazione delle metodologie sviluppate consentirà la valutazione dei potenziali di adozione di reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento efficienti, comprensiva dell'analisi costi-benefici in funzione dei possibili scenari energetici, e l'individuazione di strategie, politiche e misure (anche di incentivazione) adottabili per realizzare i potenziali individuati.

Nel corso dell'attuale annualità sarà realizzata l'estesa raccolta dei dati necessari alle analisi, e saranno realizzate l'analisi della domanda nazionale di riscaldamento e raffrescamento, e l'analisi delle reti esistenti. Saranno inoltre individuati tipologicamente gli aggregati urbani e/o produttivi con caratteristiche compatibili con nuove reti o con l'estensione di reti esistenti, e saranno individuati i criteri e i parametri per la valutazione della costruzione di nuove reti o dello sviluppo e dell'efficientamento delle reti esistenti.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività di sviluppo della metodologia per l'individuazione del potenziale di applicazione delle reti di teleriscaldamento e di teleraffrescamento efficienti

Principali collaborazioni: AIRU

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **b. Gestione ottimale di reti 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 uno Smart Village sperimentale, al fine di supportare il gestore energetico nell'attuare politiche di controllo della domanda basate su una modellistica avanzata che non penalizzi il comfort dell'utente evitando quanto più possibile distacchi dalla rete.

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 centralizzato 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 l'*active demand*. 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 e per attuare le richieste di *active demand*.

Si prevedono i seguenti tre obiettivi.

### ***b.1 Estensione dei modelli diagnostici e di controllo ed applicazione alla rete di edifici***

Il modello diagnostico sulla linea luci validato su singolo edificio nella annualità precedente sarà applicato alla linea del condizionamento e verrà applicato il controllo adattivo dell'illuminazione interna al gruppo di edifici esclusi nel precedente anno. Le logiche di diagnostica sviluppate in precedenza verranno implementate per il caso termico, attraverso un data fusion che tiene conto degli indicatori di preprocessing, situation assessment e cause. Nei precedenti PAR infatti era stato sviluppato l'approccio generale basato su una struttura decisionale ad albero che partendo dai dati grezzi questi vengono elaborati ed aggregati secondo stadi successivi fino a risalire alle possibili cause che hanno generato un'anomalia. Analogamente al PAR precedente, verranno definiti sia gli opportuni fuzzy set che le regole di aggregazione ed il tutto sarà implementato sulla piattaforma ICT 'Smart Village'. Il risultato atteso sarà quello di ottenere un sistema di rilevazione delle anomalie per la linea termica, che le identifichi e le segnali in tempo quasi reale. L'implementazione e la validazione di tale sistema di diagnostica delle anomalie sull'impianto termico sarà fatta su un edificio di riferimento del C.R. Casaccia (edificio F40).



Oltre a questo, sarà anche sviluppato un modulo di supervisione del Building Energy Management System (BEMS) dell'edificio F40 che permetta controllo delle temperature di set point dei termostati di stanza.

Grazie alla rilevante quantità di dati provenienti dalla rete sarà possibile comparare le prestazioni degli edifici che ne fanno parte; a tal fine saranno definiti nuovi Key Performance Indicators (KPI) appositamente ottimizzati per il modello della rete. In particolare, sarà esteso il lavoro sviluppato nel PAR 2012 sugli indicatori elettrici al caso termico. Inoltre, l'attività continua di monitoraggio energetico della rete genera un database considerevole che necessita di essere validato e successivamente analizzato per dare adeguata robustezza ai dati. Saranno anche studiate metodologie di rilevazione delle presenze alternative a sensori e sistemi di badging tramite la misurazione delle attività a computer.

Un supporto alla gestione energetica della rete sarà fornita da un'attività di visualizzazione integrata dello smart village in termini di monitoraggio e diagnostica delle utenze energetiche oggetto della ricerca.

I suddetti sistemi di integrazione e visualizzazione delle informazioni si poggeranno sulle infrastrutture ICT distribuite dell'ENEA (cloud/griglia computazionale). A tale proposito sarà necessario provvedere alla manutenzione e upgrading delle stesse in termini di sistemi computazionali, storage, e networking, e allo sviluppo e/o customizzazione delle opportune soluzioni software.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sull'implementazione e sperimentazione di modelli diagnostici e di controllo su una rete di edifici

Principali collaborazioni: Università Roma Tre, Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **b.2 Sviluppo e validazione su simulatore di metodologie per active demand**

Si prevede l'implementazione delle metodologie per la modulazione dell'erogazione dell'energia in funzione della domanda che diviene parte attiva del sistema in quanto resa flessibile e adattabile. In questa annualità saranno migliorate alcune funzionalità del simulatore termico sviluppato nella precedente annualità. Attualmente la centrale termica/frigorifera lavora in condizioni di rendimento costante mentre evolverà nella direzione di poter simulare anche situazioni di carico parziale. In secondo luogo sarà considerato fra le condizioni al contorno anche il costo dell'energia visto che al presente tutte le condizioni al contorno (meteo, occupazione e costo energia) vengono gestite staticamente tramite importazione di file e si predisporrà il simulatore in modo tale da gestire queste dinamicamente con l'aggancio a modelli predittivi (che saranno sviluppati nel PAR successivo) che sostituiranno l'attuale meccanismo tramite file. Infine, sarà inserita la modellazione dei consumi elettrici integrandoli con quelli termici simulando il controllo dell'accensione e spegnimento dei fan-coil e la dimmerazione dell'illuminazione indoor.

Inoltre, è previsto l'assessment del simulatore. Ovvero, a partire dai dati sperimentali degli edifici monitorati nello *Smart Village*, verrà effettuata una calibrazione del simulatore al fine di conseguire una migliore corrispondenza tra il modello ed il comportamento reale degli edifici.

Infine, il simulatore sarà integrato con gli algoritmi di ottimizzazione in un ambiente unico. Questi ultimi forniranno al simulatore i valori delle variabili di controllo (es. set point temperature) il quale fornirà al modulo di ottimizzazione i dati per il calcolo delle funzioni di costo le quali, insieme ai dati relativi alle condizioni al contorno procederà all'ottimizzazione multiobiettivo minimizzando il discomfort degli utenti e minimizzando i consumi energetici.

#### Risultati/Deliverable

- Rapporto tecnico sullo sviluppo di un simulatore elettrico/termico di una rete di edifici e sperimentazione su questo di algoritmi di ottimizzazione finalizzati alla domanda attiva

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **b.3. Partecipazione ai network di ricerca europei**

Il tema della gestione ottimale di reti edifici è strettamente connesso con le reti di ricerca europee sulle

smart cities alle quali ENEA partecipa e dove in alcuni casi svolge un ruolo di coordinamento primario, come nel “Joint Program EERA Smart City”, la “Smart City Stakeholders Platform”, il “JPI Urban Europe”, la “Member State Smart City Initiative” ed il “Covenant of Mayors”.

Nel contesto europeo infatti ENEA si propone come punto di riferimento italiano riguardo al tema delle reti di edifici e distretti; in precedenza è stata sviluppata una metodologia di valutazione e di implementazione di iniziative e progetti smart cities basata su una piattaforma open source che ospita un database di tutti i progetti censiti. Nella presente annualità si intende mettere a punto una metodologia per la pianificazione delle smart cities a servizio di città e stakeholder industriali, ovvero realizzare uno strumento di programmazione con indicazioni metodologiche e tecniche per avviare iniziative di smart cities.

Infine, la disseminazione scientifica dei risultati sarà realizzata oltre che con la partecipazione a network internazionali anche attraverso la partecipazione convegni e workshop in cui promuovere le attività realizzate e in corso di svolgimento.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **c. Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione**

#### ***c.1 Sperimentazione con materiali TAT per OLED***

L'attività sui dispositivi luminescenti realizzati tramite l'impiego di materiali organici (OLED) prosegue con la sintesi e la sperimentazione di materiali innovativi, in particolare con la famiglia dei triazatruxeni (TAT), per le potenzialità che essi mostrano, sia per il colore della luce prodotta sia per la stabilità termica ed ambientale mostrata, dedicando attività sia alla sintesi di ulteriori nuove molecole, sia al miglioramento della struttura degli OLED in cui utilizzare tali materiali, al fine di incrementare le prestazioni e l'efficienza dei dispositivi ottenuti.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla sintesi e caratterizzazione di materiali innovativi luminescenti e loro applicazione in dispositivi OLED

Principali collaborazioni: Università Napoli Federico II Dip. Chimica

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### ***c.2 Progettazione e sperimentazione di installazioni efficienti a LED***

Verrà completata la fase realizzativa - presso il laboratorio ENEA di Ispra – del sistema innovativo di illuminazione per ambienti interni – chiamato HumbleBee - basato su apparecchi di illuminazione a fosfori remoti e un sistema di controllo smart wireless per la gestione dell'impianto di illuminazione. Il sistema sarà quindi sottoposto ad una delicata fase di commissioning e taratura che sarà propedeutica alla fase effettiva di messa in servizio e monitoraggio dei parametri energetici ed ambientali. Sarà quindi svolta la sperimentazione sul campo, e in parallelo saranno effettuati test di laboratorio su un esemplare dell'apparecchio di illuminazione, per testarne, in modo parametrico, prestazioni illuminotecniche ed elettriche in condizioni di riferimento. Il locale-laboratorio di Ispra, dove viene installato e testato HumbleBee, è un modulo di edificio di tipo industriale (grande locale, altezza elevata, finestratura alta ecc. ecc.), ma con utilizzi diversi dall'industriale, in quanto vi si svolgono attività di ricerca sperimentale, quindi con compiti visivi particolari e requisiti illuminotecniche corrispondenti. La ricerca verrà finalizzata allo sviluppo di un sistema di illuminazione per l'industria. Lo scopo della ricerca è quello di valutare l'impatto e possibili scenari applicativi delle nuove tecnologie LED illuminazione industriale: in questo ambito di impiego aspetti importanti investono la produttività dei lavoratori, il confort visivo inteso come corretti livelli di illuminamento, contenimento dell'abbagliamento e dei segni di affaticamento dei lavoratori. Una migliore illuminazione può contribuire a ridurre il rischio di incidenti, migliorare l'efficienza dei controlli visivi sulle lavorazioni e aumentare l'efficienza di produzione.

Saranno svolte in parallelo attività sperimentali legate all'essere umano in quanto fruitore dell'illuminazione: questo è importante in generale e pensando in particolare agli ambienti di lavoro oggetto di ricerca. Viene quindi proseguita e approfondita la ricerca e la sperimentazione riguardante le misure di resa cromatica delle sorgenti luminose, tenendo in considerazione il contesto di visione e la distribuzione spaziale dei colori all'interno della scena, con approfondimenti sull'aspetto circadiano legato al colore. In particolare saranno testati con esperimenti percettivi la validità di alcuni indici oggi usati per la resa dei colori, e l'approccio / utilizzo che oggi viene tenuto dall'industria e dai vari stakeholders su questi indici. Continuando la sperimentazione dell'annualità precedente, ci si propone di valutare gli effetti di sorgenti innovative, di tipo LED, sulle prestazioni dell'essere umano. La sperimentazione si baserà sul confronto tra le performance di un gruppo di riferimento, che lavorerà in condizioni standard di illuminazione, e un gruppo sperimentale che sarà soggetto ad un'alterazione dell'ambiente di lavoro durante l'esecuzione dei test di valutazione. In quest'annualità, l'obiettivo che ci si prefigge di analizzare è la risposta dei soggetti in termini di vigilanza e attenzione.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dello sviluppo dei sistemi di illuminazione e degli studi relativi alla resa cromatica delle sorgenti luminose

Principali collaborazioni: Università Milano - Dip. Informatica, Università "Sapienza" di Roma - Dip. DIAEE, Politecnico Milano - Dip. Design, Università Napoli "Federico II" - Dip. Chimica

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### ***c.3 Progetto Lumiere: sviluppo del progetto Osservatorio e del tool di monitoraggio degli impianti riqualificati***

Nel corso delle precedenti annualità il progetto Lumiere, partito da un'approfondita analisi del settore della pubblica illuminazione, ne ha individuato le criticità, i punti di forza e tutti gli operatori coinvolti, facendone emergere sia le sue potenzialità nella riduzione dei consumi energetici, nell'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera e nel miglioramento delle prestazioni funzionali ed illuminotecniche degli impianti, sia il suo ruolo nella applicazione, gestione e sperimentazione degli smart services volti alla trasformazione delle nostre realtà territoriali in smart cities.

I task della annualità sono:

1. Avvio dell'Osservatorio Lumiere volto a strutturare ed ufficializzare l'attività del progetto Lumiere creando un tavolo di confronto al quale verranno ufficialmente ed operativamente coinvolti, i principali stakeholder del settore. L'Osservatorio avrà il compito di discutere e condividere gli standard sviluppati e rispondere ad amministrazioni ed istituzioni non solo per avere indicazioni sui possibili percorsi certificati per la riqualificazione degli impianti di PI ma anche in funzione delle loro esigenze.
2. Implementazione e sperimentazione su uno o più impianti illuminotecnici del tool per la certificazione energetica degli impianti ed analisi remota real time delle loro prestazioni già progettato nel PAR 2012. In particolare verrà sviluppata la parte relativa allo "sistema di valutazione real time della prestazione ed efficienza energetica dell'impianto di pubblica illuminazione" ed un primo prototipo del sistema di diagnostica real time dell'impianto e dei suoi principali indicatori storici. Poiché la finalità del tool è quello di diventare uno standard per molti stakeholder, verrà sottoposta l'intera metodologia al giudizio ed assessment dell'Osservatorio Lumiere (in particolare Assil, Aidi e Consip). Nell'anno successivo il sistema sarà completato nella sua forma prototipale ed applicato a una municipalità. Alla fine del suo sviluppo il tool consentirà la possibilità di accesso semplificato da parte a) della amministrazione locale, b) dei gestori dell'impianto, c) dei cittadini, d) dei soggetti finanziatori dell'intervento riqualificativo ai fini di monitorarne i tempi di rientro degli investimenti e ne verrà proposto l'inserimento nei bandi CONSIP come strumento di riferimento per la certificazione dei risultati ottenuti in termini di efficienza energetica e prestazioni. (CRIET)
3. Integrazione del tool di progettazione sviluppato nel PAR 2012 (City Profiler IP) con gli aspetti legati agli smart services associati alla illuminazione pubblica. (CRIET)
4. Consolidamento degli standard sviluppati e sperimentazione del "percorso Lumiere" in un progetto

pilota da realizzarsi presso una municipalità (probabilmente il comune di Romcade). Tale attività è condizionata alla realizzazione da parte del Comune degli investimenti necessari.

5. Sviluppo dell'ipotesi di predisporre dei prodotti standardizzati (relativi al "percorso Lumiere") da inserire nel Mercato Elettronico della Pubblica Amministrazione (MEPA). Questa attività verrà svolta in partnership con Consip e si concentrerà sull'audit energetico e censimento quale passo necessario sia per la redazione del piano della luce sia per la redazione dei PAES previsti nell'ambito del Patto dei Sindaci, iniziativa che vede Enea coordinatore nazionale. (ASSISTAL per la definizione dei parametri per l'audit Lumiere)
6. Supporto verso le amministrazioni all'uso degli standard e tools del "percorso Lumiere" nella realizzazione degli interventi riqualificativi e nell'ammmodernamento smart degli impianti attraverso workshop formativi ed audit degli impianti.
7. Partecipazione al Patto dei Sindaci ed all'Osservatorio ANCI Smart City per la diffusione del "percorso Lumiere" all'interno delle best practice e delle iniziative di queste due reti.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività descritte nei punti 1-7.
- Prototipo di un "sistema di valutazione real time dell'impianto di illuminazione pubblica" (sw) e integrazione del tool di progettazione del City Profiler IP e relativo report descrittivo
- Realizzazione di 2 giornate formative per gli amministratori aventi per oggetto i Piani della Luce e l'utilizzo del Tool sviluppato nell'attualità precedente.

Principali collaborazioni: ASSISTAL CRIET

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **d. Tecnologie per l'industria del freddo**

##### ***d.1. Caratterizzazione mediante naso elettronico commerciale, dell'atmosfera interna della cella frigorifera caricata con ortofrutta fresca al fine dello sviluppo di un naso elettronico innovativo finalizzato al risparmio energetico***

Nel corso del presente anno verranno effettuate una serie di campagne sperimentali nel laboratorio allestito nel corso della scorsa annualità, in cui monitorare l'ortofrutta di stagione per seguire l'evoluzione dell'atmosfera all'interno della cella frigorifero sia con il naso elettronico commerciale (PEN3), che con i prototipi di array di sensori dedicati che stiamo sviluppando nel corso del progetto. L'obiettivo principale è quello di individuare la configurazione dell'array di sensori dedicato 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 m<sup>3</sup>, 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 m<sup>3</sup> 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.

Il software sviluppato nel corso del 1° anno con Labview per la lettura e l'elaborazione dei dati dei sensori montati sulla piattaforma Libelium, consentirà di confrontare i dati dei sensori del naso elettronico dedicato con i dati del naso elettronico commerciale ed individuare alcune specifiche situazioni sperimentali di particolare interesse che possano essere poi analizzate in modo quantitativo. A questo scopo si provvederà anche ad attrezzarsi 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. Verrà parallelamente portato avanti il lavoro di sviluppo del naso elettronico 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. Il laboratorio allestito consentirà di effettuare le campagne di misura

con quantitativi di ortofrutta e condizioni sperimentali avvicinabili a quelle reali delle celle di stoccaggio dell'ortofrutta, diverse da quelle delle prime campagne sperimentali effettuate con il naso elettronico commerciale nel corso del 1° anno di attività.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività inerenti la caratterizzazione mediante naso elettronico commerciale, dell'atmosfera interna della cella frigorifera caricata con ortofrutta fresca al fine dello sviluppo di un naso elettronico innovativo finalizzato al risparmio energetico

Principali collaborazioni: Università "Sapienza" di Roma

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**d.2 Ottimizzazione e caratterizzazione di pannelli sandwich contenenti Materiali a Cambiamento di Fase (PCM) per la realizzazione di celle frigorifere per il trasporto ferroviario**

L'utilizzo del trasporto ferroviario si sta sempre più espandendo anche ai prodotti refrigerati/congelati mediante l'utilizzo di speciali container frigoriferi appositamente attrezzati.

Tra le strategie attive impiegabili per il miglioramento delle caratteristiche di isolamento termico e degli spessori isolanti delle pareti delle celle frigorifere sta riscuotendo un crescente interesse l'utilizzo dei cosiddetti materiali a cambiamento di fase (Phase Change Material, PCM). Le attività di ricerca condotte nel primo anno hanno permesso di verificare che l'applicazione di un materiale PCM di tipo paraffinico nella struttura sandwich delle celle frigorifere può comportare una reale diminuzione dei consumi energetici e, nel contempo, che le tecnologie di inserimento dei PCM all'interno delle strutture sandwich, rappresenta un elemento critico specie in condizioni particolari di esercizio quali ad esempio quelle dovute alle dinamiche vibrazionali tipiche dei trasporti ferroviari. L'attività del secondo anno quindi, sulla scorta delle indicazioni ricevute dalle attività precedenti, punta alla ottimizzazione della struttura sandwich contenenti PCM, di celle frigorifere specificatamente concepite per il trasporto ferroviario. A tal fine verranno progettate e realizzate alcune strutture specifiche di contenimento in materiale polimerico o metallico del/dei PCM individuati, che verranno successivamente inserite/collegate mediante idonee tecniche di giunzione a strutture sandwich commerciali, le quali dopo essere state sottoposte a prove di sollecitazione vibrazionale e dinamiche tipiche dei trasporti ferroviari, verranno caratterizzate mediante test di qualificazione funzionale, mediante l'utilizzo di tecniche NDT di tipo ultrasonico, per verificarne la idoneità strutturale alle condizioni di esercizio. E' evidente infatti che sollecitazioni particolarmente intense che possono portare alla deformazione/scollamento delle pareti isolanti, possono produrre una drastica riduzione della efficienza di immagazzinamento della energia radiante. Successivamente, una volta individuata la struttura di contenimento più idonea e la relativa tecnica di giunzione più affidabile, verrà realizzata la completa "coibentazione" della cella frigorifera acquisita nella precedente attività di ricerca. La cella frigorifera così ottimizzata ed una cella identica di tipo commerciale, esposte ai carichi termici ambientali esterni, verranno sottoposte ad un esteso programma di test sperimentali atti a verificare la evidenziazione del contributo del materiale PCM utilizzato, al risparmio energetico. A tale scopo le due celle saranno dotate di un sistema di monitoraggio dei parametri termici caratterizzanti il comportamento termodinamico delle stesse, mentre il rilievo dei parametri ambientali esterni sarà effettuato attraverso l'uso di una centralina climatica appositamente attrezzata. In particolare verranno misurate: temperature interne alle celle a varie altezze per verificare eventuali stratificazioni dell'aria interna alla cella, temperature superficiali interne ed esterne dei pannelli di tamponamento ed infine i flussi termici entranti. Contemporaneamente, attraverso l'uso di una centralina climatica, verranno registrati tutti i dati climatici che influenzano l'evoluzione termica delle celle. Dalle attività sperimentali prima descritte sarà quindi possibile da un lato evidenziare il sistema di contenimento ottimale del materiale PCM e, cosa ancora più importante, il sistema di giunzione ottimale per l'applicazione prevista e dall'altro di verificare, mediante una attività sperimentale prolungata in condizioni controllate, il reale contributo al risparmio energetico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività inerenti la ottimizzazione e la caratterizzazione di pannelli sandwich contenenti *Materiali a Cambiamento di Fase* (PCM) per la realizzazione di celle frigorifere specificatamente concepite per il trasporto ferroviario

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche

Durata: ottobre 2013-settembre 2014

#### **e. Comunicazione e diffusione attività e risultati**

Le principali azioni di diffusione e comunicazione riguarderanno principalmente pubblicazioni ed articoli sulla stampa, generica e specializzata e 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. 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", che costituisce un'altra naturale e prestigiosa sede operativa di coordinamento 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:

- Rapporto sulle attività svolte

Durata: ottobre 2013-settembre 2014

## Programma temporale e preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014																				
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S												
<b>a</b>	<b>Reti di poligenerazione</b>																								
	a.1 Sviluppo di indici per la valutazione delle prestazioni di reti energetiche in assetto poligenerativo e caratterizzazione mediante tali indici di varie topologie di reti reali e simulate mediante codici di calcolo dinamici																								
	a.2 Analisi di soluzioni progettuali e gestionali che favoriscano l'implementazione di nuovi servizi energetici nelle reti termiche in presenza di sistemi di poligenerazione																								
	a.3 Metodologia per l'individuazione del potenziale di applicazione e sviluppo delle reti di teleriscaldamento e di teleraffrescamento efficienti locali e su scala nazionale																								
<b>b</b>	<b>Gestione ottimale rete di edifici</b>																								
	b.1 Estensione dei modelli diagnostici e di controllo ed applicazione alla rete di edifici																								
	b.2 Sviluppo e validazione su simulatore di metodologie per active demand																								
	b.3 Partecipazione ai network di ricerca europei e disseminazione scientifica																								
<b>c</b>	<b>Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione</b>																								
	c.1 Strutture OLED con materiali di sintesi innovativa																								
	c.2 Progettazione e sperimentazione di installazioni efficienti a LED																								
	c.3 Progetto Lumiere: sviluppo del progetto Osservatorio e del tool di monitoraggio degli impianti riqualificati																								
<b>d</b>	<b>Tecnologie per l'industria del freddo</b>																								
	d.1 Caratterizzazione mediante naso elettronico commerciale, dell'atmosfera interna della cella frigorifera caricata con ortofrutta fresca al fine dello sviluppo di un naso elettronico innovativo finalizzato al risparmio energetico																								
	d.2 Ottimizzazione e caratterizzazione di pannelli sandwich contenenti PCM per la realizzazione di celle frigorifere per il trasporto ferroviario																								
<b>e</b>	<b>Comunicazione e diffusione attività e risultati</b>																								

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.1 del PAR 2012) pari a 36,8 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 % del costo diretto, con una tariffa media risultante di 22,1 €/h.

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)	
<b>a</b>	<b>Reti di poligenerazione</b>									
	a.1 Sviluppo di indici per la valutazione delle prestazioni di reti energetiche in assetto poligenerativo e caratterizzazione mediante tali indici di varie topologie di reti reali e simulate mediante codici di calcolo dinamici	1700	63	38	0	10	0	2	35	148
	a.2 Analisi di soluzioni progettuali e gestionali che favoriscano l'implementazione di nuovi servizi energetici nelle reti termiche in presenza di sistemi di poligenerazione	1700	62	37	3	16	0	6	85	209
	a.3 Metodologia per l'individuazione del potenziale di applicazione e sviluppo delle reti di teleriscaldamento e di teleraffrescamento efficienti locali e su scala nazionale	1500	55	33	0	0	0	2	0	90
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>4900</b>	<b>180</b>	<b>108</b>	<b>3</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>120</b>	<b>447</b>
<b>b</b>	<b>Gestione ottimale rete di edifici</b>									
	b.1 Estensione dei modelli diagnostici e di controllo ed applicazione alla rete di edifici	2200	82	48	0	36	0	0	80	246
	b.2 Sviluppo e validazione su simulatore di metodologie per active demand	2400	87	54	0	0	0	5	40	186
	b.3 Partecipazione ai network di ricerca europei e disseminazione scientifica	500	18	11	0	0	10	5	0	44
	<i>Subtotale Ob. b</i>	<b>5100</b>	<b>187</b>	<b>113</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>120</b>	<b>476</b>
<b>c</b>	<b>Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione</b>									
	c.1 Strutture OLED con materiali di sintesi innovativa	400	15	9	0	5	0	1	20	50
	c.2 Progettazione e sperimentazione di installazioni efficienti a LED	2500	92	55	20	20	0	7	80	274
	c.3 Progetto Lumiere: sviluppo del progetto Osservatorio e del tool di monitoraggio degli impianti riqualificati	1450	53	32	0	1	10	8	20	124
	<i>Subtotale Ob. c</i>	<b>4350</b>	<b>160</b>	<b>96</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>120</b>	<b>448</b>
<b>d</b>	<b>Tecnologie per l'industria del freddo</b>									
	d.1 Caratterizzazione mediante naso elettronico commerciale, dell'atmosfera interna della cella frigorifera caricata con ortofrutta fresca al fine dello sviluppo di un naso elettronico innovativo finalizzato al risparmio energetico	2120	77	47	3	7	0	12	25	171
	d.2 Ottimizzazione e caratterizzazione di pannelli sandwich contenenti PCM per la realizzazione di celle frigorifere per il trasporto ferroviario	2100	77	46	3	3	10	8	25	172
	<i>Subtotale Ob. d</i>	<b>4220</b>	<b>154</b>	<b>93</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>343</b>
<b>e</b>	<b>Comunicazione e diffusione attività e risultati</b>	<b>1300</b>	<b>48</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>86</b>
	<b>TOTALE</b>	<b>19870</b>	<b>729</b>	<b>438</b>	<b>29</b>	<b>98</b>	<b>30</b>	<b>66</b>	<b>410</b>	<b>1800</b>

\* 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



<b>AREA</b>	<b>RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA</b>
<b>Tema di Ricerca</b>	<b>STUDIO E PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA SUL PATRIMONIO IMMOBILIARE PUBBLICO</b>
<b>Progetto C.2</b>	<b>SVILUPPO DI MODELLI PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA SUL PATRIMONIO IMMOBILIARE PUBBLICO</b>

REV. 0

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

Le attività fanno riferimento agli impegni assunti nel PAEE 2011 e agli adempimenti che le nuove Direttive europee impongono agli Stati membri. In quest'ambito una grande importanza è da attribuire allo sviluppo di strumenti e modelli applicativi semplificati per la diagnosi energetica, per la Certificazione energetica degli edifici, per il calcolo dell'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. 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" (Nearly Energy Zero Building), con una attenzione mirata agli edifici esistenti delle PA per le diverse destinazioni d'uso.

### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

La recente Direttiva 27/2012/CE rimarca il ruolo determinante 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. In particolare viene richiesto di determinare, nell'ambito delle destinazioni d'uso residenziale e non residenziale, gli edifici di riferimento nuovi ed esistenti, la definizione di nuovi standard di prestazione energetica degli edifici, la definizione degli edifici NEZB, la 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.

### **Stato attuale delle tecnologie**

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 NZEB 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 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 e il calcolo dell'indicatore energetico per l'illuminazione, per gli edifici del terziario.

### **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.

### **Coordinamento con attività di CNR e RSE**

Non sono previste attività di coordinamento con RSE e CNR poiché 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.

## **PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ**

### **Descrizione obiettivi**

#### **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 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 particolarmente 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 tenere 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 e strumenti**

- Analisi dei dati di consumo elettrico, rilevati in tempo reale e archiviati tramite apposito software di acquisizione in remoto, degli edifici costituenti i campus di Città Studi e Bovisa del Politecnico di Milano, la verifica delle utenze pertinenti, nonché la loro elaborazione, anche tramite incrocio delle

informazioni desunte interrogando un apposito database dinamico descrivente la consistenza del parco edifici, al fine di ottenere indicatori/benchmark di consumo per edifici-tipo del terziario.

- Sviluppo di un modello per sostenere le PA nella scelta delle tecnologie da promuovere per la realizzazione e la diffusione dei NZEB. L'attività prevedono la definizione degli interventi che rientrano nel concetto di "efficienza energetica" (isolamenti, tecniche di costruzione e riqualificazione, sistemi di gestione, ecc.); la creazione di una banca dati di innovazioni rese disponibili dall'industria nazionale (quindi prodotte in Italia) e a livello delle singole regioni ma non ancora affermate sul mercato; e il calcolo, attraverso un algoritmo di cost-optimality, dei livelli di incentivi necessari per rendere convenienti le singole innovazioni e, su base nazionale, di una serie di indici che mettano in luce il rapporto costo/benefici dei diversi interventi.
- Sviluppo e aggiornamento della metodologia cost optimal per la valutazione della rispondenza degli standard energetici nazionali, da applicare agli edifici di riferimento, secondo le linee guida della metodologia comparativa promossa dalla 2012/31/CE. Analisi di sensibilità della metodologia cost optimal per gli edifici residenziali ed a uso uffici.
- 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 utente tipo sia il più "energy-waster" o "energy-saver" nell'ambito residenziale, come negli edifici per uffici.
- 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. Verrà definito un insieme di tecnologie innovative applicabili per realizzare interventi di efficienza energetica negli edifici della PA, tra cui a titolo di esempio caldaie a condensazione, pompe di calore, sistemi di controllo solare, impianti solari termici, impianti di solar cooling, sistemi di building automation, micro-cogenerazione e trigenerazione, sistemi di accumulo dell'energia termica, smart metering, impianti di illuminazione efficienti. Si procederà quindi a segmentare l'insieme degli ambiti di applicazione di interesse, distinguendo ad esempio tra diverse tipologie di edifici della PA da sottoporre ad indagine, tra cui scuole, ospedali, uffici. Per ciascuna tecnologia per l'efficienza energetica si valuterà la sostenibilità economica nei diversi ambiti di applicazione considerati, calcolando il valore di indicatori essenziali quali il costo medio dell'energia elettrica e termica auto-prodotta o risparmiata lungo la vita utile dell'impianto, il tempo di pay-back e il valore attualizzato netto dell'investimento, l'entità dell'energia risparmiata e dell'emissione di CO2 evitata. La valutazione della sostenibilità economica verrà effettuata sia nel caso di ricorso ai meccanismi di incentivazione attualmente disponibili in Italia (quali ad esempio il Conto Energia Termico ed i Titoli di Efficienza Energetica), sia nel caso di assenza di incentivi.
- 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
- Applicazione del SW SEAS; sono previsti una serie di incontri con gli operatori pubblici e privati, al fine di promuovere l'utilizzo del SEAS e raccogliere le osservazioni per apportare opportune modifiche al software, rendendolo sempre più compatibile con le effettive esigenze. Inoltre si svilupperà il SEAS per la diagnosi energetica negli alberghi e per ambienti delle degenze ospedaliere dotate di impianti climatizzazione invernale, come quelli ad aria primaria, in cui la quota di calore sensibile venga fornita

da corpi scaldanti ad acqua (es. fan coil) e quella latente ed i ricambi d'aria da aria neutra. Le attività consisteranno nello sviluppare l'applicativo del SEAS e nell'individuare due edifici uno a destinazione albergo e l'altro ad ospedale su cui applicare il modello di diagnosi energetica con il supporto del SEAS.

- 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. Saranno valutate possibili strategie e requisiti per edifici a energia quasi zero nelle ristrutturazioni edilizie nel settore terziario e scolastico, considerando due tipologie di interesse sia per il settore privato sia per quello pubblico, quali in particolare:
  - un edificio per uffici e un edificio scolastico,
  - in due contesti climatici italiani (Roma e Milano).

In particolare il lavoro di ricerca si svilupperà nelle seguenti attività:

- Elaborazione dei risultati di simulazioni energetiche dinamica dei due modelli di edificio con varianti di involucro edilizio per la determinazione dei rispettivi *icpro needs* per riscaldamento, raffrescamento ed *icpro use* per illuminazione, nei due contesti climatici considerati.
- Elaborazione di curve *energia primaria netta/costi globali sul ciclo di vita* con riferimento alla metodologia comparativa (*metodologia cost-optimal*) per mezzo di strumento di calcolo sviluppato da eERG-PoliMI.
- Valutazione di possibili strategie e requisiti per edifici a energia quasi zero nelle ristrutturazioni edilizie nel settore terziario e scolastico.
- Commenti alla metodologia comparativa adottata con adattamento al contesto Italia

#### Risultati/Deliverable:

- Analisi critica dei dati sui consumi elettrici del terziario: gli edifici del Politecnico di Milano
- Rapporto sulle azioni e modelli di programmazione e valutazione per le misure adottate dalle PA in tema di efficienza energetica
- 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
- 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
- Rapporto tecnico "Analisi sui materiali e sistemi innovativi per l'involucro edilizio opaco: abaco di soluzioni, modelli per la simulazione termoenergetica e metodi di analisi sperimentale"
- Rapporto tecnico: "Analisi di sistemi impiantistici ad alta efficienza energetica operanti con basse differenze di temperatura: abaco delle soluzioni, metodi di dimensionamento e nuove tecnologie"
- Valutazione tecnico-economica delle soluzioni per l'efficienza energetica negli edifici della Pubblica Amministrazione
- Aggiornamento del SW semplificato DOCET per la certificazione energetica degli edifici residenziali esistenti per l'adeguamento alle nuove norme in vigore
- 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
- Definizione dei parametri per l'ottimizzazione di interventi di riqualificazione in considerazione del fattore costi /benefici

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano - Dip.ABC, CTI, Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, ITC-CNR, Università di Pisa - Dip. Energia, Politecnico di Milano - Dip. eERG

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **a.2 Caratterizzazione edifici**

- Ricerca sul territorio nazionale per determinare la consistenza e la caratterizzazione del parco edifici riferiti agli ospedali del settore pubblico. A tal fine si svolgerà un'analisi statistica individuando un numero significativo di edifici su cui svolgere l'indagine campione, la metodologia per caratterizzare gli edifici e la caratterizzazione tipologica ed energetica del parco immobiliare.

- Ricerca per la caratterizzazione degli edifici ad uso scolastico della regione Sicilia. Sarà identificato un campione ristretto di edifici scolastici rappresentativo del patrimonio edilizio siciliano sul quale sviluppare degli audit energetici da impiegare in successive attività di benchmark. Si prevede di sviluppare un'analisi delle prestazioni energetiche di tre edifici scolastici tramite un set di indicatori sintetici (e.g. consumi energetici specifici), al fine di ottenere dei valori di riferimento e di benchmark per il patrimonio edilizio scolastico della Regione Sicilia.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulla raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a ospedali
- Analisi di benchmark di edifici campione non residenziali ad uso scolastico della PA siciliana

Principali collaborazioni: CRESME, Università di Palermo Dip DERSE

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **a.3 Sviluppo sistemi**

- Sviluppo di un sistema tecnologico che, limitando l'utilizzo dell'energia elettrica al sistema di illuminazione e ad utenze con limitato assorbimento di potenza quali televisori, computer, ecc, valuti l'utilizzo del gas come unico vettore energetico sia per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio che per l'alimentazione di gran parte delle apparecchiature elettromeccaniche, da innovare, in esso installabili. Il sistema proposto si basa sulla realizzazione di un circuito diffuso di distribuzione gas che si dirami, da quello già esistente, in tutti gli ambienti con tubazioni di diametro di circa un pollice. Ai fini di aumentare l'areazione e quindi la sicurezza degli ambienti verranno studiati sistemi per inserire intercapedini ventilate appositamente realizzate con contropareti in struttura leggera. Tali contropareti potranno offrire anche alloggiamento ai sistemi di contabilizzazione remota e attuazione "smart metering" e ai sistemi di "rilevazioni perdite" Il comportamento micro generazione di tali pareti verrà studiato con codici di calcolo certificati e già utilizzati negli impianti ad alto rischio. Il sistema studiato prenderà in considerazione la possibilità di poter utilizzare il sistema anche in edifici vincolati.
- 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: Le attività prevedono uno studio per la classificazione dei fabbisogni di caldo e freddo per gli edifici suscettibili ad essere classificati come NZEB a livello nazionale e nelle diverse zone climatiche; la definizione di strategie di accumulo (e captazione) sino ad oggi studiate, sempre in relazione alla necessità di generare freddo nella stagione estiva; e le tecniche di accumulo (a calore sensibile, a calore latente a reazione chimica), oggi fattibili grazie alle innovazioni oggi potenzialmente disponibili sul mercato.
- Sviluppo, utilizzando il simulatore O.DES.S.E di ENEA, sviluppato nelle precedenti annualità (PAR 2009-2012), per implementarne le funzioni e renderlo utilizzabile, come codice dinamico, per la certificazione energetica degli edifici. Le attività prevedono di utilizzare la piattaforma del simulatore O.DES.S.E. per realizzare un codice dinamico, come previsto dalla vigente normativa per gli edifici del terziario superiori a 10.000 m<sup>3</sup>, attualmente non disponibile. Il codice 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 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:

- 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
- L'accumulo di energia termica quale importante strumento per la realizzazione di edifici NZEB
- Sviluppo di un codice dinamico per la certificazione energetica degli edifici

## **b. Studi e progettazione 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.

### **b.1 Sviluppo modelli**

- Sviluppo di uno strumento software open source basato sulla metodologia LEB, orientato al supporto alle pubbliche amministrazioni per: la redazione di serie storiche di bilanci energetici locali, l'analisi energy-scenario di bilanci energetici locali previsionali, in relazione al raggiungimento di obiettivi di pianificazione (Europa 2020, Patto dei Sindaci ecc), la rappresentazione interattiva dei risultati e la gestione dinamica delle ipotesi di calcolo, l'integrazione multilivello tra differenti fonti di dati e scale territoriali. Le attività si svilupperanno in due annualità di cui la prima prevede la definizione degli elementi costitutivi e della struttura del database di riferimento e la predisposizione del software a livello di prototipo.
- Sviluppo di un modello matematico per la valutazione di consumo energetico ottimale dei centri sportivi, piccoli e grandi, in grado di fornire all'utente/gestore la possibilità di valutare il grado di efficienza energetica dell'impianto. Le attività prevedono: la raccolta e organizzazione dei dati raccolti nelle precedenti attività e aggiornamento degli stessi tramite indagini presso gli enti interessati; stesura delle tabelle generali degli indicatori di consumo per tutti i tipi di impianto, sport, zona climatica e condizioni ambientali/strutturali; studio del modello matematico di calcolo della previsione di consumo dei centri sportivi e sviluppo dei fogli di calcolo; validazione del modello per via simulata al calcolatore e, per quanto possibile, sul campo; l'attività di verifica nei siti è ovviamente subordinata alla limitata disponibilità economica per le trasferte ed alla partecipazione degli enti, delle federazioni, e delle società sportive che si risconterà nel corso dei lavori e stesura di una relazione tecnica con la descrizione dettagliata del modello matematico per la previsione del carico energetico dei centri sportivi
- Sviluppo di un modello per promuovere il teleriscaldamento nell'ambito dell'amministrazione pubblica le attività prevedono:
  - un'indagine presso gli energy manager della Pubblica Amministrazione sul grado di conoscenza della tecnologia e sull'applicazione o sull'interesse all'utilizzo del teleriscaldamento nelle proprie strutture;  
un'analisi della diffusione di questa soluzione con riferimento alle reti di taglia piccola e media; il monitoraggio di almeno tre reti di teleriscaldamento attive per di derivarne i dati di funzionamento, gli indici di prestazione e i diagrammi di produzione, ciò al fine di derivarne informazioni utili ai fini del dimensionamento ottimale delle macchine e delle eventuali problematiche riscontrate;
  - la redazione di linee guida per l'adozione di tale soluzione nella P.A. tenendo conto delle condizioni e delle regole di mercato. Tale attività deriva dal fatto che il teleriscaldamento è una delle soluzioni promosse in modo deciso dalla direttiva 2012/27/UE, che contestualmente chiede alla Pubblica Amministrazione di giocare un ruolo centrale nell'efficienza energetica, non solo promuovendo

adeguato strumenti di regolazione e pianificazione, ma soprattutto realizzando interventi di riqualificazione energetica del parco edifici.

Le reti di piccola e media dimensione hanno visto una certa diffusione negli ultimi venti anni sia nell'arco alpino, sia in alcune zone dell'Appennino, soprattutto nei centri non metanizzati e spesso con alimentazione a biomassa solida vegetale. Appare esserci ancora uno spazio rilevante per la realizzazione di iniziative di questo tipo, così come per la diffusione di reti che integrino industrie con le utenze circostanti, che siano dello stesso settore o di stampo civile (ad esempio a Riva del Garda il cogeneratore della cartiera alimenta la rete di teleriscaldamento che serve il comune, in perfetta sintonia con i dettati della direttiva 2012/27/UE). Contestualmente negli ultimi tre anni alcune sentenze del TAR e del Consiglio di Stato hanno mutato le condizioni di riferimento per i rapporti fra la Pubblica Amministrazione e i gestori delle reti, individuando nella concessione lo strumento più idoneo.

- Sviluppo di una metodologia per la valutazione e la definizione del label energetico per componenti trasparenti dell'involucro, in relazione a quanto previsto dalla Direttiva Eco-Design e al D.L. 104/2012. La definizione della metodologia, prendendo a riferimento il quadro normativo di vigente e le caratteristiche tipologiche edilizie e del clima, in cui è suddiviso il territorio nazionale, consentirà di elaborare un algoritmo per la valutazione energetico-prestazionale dei componenti trasparenti dell'involucro, in modo da poterne determinare il labelling energetico e classificare, dal punto di vista energetico, questa tipologia di componenti e sistemi trasparenti dell'involucro edilizio. Le attività saranno indirizzate a lucernari e infissi, per i quali saranno svolte delle analisi di laboratorio, per la caratterizzazione dei componenti presenti sul mercato, e delle simulazioni prestazionali-energetiche con codici di calcolo dinamici. Saranno coinvolte le Associazioni di categoria, interessate a definire il labelling dei prodotti della filiera.

#### Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di uno strumento software open source, basato sulla metodologia LEB, orientato al supporto alle pubbliche amministrazioni per analisi multi scenario dei bilanci energetici
- Studio e validazione di un modello previsionale di consumo energetico per la verifica dell'efficienza energetica dei centri sportivi
- Linee guida per l'applicazione di piccole e medie reti di teleriscaldamento nei comuni in fascia climatica E e F
- Sviluppo di una metodologia per il labelling energetico di componenti trasparenti per l'involucro edilizio, lucernari e infissi

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino, Università di Roma Sapienza - DIAEE, FIRE, Associazione di categoria (ZENITAL)

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **b.2 Analisi**

- Analizzare quali siano le barriere che ostacolano l'accesso, da parte dei Comuni italiani, ai fondi disponibili a livello europeo e locale (si considerino, a titolo di esempio, il Fondo Europeo per l'Efficienza Energetica – EEEF, i Fondi messi a punto dalla Commissione Europea insieme alla Banca Europea degli Investimenti e i Fondi che verranno erogati nell'ambito del programma Horizon 2020) a supporto degli interventi di efficienza energetica nella PA, considerando molteplici ambiti di intervento, dagli edifici all'illuminazione pubblica. Lo studio intende inoltre sviluppare una serie di proposte di strumenti ed approcci che consentano di mitigare queste barriere e di favorire un maggior ricorso da parte dei Comuni italiani a questi strumenti di natura finanziaria e di garanzia.
- Ricerca sul territorio nazionale per determinare la consistenza e la caratterizzazione del parco edifici riferiti agli edifici ad uso scolastico ed uffici del settore pubblico e determinarne i consumi energetici da bolletta. A tal fine si svolgerà una analisi statistica individuando un numero significativo di edifici su cui svolgere l'indagine campione, la metodologia per caratterizzare gli edifici e la caratterizzazione tipologica ed energetica del parco immobiliare.
- Linee guida per un contratto Energy Performance Contract, coerente con la Direttiva 27/2012/UE, da

utilizzare dalla PA

- Sviluppo delle azioni finalizzate alla realizzazione degli interventi di riqualificazione energetica del dimostratore. Nella prima annualità sono state svolte attività per la definizione dell'edificio e la predisposizione di un lay out di progetto di riqualificazione con attività per l'audit. Nella presente annualità saranno predisposti: il progetto esecutivo, i documenti necessari per l'espletamento di un bando per l'aggiudicazione dei lavori con la definizione della gara di appalto per la realizzazione del dimostratore per la scuola Istituto Tecnico Commerciale A. Genovesi –Roma : stesura del capitolato di Appalto - Aggiudicazione della gara e inizio lavori.

Risultati/Deliverable:

- I fondi a supporto degli interventi di efficienza energetica nei Comuni Italiani: barriere e fattori abilitanti
- 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
- Linee guida per un contratto Energy Performance Contract secondo la Direttiva 27/2012/UE
- Predisposizione del progetto esecutivo e dei documenti necessari per l'espletamento della gara di appalto lavori e aggiudicazione della gara per la riqualificazione della scuola Istituto Tecnico Commerciale A. Genovesi – Roma

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano, CRESME, Cassa Depositi e Prestiti, Università "Sapienza" di Roma - CITERA

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **c. Proposta di applicazione dell'Indice di Severità Climatico per la zonizzazione estiva**

In conformità a una nuova zonizzazione climatica estiva che tiene conto sia della distribuzione sul territorio nazionale dell'indice di severità climatica estiva sia della distribuzione delle unità immobiliari abitative e delle aree utili delle loro superfici, si determinerà, per ogni zona climatica, il periodo dell'anno durante il quale sarà necessario, per il settore residenziale, l'impiego degli impianti di climatizzazione estiva. La proposta della nuova zonizzazione e della relativa stagione di climatizzazione sarà presentata al Ministero dello Sviluppo Economico affinché entri a far parte di un prossimo dispositivo di legge che li renda cogenti, così come già avviene per le zone climatiche invernali.

Risultati/Deliverable:

- Determinazione della durata della stagione di climatizzazione estiva per gli edifici residenziali, per le zone climatiche estive definite attraverso la metodologia dell'Indice di severità climatica

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

### **d. Sviluppo e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologico**

La linea di attività prevede una serie di azioni mirate a focalizzare lo sviluppo e l'assessment di questi materiali, affinché la tecnologia sia resa effettivamente fruibile ai settori del mercato delle costruzioni, interessati alla razionalizzazione degli usi finali di energia ed alla realizzazione di edifici confortevoli, a livello termico ed illuminotecnico. Per la valutazione delle prestazioni energetiche degli schermi di ombreggiamento saranno definite le specifiche tecniche per la realizzazione di due celle prova in area ENEA Capanna. Le attività di ricerca e sviluppo saranno principalmente riferite alla realizzazione di due prototipi adatti a favorire l'implementazione tecnologica dei dati e dei risultati sviluppati nel 2013. In particolare: installazione di un sistema di monitoraggio, raccolta e trasferimento dati ambientali e microclimatici; realizzazione di un sistema colturale di tipo "soil-less" per ottimizzare l'operatività energetica delle "coltri vegetali" su parete/terrazzo; realizzazione di sistemi-prototipo di tipo parete vegetale e terrazzo verde. I sistemi prototipo saranno installati presso edifici del Centro Ricerche Casaccia. Pertanto, saranno effettuati una serie di esperimenti per la valutazione dei seguenti fattori: specie vegetali candidate, ciclo produttivo, produttività fogliare, morfologia, tolleranza ambientale, richieste energetiche e luminose, resistenza alle fitopatie. Saranno effettuati rilevamenti specifici per lo studio delle interazioni tra la climatizzazione



ambientale degli edifici e il processo produttivo dei sistemi vegetali per definire un modello che metta in relazione l'efficienza energetica dell'edificio con la tipologia strutturale dei sistemi colturali, i valori climatici di temperatura, umidità e radiazione solare, il processo di traspirazione delle piante, la produttività fogliare delle piante installate su pareti vegetali e terrazzi verdi, la salvaguardia della biodiversità locale. Queste attività prevedono la definizione di una metodologia per l'ottimizzazione del sistema trasparente con schermatura solare accoppiata in relazione ai consumi elettrici per i servizi di illuminazione artificiale e climatizzazione dell'ambiente costruito. Nomogrammi saranno sviluppati come strumento semplificato per l'individuazione delle prestazioni di un dato sistema semi-trasparente. La metodologia sarà definita attraverso un'analisi numerica in regime dinamico in funzione dei più significativi parametri ambientali e termo fisici. Un aspetto che riguarda la schermatura solare e la generazione elettrica rinnovabile è il fotovoltaico integrato negli edifici. Se l'efficienza elettrica di questi sistemi è quantificabile con precisione, lo stesso non può dirsi del bilancio termico, in quanto la conversione di parte dell'energia solare assorbita in elettricità non rende applicabili i comuni modelli di calcolo. Si è dunque deciso di implementare uno studio di modellazione del comportamento termico di BIPV sotto irraggiamento solare e definire in modo accurato le prestazioni solari e termiche. Il modello sarà poi calibrato verso misure condotte in laboratorio.

Le attività prevedono la definizione di una metodologia per l'ottimizzazione del sistema trasparente con schermatura solare accoppiata in relazione ai consumi elettrici per i servizi di illuminazione artificiale e climatizzazione dell'ambiente costruito. Nomogrammi saranno sviluppati come strumento semplificato per l'individuazione delle prestazioni di un dato sistema semi-trasparente. La metodologia sarà definita attraverso un'analisi numerica in regime dinamico in funzione dei più significativi parametri ambientali e termo fisici. Un aspetto che riguarda la schermatura solare e la generazione elettrica rinnovabile è il fotovoltaico integrato negli edifici. Se l'efficienza elettrica di questi sistemi è quantificabile con precisione, lo stesso non può dirsi del bilancio termico, in quanto la conversione di parte dell'energia solare assorbita in elettricità non rende applicabili i comuni modelli di calcolo. Si è dunque deciso di implementare uno studio di modellazione del comportamento termico di BIPV sotto irraggiamento solare e definire in modo accurato le prestazioni solari e termiche. Il modello sarà poi calibrato verso misure condotte in laboratorio.

Un ultimo aspetto che sarà analizzato è il quadro di norme tecniche e di strumenti di calcolo per i sistemi di facciata, in modo da confrontarne l'accuratezza e definire i requisiti da implementare per il calcolo di sistemi complessi.

#### Risultati/Deliverable:

- Linee guida sui materiali, le specie vegetali, le tipologie colturali e le normative per la realizzazione di sistemi e coltri vegetali su pareti e terrazzi in aree urbane
- Realizzazione di due prototipi greening dimostrativi: sistema-prototipo parete vegetale, sistema-prototipo terrazzo verde Database con caratteristiche termo fisiche di sistemi di protezione solare innovativi e ad alto contenuto tecnologico
- Esigenze energetiche per la gestione delle essenze vegetali su pareti di edifici in ambiente
- Valutazione sperimentale della temperatura del prototipo di parete in scala ricoperto con diverse essenze vegetali
- Risultati sull'applicazione del modello energetico per la determinazione della temperatura superficiale di pareti esterne di edifici protetti con essenze vegetali in ambiente climatico mediterraneo
- Valutazione del Green Factor "Kv"
- Analisi del comportamento energetico di un fabbricato-tipo in assenza/presenza di tetto/parete verde per ottimizzare l'Efficienza Energetica degli edificio in area urbana
- Parametri fisico-tecnici delle specie vegetali utilizzate per la realizzazione di tetti e pareti verdi nelle regioni mediterranee, per la realizzazione di un data-base specifico da utilizzare in programmi di simulazione energetica degli edifici
- Simulazione del comportamento energetico di un fabbricato-tipo in assenza/presenza di tetto/parete verde, per ottimizzare l'Efficienza Energetica degli edifici
- Simulazione del comportamento energetico di un fabbricato-tipo in assenza/presenza di tetto/parete verde, per ottimizzare l'Efficienza Energetica degli edifici", rispetto alle aree climatiche italiane

- Studio del comportamento radiativo e termico di componenti di involucro trasparenti produttori di energia
- Valutazione parametrica delle prestazioni dell' involucro edilizio semitrasparente per illuminazione artificiale ed climatizzazione estiva nel contesto Italiano
- Rapporto tecnico sulla comparazione tra standard e strumenti di calcolo per le prestazioni solari e luminose di componenti vetrati con accoppiamento di schermature solari

Principali collaborazioni: Università di Pisa, Università di Bari, Politecnico di Milano, Università di Venezia IUAV

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **e. Sviluppo, sperimentazione e caratterizzazione di materiali innovativi (Cool material)**

L'utilizzo di Cool Material per le coperture e le facciate degli edifici limita l'apporto solare e quindi la richiesta energetica per il raffrescamento. L'utilizzo di questi materiali riduce la temperatura dell'aria in ambiente urbano, migliorando il comfort termico e riducendo il salto termico tra ambiente interno ed esterno, con riduzione della richiesta di fabbisogno per raffrescamento per gli edifici. Infine l'utilizzo di materiali generalmente chiari consente di ridurre la potenza degli impianti di illuminazione esterna a parità di prestazione illuminotecnica e riveste quindi una notevole importanza per l'efficienza energetica negli usi finali, in particolar modo quelli elettrici, legati alla riduzione dei regimi termici durante la stagione estiva. Da considerare che l'applicazione di questa tipologia di materiali concorre, per quanto sopra detto, al raggiungimento degli obiettivi del Nearly Zero Building , vedi direttiva 311/2010/CE e del DLgs 28/2011.

I Cool material per aree urbane sono di notevole interesse per il miglioramento del comfort urbano e per la mitigazione della temperatura esterna (Isola di Calore Urbana). In questa annualità sarà testata una nuova generazione di prodotti che uniscono elevata riflettanza al vicino infrarosso (riduzione degli apporti solari) ed elevata permeabilità (riduzione delle temperature superficiali per evaporazione dell'acqua accumulata sotto il manto stradale. Saranno poi testati nuovi prodotti per le finiture superficiali, caratterizzati da elevata riflettanza all'infrarosso vicino e da bassa emissività termica per ridurre le dispersioni di calore durante la stagione invernale.

Sarà infine sviluppata una metodologia di valutazione degli apporti solari attraverso i componenti opachi in funzione delle modalità di riflessione della radiazione solare dei materiali da costruzione. Questo aspetto è rilevante poiché i modelli di calcolo per il fabbisogno termico degli edifici prevedono un comportamento diffondente dei materiali, mentre nella realtà molti prodotti hanno un comportamento misto, in parte diffondente in parte speculare. Il metodo consentirà di valutare in modo più accurato gli apporti solari attraverso coperture e pareti in funzione del reale comportamento ottico dei materiali superficiali.

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati delle attività di sviluppo e caratterizzazione dei cool material per applicazioni negli edifici e nelle aree urbane
- Rapporto tecnico sulla metodologia di analisi degli apporti solari nel bilancio energetico degli edifici in funzione della risposta angolare della riflettanza solare dei componenti di involucro opaco.

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **f. Piano integrato per l'informazione e la diffusione delle tecnologie verso i cittadini, le aziende e le pubbliche amministrazioni**

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. Ricerche di mercato e inchieste per l'analisi della situazione nazionale del parco installato dei prodotti e tool informatici per la sensibilizzazione dell'utente in merito agli interventi di efficienza energetica e all'ottimizzazione dell'utilizzo degli elettrodomestici per la riduzione dei consumi .

Al fine di produrre un'ampia pubblicità e diffusione dei risultati raggiunti dall'attività di ricerca, si prevede la realizzazione di un Piano integrato di diffusione e disseminazione degli stessi. L'attività coprirà l'intero periodo di svolgimento delle attività della scheda e proseguirà anche al termine di questo attraverso il continuo dialogo tra i partner e i potenziali utilizzatori dei risultati finali. Definizione e sperimentazione di tre moduli didattici i cui contenuti formativi siano collegati alle azioni dell'attività di ricerca *"Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico"*.

Facendo specifico riferimento al 'Specifiche tecniche per la realizzazione del Modello offline Energy City Virtual Lab' nella seconda annualità si prevede la realizzazione e la messa in rete della Piattaforma in cui si svilupperanno i seguenti temi:

- edifici virtuali dove ricercatori e soggetti destinatari potranno interagire in tempo reale mostrando e condividendo i risultati e le possibili applicazioni delle sperimentazioni ( modelli, codici, software, etc.);
- una piazza virtuale per convegni e meeting con la possibilità di organizzare anche eventi a distanza;
- materiale video da realizzare relativo alle singole linee di ricerca (documentari, interviste ai ricercatori, etc.);
- una biblioteca virtuale contenente materiale bibliografico collegato alle diverse ricerche;
- un'aula virtuale dove verranno svolti corsi rivolti a tecnici della PA, operatori di settore e studenti di Istituti superiori di secondo grado o università in modalità e-Learning.

Verranno sviluppati inoltre moduli didattici in modalità blended su *"Risparmio ed efficienza energetica negli edifici pubblici"*. Con riferimento al Rapporto tecnico sull'utilizzo di ambienti virtuali di apprendimento per la formazione di tecnici nel settore dell'efficienza energetica verrà progettato, realizzato e sperimentato un percorso formativo da inserire all'interno della Piattaforma Energy City Virtual Lab, basato sull'utilizzo delle nuove tecnologie per l'apprendimento e finalizzato a migliorare le competenze da parte dei funzionari pubblici nel campo dell'Efficienza Energetica.

Verrà realizzato un modello off-line del corso e verrà testato un primo prototipo di questo sistema di apprendimento da parte di potenziali utenti all'interno di una rete di PA. Questa formazione pilota raccoglierà le valutazioni, commenti e suggerimenti a tutti partecipanti. Da un'analisi del test pilota finale si passerà alla realizzazione della versione finale. Il cosiddetto "enforcement" (cioè l'efficace implementazione, attuazione, monitoraggio e controllo) delle politiche di efficienza energetica: etichettatura energetica e progettazione ecosostenibile (ecodesign) per i "prodotti connessi all'energia" inclusa l'illuminazione, si realizza su tre piani – nazionale, europeo ed internazionale – strettamente interdipendenti e comprende prodotti del settore domestico, professionale ed industriale. Sul piano comunitario è infatti necessario collaborare con la Commissione Europea, anche a livello informale o di Gruppi di Esperti nazionali, nella definizione di appropriati elementi tecnici (energetici e prestazionali) da includere nelle misure di implementazione 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 ai lavori per la revisione delle direttive quadro Etichettatura ed Ecodesign: le due nuove direttive dovrebbero essere proposte al Parlamento e Consiglio all'inizio del 2015 ma gli studi preparatori si protrarranno per tutto il 2014. Su un piano più strettamente nazionale è invece essenziale monitorare l'attuazione di tali misure e verificare la conformità dei prodotti immessi sul mercato. 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 e controllo di qualsiasi misura politica. A ciascun di questo livelli corrispondono attività diverse che necessitano di personale qualificato per la loro realizzazione e di adeguate risorse economiche. Le attività proposte per il PAR relativamente ai tre livelli di lavoro individuati sono quindi:

- Partecipazione ai gruppi di lavoro per la standardizzazione (nazionale, europea e mondiale) dei prodotti già coperti o che saranno coperti da misure di etichettatura energetica ed ecodesign
- Supporto al MISE nella negoziazione sui tavoli europei delle misure di etichettatura energetica ed ecodesign dei "prodotti connessi all'energia" e nella revisione dei Regolamenti esistenti nonché delle quadro Etichettatura ed Ecodesign con la partecipazione alle riunioni dei Comitati europei e dei gruppi informali di Esperti nazionali, inclusa la partecipazione ai lavori dei gruppi ADCO

(Administrative Cooperation) per la discussione della corretta interpretazione delle misure di implementazione di etichettatura ed ecodesign

- Monitoraggio e controllo nazionale della corretta implementazione dei regolamenti di etichettatura ed eco design.
- Implementazione del un tool informatico, sviluppato nella precedente annualità per gli elettrodomestici, per la sensibilizzazione dell'utenza del residenziale nell'uso consapevole ed efficiente delle apparecchiature e sistemi in modo da migliorarne il loro utilizzo e ridurne i costi in bolletta. Sarà effettuata un'analisi dei profili di consumo e delle apparecchiature e sistemi più diffusi nelle case quali impianti/apparecchiature di condizionamento estivo, impianti per il condizionamento invernale e per la produzione dell'acqua calda sanitaria per indirizzare l'utente ad una loro gestione ed utilizzo più efficiente.

#### Risultati/Deliverable:

- Modello offline "Energy City Virtual Lab";
  - Database consultabile di tutto il materiale documentale prodotto;
  - Rapporto tecnico di attività
- Modulo didattico offline targettizzata da sperimentare in modalità blended
  - Relazione tecnica del percorso di sperimentazione
  - Modulo didattico definitivo
- Implementazione, sviluppo e sorveglianza dell'etichettatura energetica in Europa e in Italia per i prodotti connessi all'energia
  - Risultati dell'indagine sulla corretta presenza dell'etichetta energetica nei punti vendita nazionali
  - Risultati delle prove sul nuovo standard per le prestazioni degli apparecchi per la refrigerazione domestica
- Tool informatico per l'uso efficiente delle apparecchiature elettriche nel residenziale
- Rapporto sulle attività di sensibilizzazione

Principali collaborazioni: Università di Perugia

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

#### **g. Comunicazione e diffusione dei risultati**

L'efficacia concreta delle attività del progetto è legata strettamente alla comunicazione e diffusione dei risultati in modo da poterli far conoscere, valutare ed applicare da parte di una serie soggetti coinvolti a vario titolo nel processo di applicazione dei risultati raggiunti.

Per tale motivo, risultano necessarie azioni di diffusione e divulgazione delle attività e dei relativi prodotti per far conoscere, ai diversi soggetti/attori interessati, quanto reso disponibile dal settore della ricerca e sperimentazione, fino a raggiungere l'utilizzatore finale del prodotto, capace di assicurare l'applicazione ed una efficace risposta alla domanda per accrescere il grado di conoscenza e sensibilizzazione del grande pubblico sul ruolo della ricerca e dell'innovazione tecnologica per il miglioramento dell'efficienza energetica nei diversi settori.

In particolare, si intende:

- promuovere la cultura e le buone prassi legate al risparmio energetico. Sensibilizzare i 3 target partendo dal presupposto che prima di tutto siamo cittadini e che in ogni comportamento e in ogni contesto le nostre scelte devono essere guidate da criteri di efficienza, efficacia ed economicità.;
- promuovere una serie di campagne informative finalizzate a sensibilizzare gli utenti finali e igli operatori sulla disponibilità di tecnologie e strumenti per l'efficienza energetica;

Si intende raggiungere tali obiettivi attraverso attività dedicate alla comunicazione ed alla diffusione dei risultati, utilizzando anche le attività dei Tavoli 4E in cui sono coinvolti un grande numero di stakeholder (vedi il sito <http://www.energiaenergetica.enea.it/edilizia/tavoli-di-lavoro-4e/>) e quelle azioni integrate,

relative alle linee di ricerca, strutturandole in maniera strategica il processo di trasferimento.

Risultati/Deliverable:

- Piano di Comunicazione per un'Italia più consapevole e maggiormente rivolta al risparmio energetico
- Rapporto sulle attività di comunicazione e sensibilizzazione per l'efficienza energetica

Principali collaborazioni: Università di Perugia

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

**Programma temporale e preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014									
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	
<b>a</b>	<b>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</b>													
	<i>a.1 Analisi e strumenti</i>													
	<i>a.2 Caratterizzazione edifici</i>													
	<i>a.3 Sviluppo sistemi</i>													
<b>b</b>	<b>Studi e progettazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni</b>													
	<i>b.1 Sviluppo modelli</i>													
	<i>b.2 Analisi</i>													
<b>c</b>	<b>Proposta di applicazione dell'Indice di Severità Climatico per la zonizzazione estiva</b>													
<b>d</b>	<b>Sviluppo e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologiche</b>													
<b>e</b>	<b>Sviluppo, sperimentazione e caratterizzazione di materiali innovativi (Cool materials)</b>													
<b>f</b>	<b>Piano integrato per l'informazione e la diffusione delle tecnologie verso i cittadini, le aziende e le pubbliche amministrazioni</b>													
<b>g</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>													

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.2 del PAR 2012), pari a 39,5 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 23,7 €/h

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
<b>a</b>	<b>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</b>									
	<i>a.1 Analisi e strumenti</i>	3300	130	78	0	2	80	2	195	487
	<i>a.2 Caratterizzazione edifici</i>	1600	63	38	0	1	0	1	40	143
	<i>a.3 Sviluppo sistemi</i>	2500	99	59	0	2	130	0	95	385
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>7400</b>	<b>292</b>	<b>175</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>210</b>	<b>3</b>	<b>330</b>	<b>1015</b>
<b>b</b>	<b>Studi e progettazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni</b>									
	<i>b.1 Sviluppo modelli</i>	3000	120	70	0	0	40	0	60	290
	<i>b.2 Analisi</i>	4000	158	95	1	3	0	2	85	344
	<i>Subtotale Ob. b</i>	<b>7000</b>	<b>278</b>	<b>165</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>145</b>	<b>634</b>
<b>c</b>	<b>Proposta di applicazione dell'Indice di Severità Climatico per la zonizzazione estiva</b>	<b>2500</b>	<b>99</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>162</b>
<b>d</b>	<b>Sviluppo e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologiche</b>	<b>6550</b>	<b>259</b>	<b>155</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>140</b>	<b>573</b>
<b>e</b>	<b>Sviluppo, sperimentazione e caratterizzazione di materiali innovativi (Cool materials)</b>	<b>5900</b>	<b>233</b>	<b>140</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>424</b>
<b>f</b>	<b>Piano integrato per l'informazione e la diffusione delle tecnologie verso i cittadini, le aziende e le pubbliche amministrazioni</b>	<b>5500</b>	<b>217</b>	<b>130</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>369</b>
<b>g</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>	<b>4500</b>	<b>178</b>	<b>107</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>323</b>
	<b>TOTALE</b>	<b>39350</b>	<b>1556</b>	<b>931</b>	<b>16</b>	<b>52</b>	<b>250</b>	<b>20</b>	<b>675</b>	<b>3500</b>

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

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

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

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

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

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

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

L'obiettivo del progetto è la riduzione del 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. 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. Il progetto prevede anche lo studio e la realizzazione di prototipi di pompe di calore da adibire alla climatizzazione di ambienti e alla produzione di acqua calda sanitaria.

### **Situazione 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 hanno permesso di constatare quanto questa tecnologia sia valida se vista nel complesso del suo utilizzo (estate e inverno): sono ancora da sviluppare alcuni componenti specifici e ottimizzare al massimo il sistema di regolazione e controllo di questo tipo di impianti.

### **Stato attuale delle tecnologie**

La tipologia di impianto principalmente utilizzata è quella basata sull'impiego di pannelli solari termici del tipo a tubi evacuati in grado di alimentare macchine frigorifere che, sfruttando cicli termodinamici chiusi con fluidi di idonee proprietà fisiche, utilizzano il calore per sostituire in gran parte il lavoro meccanico di un ciclo a compressione di vapore. Gli Heat Pipe sono dispositivi ben noti per il trasporto di calore anche su distanze elevate (rispetto alla conduzione su solido), basate sulla evaporazione, circolazione e condensazione di un fluido contenuto in un ambiente chiuso e sigillato, di forma prevalentemente tubolare e consentono abbinati a pannelli solari del tipo a tubi evacuati il raggiungimento di elevate temperature (prossime ai 110 °C) dell'acqua calda prodotta. La pompa di calore, accoppiata agli scambiatori geotermici, può raggiungere un COP di circa 4 – 4,5 contro il 3 delle macchine ad aria in condizioni ottimali, grazie al fatto che la temperatura del terreno è costante e pari a circa 13-14 °C. Diverse promettenti tecnologie sono ancora allo stato sperimentale, come le pompe di calore a CO<sub>2</sub> e le macchine elioassistite. L'aleatorietà nella disponibilità di energia solare ha sempre suggerito di prevedere in tutti gli impianti di solar heating and cooling un accumulo termico. Per ridurre le dimensioni di questi accumuli appare opportuno ricorrere a sistemi diversi ed in particolare a sostanze che operano in cambiamento di fase (ancora non disponibili sul mercato) che proprio per l'elevato calore di cambiamento di fase possono garantire grandi capacità di accumulo anche a fronte di volumi limitati.

### **Obiettivo finale dell'attività**

L'obiettivo del progetto è lo sviluppo di:

- componenti innovativi e competitivi, in grado di fornire adeguate prestazioni a costi contenuti;
- 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 e per ogni situazione climatica presente nel territorio nazionale.

## **Coordinamento con attività di CNR e RSE**

Esiste un coordinamento stretto tra i tre affidatari per evitare sovrapposizioni e massimizzare il risultato delle ricerche. Esistono anche alcune attività sulle quali ENEA, RSE e CNR stanno lavorando in sinergia che sono:

- 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
- individuazione delle necessità di sviluppo tecnologico mirate a rendere più efficiente e competitiva la climatizzazione solare

## **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 contribuendo ad una capillare diffusione di queste tecnologie in Italia, con evidenti benefici per la bolletta elettrica del sistema paese.

## **PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ**

### **Descrizione obiettivi**

#### **a. Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi**

L'attività prevede la progettazione, realizzazione, messa in funzione e l'analisi sperimentale dei prototipi di componenti innovativi costituenti il sistema integrato in grado di assolvere l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale. In particolare:

- a.1 "Evoluzione tecnologica dell' accumulo termico del tipo a cambiamento di fase (Phase Change Material) installato nell'impianto di solar heating and cooling realizzato a servizio dell'edificio F92. Saranno investigati nuovi materiali a cambiamento di fase in grado di assicurare performance più elevate in termini velocità di risposta del PCM alla variazione di temperatura del fluido primario all'interno del quale sono immersi, e con caratteristiche tali da massimizzare le prestazioni complessive considerando sia il funzionamento invernale ( $T_{ottimale} = 46^{\circ}\text{C}$ ) che estivo ( $T_{ottimale} = 88^{\circ}\text{C}$ );

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla sperimentazione del serbatoio d'accumulo a cambiamento di fase integrato nell'impianto di solar heating and cooling realizzato a servizio dell'edificio F-92

Principali collaborazioni: Università di Roma "La Sapienza"

Durata: ottobre 2013 – settembre 2014

- a.2 Studio e applicazione delle vapor chamber in sistemi solari termici. Le vapor chamber sono una nuova e avanzata applicazione di scambio termico derivante dalla più ben nota tecnologia degli Heat Pipe. Le vapor chamber sono capaci di elevatissimi flussi di scambio termico, anche pari a circa  $350\text{W}/\text{cm}^2$ . L'attività prevede lo studio e la realizzazione delle vapor chamber e di un innovativo prototipo di collettore solare termico che le utilizzi, consentendo di eliminare la necessità di avere l'antiestetico accumulo separato esterno (bollitore) integrandolo nel collettore stesso e permettendone l'installazione anche nelle località in cui il regolamento comunale prevede esplicitamente il divieto di installazione di collettori solari termici con serbatoio di accumulo esterno;

#### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo studio dell'applicabilità delle vapor chamber nei sistemi solari termici e realizzazione di un prototipo di collettore solare che utilizzi questa tecnologia

Principali collaborazioni: Università di Padova



Durata: gennaio 2014 – settembre 2014

a.3 Test funzionale ed ottimizzazione delle prestazioni 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. Si tratta di un sistema compatto Solar DEC di piccola taglia a letti fissi raffreddati, che ospita nella parte sottostante il collettore solare ad aria tutti i componenti necessari al suo corretto funzionamento (due letti adsorbenti raffreddati, una piccola torre di raffreddamento integrata, due scambiatori evaporativi a pacco, due ventilatori, due circolatori d'acqua e alcuni ausiliari necessari alla realizzazione del processo di trattamento). Le attività di ricerca saranno finalizzate alla realizzazione del set-up sperimentale, al monitoraggio e all'analisi dei dati sperimentali di funzionamento di un innovativo impianto sperimentale di trattamento dell'aria alimentato ad energia solare che utilizzi questo sistema: l'impianto avrà una massima potenza di raffreddamento pari a circa 2 kW (Test= 35°C, RHest = 50%, Tlocale = 27°C, RHlocale = 50%) ed una portata d'aria immessa in ambiente pari a 500 m<sup>3</sup>/h.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo studio dell'applicabilità di condizionatore d'aria compatto, alimentato ad energia solare e realizzazione di un impianto sperimentale di trattamento dell'aria alimentato ad energia solare che utilizzi questo sistema all'interno del C.R. ENEA di Casaccia

Principali collaborazioni: Università di Palermo

Durata: gennaio 2014 – settembre 2014

## **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 riguardano:

b.1 Ricerca, sperimentazione e qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni distribuite di piccola taglia a media temperatura destinati sia alla climatizzazione degli ambienti in ambito residenziale, commerciale e terziario, sia alla produzione di freddo in ambito industriale. Tali concentratori possono essere utilizzati anche per fornire calore a processi co-generativi nelle attività industriali quando richiesto. In particolare verranno analizzate le prestazioni energetiche di concentratori di piccola taglia (micro-PTC, micro-LF e CPC) al fine di analizzarne le potenzialità e le eventuali criticità in vista di un loro utilizzo negli ambiti sopra descritti. Verranno messe a punto metodiche e tecniche di analisi ottiche e termofluidodinamiche che tengano conto della particolarità dei componenti da testare soprattutto per quanto riguarda gli aspetti del sistema ottico di concentrazione (misura della radiazione solare concentrata, analisi delle imperfezioni ottiche, ecc.);

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla sperimentazione e qualificazione di componenti solari a concentrazione per applicazioni a media temperatura

Durata: ottobre 2014 – settembre 2014

b.2 Sviluppo, caratterizzazione e sperimentazione di concentratori solari modulari compatti che utilizzino ottiche di piccole dimensioni accoppiati a ricevitori basati sulla tecnologia dei mini e micro-canali. Si proseguiranno le indagini teorico-sperimentali sulla termo-fluidodinamica di questo tipo di ricevitore iniziate nel PAR2012 al fine di valutare l'incremento delle prestazioni termiche rispetto a ricevitori tradizionali sia utilizzando fluidi in fase liquida che fluidi in transizione di fase.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo sviluppo, la caratterizzazione e la sperimentazione di concentratori solari

innovativi

Principali collaborazioni: Università di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale

Durata: ottobre 2013 - luglio 2014

### **c. Sviluppo e Sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione**

c.1 Test in camera climatica di due prototipi di macchine a compressione di vapore (uno operante con R290 e uno con R134a), realizzati nella precedente annualità, al fine della determinazione delle prestazioni energetiche nelle condizioni operative previste dalle normative vigenti.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico dedicato all'esposizione dei risultati dei test comparati sui prototipi di macchine frigorifere a R134a e R270

Principali collaborazioni: Università di Napoli

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

c.2 Studio teorico-sperimentale sull'ottimizzazione del funzionamento di pompe di calore a CO<sub>2</sub> con radiatori ad elevato salto termico. Questo tipo di elementi è studiato e progettato 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. L'impiego di tale tecnologia può essere molto redditizio, in quanto le pompe di calore a CO<sub>2</sub> che hanno la caratteristica di produrre acqua ad alta temperatura, oltre 70°C, mantengono prestazioni molto elevate a patto di mantenere la temperatura dell'acqua di ritorno al condensatore/gas cooler a livelli piuttosto bassi, dell'ordine dei 30°C. Obiettivo di questa ricerca è quello di valutare sperimentalmente le performance di tali macchine per il riscaldamento domestico, in impianti a radiatori tradizionali in sostituzione delle tradizionali caldaie a gas.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo studio di terminali ambiente di nuova generazione da accoppiare a pompe di calore ad R744, dedicate al riscaldamento degli ambienti e realizzazione di un prototipo di radiatore ad elevato salto termico

Durata: novembre 2013 - giugno 2014

### **d. Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati**

Sono previste 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" e Task 51 "Solar energy and urban planning". Inoltre ENEA partecipa ai meeting preparatori di una nuova task IEA SHC denominata "New generation solar cooling systems", a cui prenderà parte attivamente.

Per quanto riguarda la comunicazione e diffusione dei risultati, si prevede di:

- realizzare materiale informativo destinati ai vari target di riferimento, beneficiari finali delle attività (Enti Locali, Sistema delle Imprese, professionisti ecc.), nonché al grande pubblico.
- 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 dei convegni mirati (es. Installatori qualificati, Progettisti, Università, ecc.) sul tema dell'Utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione
- aggiornare in maniera puntuale il sito internet dedicato ai "Sistemi di climatizzazione estiva ed invernale assistiti da fonti rinnovabili" ([www.climatizzazionefontirinnovabili.enea.it](http://www.climatizzazionefontirinnovabili.enea.it)).

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle attività svolte

Durata: ottobre 2013- settembre 2014**Programma temporale e preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
<b>a</b>	<b>Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi</b>												
	<i>a.1 Sistemi di accumulo a cambiamento di fase PCM abbinati a impianti di solar heating and cooling</i>												
	<i>a.2 Studio e applicazione delle vapor chamber nei sistemi solari termici</i>												
	<i>a.3 Test funzionale ed ottimizzazione delle performance 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.</i>												
<b>b</b>	<b>Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura</b>												
	<i>b.1 Attività di ricerca, sperimentazione e qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni distribuite di piccola taglia a media temperatura destinati sia alla climatizzazione degli ambienti in ambito residenziale, commerciale e terziario, sia alla produzione di freddo in ambito industriale</i>												
	<i>b.2 Sviluppo, caratterizzazione e sperimentazione 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</i>												
<b>c</b>	<b>Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione</b>												
	<i>c.1 Prove sperimentali comparative sui prototipi di pompa di calore a R134a e Propano R290</i>												
	<i>c.2 Radiatori di nuova generazione ad elevato salto termico in accoppiamento a sistemi di pompa di calore elettrica</i>												
<b>d</b>	<b>Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati</b>												

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 2012), pari a 36,5 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60 % del costo diretto, con una tariffa media risultante di 21,9 €/h.

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)	
<b>a</b>	<b>Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi</b>									
	<i>a.1 Sistemi di accumulo a cambiamento di fase PCM abbinati a impianti di solar heating and cooling</i>	1000	37	22	2	2	0	2	30	95
	<i>a.2 Studio e applicazione delle vapor chamber nei sistemi solari termici</i>	1200	44	26	24	3	0	1	30	128
	<i>a.3 Test funzionale ed ottimizzazione delle performance 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</i>	1150	42	25	12	3	0	2	40	124
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>3350</b>	<b>123</b>	<b>73</b>	<b>38</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>100</b>	<b>347</b>
<b>b</b>	<b>Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura</b>									
	<i>b.1 Attività di ricerca, sperimentazione e qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni distribuite di piccola taglia a media temperatura destinati sia alla climatizzazione degli ambienti in ambito residenziale, commerciale e terziario, sia alla produzione di freddo in ambito industriale</i>	1800	66	39	8	5	0	1	0	119
	<i>b.2 Sviluppo, caratterizzazione e sperimentazione 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</i>	1200	44	26	2	5	0	1	30	108
	<i>Subtotale Ob. b</i>	<b>3000</b>	<b>110</b>	<b>65</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>227</b>
<b>c</b>	<b>Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione</b>									
	<i>c.1 Prove sperimentali comparative sui prototipi di pompa di calore a R134a e Propano R290</i>	900	33	20	2	2	0	1	30	87
	<i>c.2 Radiatori di nuova generazione ad elevato salto termico in accoppiamento a sistemi di pompa di calore elettrica</i>	800	29	17	37	3	0	2	0	88
	<i>Subtotale Ob. c</i>	<b>1700</b>	<b>62</b>	<b>37</b>	<b>39</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>176</b>
<b>d</b>	<b>Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati</b>	<b>600</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>50</b>
	<b>TOTALE</b>	<b>8650</b>	<b>317</b>	<b>188</b>	<b>87</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>160</b>	<b>800</b>

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

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

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

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

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

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

(U) include le collaborazioni con istituzioni universitarie

## **IL QUADRO DI RIFERIMENTO**

### **Descrizione del prodotto dell'attività**

L'obiettivo di questo progetto è lo sviluppo di prodotti hardware, software ed analisi di scenari nell'ambito della mobilità elettrica, che possono essere utilizzati per incrementare l'efficienza energetica complessiva della mobilità elettrica di persone e merci. In particolare si intende indagare l'aspetto dell'interazione tra il "sistema veicolo" ed il sistema elettrico e come sia possibile migliorare la reciproca influenza avvalendosi delle risorse presenti nel contesto delle filiere e dei sistemi produttivi esistenti.

### **Situazione attuale del prodotto dell'attività**

La ricarica delle batterie di un veicolo elettrico o di un ibrido "plug-in" può essere esser fatta in vari modi, e le scelte tecnologiche principali sono sostanzialmente due. La prima riguarda la collocazione fisica del convertitore c.a./c.c.: a terra, nella colonnina di ricarica, oppure a bordo del veicolo. Questa scelta influisce sulla impiantistica a terra rendendo più o meno onerosa l'installazione delle colonnine di ricarica. Il secondo aspetto riguarda il tipo di conversione finale: direttamente AC/DC o DC/DC (con precedente conversione AC/DC). Per ognuna delle soluzioni indicate, si ha poi che la ricarica può essere rapida ( $t \leq 1$  h) o lenta.

### **Stato attuale delle tecnologie.**

La ricarica induttiva, da tempo in uso nel settore dei veicoli industriali (IPT Wampfler), è usata anche per i veicoli elettrici stradali, in particolare con alcune realizzazioni nel settore dei mezzi per il trasporto pubblico locale, come l'autobus Elfo prodotto dalla EPT di Brescia, in servizio con il GTT di Torino, e diversi mezzi della Bombardier, prima tram e poi autobus, PRIMOVE. Si prevede però un'ampia diffusione, con sistemi di potenza ridotta (fino a 7-8 kW), anche nel trasporto individuale. Attualmente sono oggetto di studio sistemi STEESC (Sistemi Trasmissione Energia Elettrica Senza Contatto) risonanti, nei quali le bobine sono collegate, in serie o in parallelo, a dei condensatori, dimensionati in modo da risuonare con le bobine alla frequenza di alimentazione. Le due diverse tecnologie di ricarica (veloce e lenta senza contatto) sono ancora in corso di sviluppo, l'obiettivo più generale del programma di concorrere a definire gli elementi mancanti (costi, benefici, eventuali breakthrough tecnologici) del quadro generale.

### **Obiettivo finale dell'attività**

L'obiettivo finale del Progetto è lo sviluppo di sistemi e componenti innovativi per l'incremento dell'efficienza elettrica delle strutture di alimentazione dei veicoli elettrici stradali collegate alla rete elettrica, con un particolare accento alla sperimentazione della ricarica rapida, tanto in c.c. che in c.a.

Si approfondirà il tema delle interazioni tra veicoli elettrici (merci e passeggeri) e reti di distribuzioni dell'energia, con l'analisi della distribuzione, nel tempo e nello spazio, dei carichi dovuti alla mobilità elettrica, secondo le prevedibili linee di sviluppo della stessa. Si procederà infine alla sperimentazione su veicolo della ricarica, con due modalità di ricarica, per contatto e senza.

### **Coordinamento con attività di CNR e RSE**

Esiste un coordinamento fra RSE ed ENEA sui temi dell'analisi del profilo di missione dei veicoli elettrici e dell'impatto sulla rete di distribuzione. Per gli aspetti riguardanti la ricarica veloce ed i sistemi di ricarica

senza contatto le attività non rientrano tra quelle ricadenti nella sfera di interesse di RSE. Sulle tematiche di interesse il CNR non svolge alcuna attività.

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

Considerando i veicoli a batteria, il maggior peso della versione elettrica ed il rendimento di carica e scarica dell'accumulo elettrico influiscono su consumi ed emissioni, che aumentano rispetto a quello dei veicoli elettrici con infrastruttura fissa (catenaria o terza rotaia), restando però inferiori del 30-40% a quelle del corrispondente veicolo convenzionale. Il confronto è fatto naturalmente a parità di servizio, che è quello urbano perché il più adatto a valorizzare le peculiarità della trazione elettrica (autonomia limitata, niente consumi alle fermate, recupero d'energia in frenatura).

## ***PIANIFICAZIONE ANNUALE DELLE ATTIVITÀ***

### ***Descrizione 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.**

Le attività svolte nelle due sub-task (ricarica rapida in c.a.; ricarica in c.c.) permetteranno di approfondire gli aspetti tecnologici delle due soluzioni, la prima più adatta all'uso durante le soste (anche rispetto alla soluzione "colonnina"), la seconda alla realizzazione di vere e proprie stazioni di servizio ed all'uso di flotta. Si aggiunge, attività non indicata nei PAR precedenti perché a carico di altri progetti, la partecipazione dell'ENEA ai comitati tecnici del CEI, con la messa a disposizione del CEI del segretario tecnico del CT 69 "Macchine elettriche dei veicoli stradali elettrici", che si occupa per l'appunto anche del tema della ricarica.

##### ***a.1 Ricarica rapida in c.a.***

Facendo seguito allo studio preliminare sviluppato dall'Università di Padova sulla ricarica "contactless" (STEESC cosiddetti risonanti), l'attività prevista per quest'anno avrà per obiettivo lo sviluppo e la sperimentazione di un prototipo che, alimentato da una rete domestica, è in grado di eseguire la ricarica contactless degli accumulatori di una city car (48 V, 100 Ah). Le attività saranno suddivise in due fasi.

Nella prima fase, dove è predominante l'apporto dell'Università di Padova, sulla base dei risultati ottenuti con lo studio preliminare si eseguirà la progettazione esecutiva dei singoli sottosistemi che compongono il sistema, in particolare dell'invertitore ad alta frequenza che alimenta la bobina trasmittente, delle due bobine con la relativa struttura di accoppiamento e del raddrizzatore ad alta frequenza che, tramite un convertitore cc-cc interposto, alimenta gli accumulatori. Questa fase include anche il progetto degli algoritmi di controllo del prototipo. Nella seconda fase, si realizzerà un prototipo del sistema di ricarica contactless, implementando sia l'hardware che il software di controllo e si sperimenterà il sistema di ricarica contactless. Sul prototipo si svolgeranno test sperimentali con misure sia di grandezze elettriche che magnetiche in diverse condizioni di lavoro, p.es. di accoppiamento tra le bobine, al fine di validare il funzionamento del prototipo, di caratterizzarne le prestazioni, nonché al fine di valutare i livelli di esposizione ai campi elettrico e magnetico emessi e la loro conformità alla normativa vigente per la protezione della popolazione. A questo fine è previsto anche l'acquisto di un sensore di campo elettrico (quello di campo magnetico è già disponibile). E' infine prevista la prosecuzione delle attività sul caricabatteria "integrale", realizzato nell'annualità precedente, con le prove del prototipo trifase.

#### ***Risultati/Deliverable:***

- Rapporti tecnici (2) sul prototipo di sistema di ricarica contactless
- Rapporto " Sperimentazione caricabatteria "integrale"

***Principali collaborazioni:*** Università di Padova

***Durata:*** ottobre2013 - settembre 2014

## **a.2 Progettazione e studio di un 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**

Lo studio prenderà spunto dalle risultanze della precedente annualità, che già permettono di disporre di una stazione di ricarica realizzata con colonnina CHAdeMo e compensatore statico.

Sarà sviluppato un gruppo di conversione statica dell'energia "modulare", che gestisca due o più sorgenti in ingresso (rete elettrica, impianto di generazione da fonte rinnovabile) e un sistema di accumulo ibrido (batterie + supercaps), in modo da ottimizzare i flussi di potenza verso il veicolo minimizzando l'assorbimento dalla rete elettrica principale. In particolare, ogni unità di generazione e accumulo sarà interfacciata ad un bus dc comune attraverso convertitori bidirezionali, che garantiranno efficienza di conversione e dinamiche elevate grazie ad una specifica tecnica di controllo. All'interno del sistema di accumulo saranno integrati anche alcuni gruppi di supercondensatori per gestire i picchi di potenza e compensare eventuali "voltage SAG" che potrebbero compromettere la procedura di ricarica del veicolo. Il convertitore lato rete sarà dotato anche di PFC in ingresso, in modo da ridurre il contenuto armonico iniettato in rete dalla colonnina di ricarica. Si procederà a valutare i profili energetici dell'impianto di ricarica (composto da c.b. in c.c. , compensatore ed impianto PV) al variare del numero di ricariche eseguite in modalità rapida e delle risorse rinnovabili. L'ausilio dell'impianto rinnovabile inciderà sulla quota di energia prelevata da rete direttamente per la ricarica del veicolo e sarà in grado di ridurre l'impatto su di essa. La valutazione delle potenze potrà ottimizzare il dimensionamento del complesso e ridurre l'impegno di potenza della rete favorendo la diffusione dei sistemi di ricarica anche in quei contesti ove fosse complesso o antieconomico un adeguamento della rete di trasmissione in BT .

### Risultati/Deliverable

- Rapporti tecnici (2) sulle attività svolte

Principali collaborazioni: Università di Cassino

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## **b. Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti**

Le attività svolte nelle due sub-task approfondiranno gli aspetti della mobilità elettrica per persone e merci, sia per le autovetture, in funzione di diverse tipologie di veicoli, elettrici "puri" ed ibridi "plug-in" (con autonomia in solo elettrico crescente), che per il trasporto pubblico locale. Per lo sviluppo di queste attività ci si avvarrà di competenze trasportistiche ed informatiche maturate in ENEA, con la collaborazione del Politecnico di Torino per le valutazioni degli impatti (in scala locale) sul sistema elettrico.

### **b.1 V2G: gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza, l'impatto sul sistema di accumulo**

L'attività avrà per obiettivo la valutazione dell'impatto dell'approccio vehicle to grid (V2G) sulla progettazione e sull'esercizio di powertrain elettrici o ibridi plug-in per veicoli stradali connessi a reti elettriche intelligenti. L'Enea, mediante dati forniti da Octotelematics e seguendo la metodologia sviluppata nel corso della precedente annualità, studierà quali potrebbero essere, per diverse ipotesi di penetrazione sul mercato, i possibili carichi sulla rete generata dai veicoli elettrici (a batteria e plug-in, PHEV), con e senza colonnine. Lo studio prevederà un confronto tra veicoli PHEV con differenti autonomie in elettrico, a partire da 20 km e fino a 60 km, e veicoli elettrici "puri" di impiego corrispondente.

A partire dall'analisi della letteratura e degli studi di settore, per le diverse classi di veicoli, distinte per tipologia del mezzo (elettrico puro ed ibrido "plug in"), per tecnologia degli accumulatori elettrochimici, per tipologia di ricarica e tipologia di utilizzo, saranno definiti diversi scenari di differimento della ricarica e di prelievo di energia dal veicolo verso la rete elettrica (in prospettiva smart grid). Nei diversi casi sarà valutato/simulato l'impatto sul sistema.

### Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici (2) sulle attività svolte

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014

## ***b.2 Studio della sensibilità della conversione in elettrico del trasporto pubblico***

Le analisi condotte nel PAR2012 hanno dimostrato che, considerando anche i conseguenti benefici ambientali, l'elettrificazione di una rete di trasporto pubblico, nell'arco della vita utile dei mezzi (che si protrae sino a 15 anni grazie ad una maggiore durabilità dei motori elettrici rispetto a quelli a combustione interna) è economicamente conveniente, specie considerando la possibilità di utilizzare sistemi di ricarica rapida, grazie ai quali è possibile ridurre i costi complessivi di investimento (come somma dei costi di acquisto dei veicoli elettrici e di installazione dei sistemi di ricarica ai capolinea o alle fermate). Lo studio in questione è stato condotto su due diversi insiemi di linee della rete di trasporto pubblico di Roma, portando a risultati confrontabili fra loro. Nella presente annualità si vuole verificare se la fattibilità economica dell'elettrificazione del servizio di TPL sia conseguibile anche in contesti diversi, per dimensione, complessità e sensibilità ambientale. Allo scopo si propone di applicare l'analisi al caso della città de L'Aquila, in particolare all'anello di raccordo stradale realizzato a seguito dell'urbanizzazione conseguente al terremoto, sul quale è previsto il transito di alcune linee di trasporto pubblico.

L'infrastruttura fa parte di un progetto più ampio di "Smart ring", già messo in campo dall'ENEA (con un diverso finanziamento) su di un anello di 5 km che circonda il centro storico de L'Aquila, in cui vengono integrate funzioni relative alla mobilità a basso impatto ambientale, la illuminazione pubblica intelligente, una infrastruttura urbana per la gestione remota di una rete di edifici, un sistema di comunicazione cittadino-PA che include la tematica dei beni culturali.

Per il nuovo caso di studio, in particolare, si propone un approfondimento del calcolo del fabbisogno energetico dei veicoli elettrici in relazione alle reali condizioni di esercizio dei veicoli (peso in situazione di carico, ciclo di guida effettivo, profilo altimetrico, condizioni climatiche). Una volta verificate le condizioni di convenienza economica, si approfondiranno gli aspetti di fattibilità tecnica, arrivando a definire la tipologia e l'ubicazione dei sistemi di ricarica e la flotta di bus elettrici necessaria ad effettuare il servizio su cui sarà nuovamente applicata l'analisi costi benefici per una verifica delle ipotesi iniziali.

### Risultati/Deliverable:

- Report "Analisi di elettrificazione del TPL in contesti ITC: lo smart ring de L'Aquila"

Principali collaborazioni: AMA (Azienda Mobilità de L'Aquila)

Durata: ottobre 2013 -settembre 2014

## **c. Partecipazione a collaborazioni internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati**

Proseguiranno le attività relative alla partecipazione alle attività nell'ambito dell'International Energy Agency (IEA), per quanto concerne l'Implementing Agreement "Electric and Hybrid Vehicle Technologies and Programmes".

Partecipazione alle fiere di settore come Klimamobility ed Ecomondo, e pubblicazioni di articoli su riviste specializzate

### Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle attività svolte

Durata: ottobre 2013 - settembre 2014



## Programma temporale e preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivo	2013			2014								
		O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S
<b>a</b>	<b>Componenti e strutture di alimentazione innovative per veicoli elettrici e/o ibridi, per la ricarica rapida in c.a. e in c.c.</b>												
	<i>a.1 Sviluppo e realizzazione di un sistema di ricarica per micro vetture (600 W)</i>												
	<i>a.2 Progettazione e studio di un convertitore modulare per stazione di ricarica rapida dc con accumulo integrato, per l'integrazione nel sistema dei trasporti di E.E. da fonti rinnovabili non programmabili</i>												
<b>b</b>	<b>Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti</b>												
	<i>b.1 V2G: gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza, l'impatto sul sistema di accumulo</i>												
	<i>b.2 Studio della sensibilità della conversione in elettrico del trasporto pubblico</i>												
<b>c</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>												

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 2012), pari a 42,0 €/h. Per le spese generali è stato applicato il limite del 60% del costo diretto, con una tariffa media risultante di 25,2 €/h.

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)	
<b>a</b>	<b>Componenti e strutture di alimentazione innovative per veicoli elettrici e/o ibridi, per la ricarica rapida in c.a. e in c.c.</b>									
	<i>a.1 Sviluppo e realizzazione di un sistema di ricarica contactless per micro vetture (600 W)</i>	700	29	18	18	0	0	1	25	91
	<i>a.2 Progettazione e studio di un convertitore modulare per stazione di ricarica rapida dc con accumulo integrato, per l'integrazione nel sistema dei trasporti di E.E. da fonti rinnovabili non programmabili</i>	1000	42	25	0	0	0	1	30	98
	<i>Subtotale Ob. a</i>	<b>1700</b>	<b>71</b>	<b>43</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>55</b>	<b>189</b>
<b>b</b>	<b>Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti</b>									
	<i>b.1 V2G: gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza, l'impatto sul sistema di accumulo</i>	830	35	21	0	40	0	1	25	122
	<i>b.2 Studio della sensibilità della conversione in elettrico del trasporto pubblico</i>	780	33	20	0	0	0	1	0	54
	<i>Subtotale Ob. b</i>	<b>1610</b>	<b>68</b>	<b>41</b>	<b>0</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>176</b>
<b>c</b>	<b>Comunicazione e diffusione dei risultati</b>	<b>300</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>35</b>
	<b>TOTALE</b>	<b>3610</b>	<b>152</b>	<b>91</b>	<b>18</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>80</b>	<b>400</b>

\* 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