



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia
e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

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

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2011

Settembre 2011

INDICE

PREMESSA	5
AREA GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE	9
PROGETTO 1.2.2 SISTEMI AVANZATI DI ACCUMULO DI ENERGIA.....	9
PROGETTO 1.3.1 NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE: COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E SVILUPPO COMPETENZE IN MATERIA NUCLEARE	21
PROGETTO 1.3.2 NUCLEARE DA FUSIONE: ATTIVITÀ DI FISICA DELLA FUSIONE COMPLEMENTARI A ITER	62
AREA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL’AMBIENTE	79
PROGETTO 2.1.2 STUDI SULLA PRODUZIONE ELETTRICA LOCALE DA BIOMASSE E SCARTI	79
PROGETTO 2.1.4 RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE	93
PROGETTO 2.1.8 STUDI E VALUTAZIONI SUL POTENZIALE ENERGETICO DELLE CORRENTI MARINE	105
PROGETTO 2.2 STUDI SULL’UTILIZZO PULITO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI E CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO ₂	118
AREA RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL’USO DELL’ENERGIA ELETTRICA	141
PROGETTO 3.1 STUDI E VALUTAZIONI SULL’USO RAZIONALE DELL’ENERGIA: <i>STRUMENTI E TECNOLOGIE PER L’EFFICIENZA ENERGETICA NEL SETTORE DEI SERVIZI</i>	141
PROGETTO 3.2 STUDI E VALUTAZIONI SULL’USO RAZIONALE DELL’ENERGIA: <i>INNOVAZIONE NELLA ILLUMINAZIONE PUBBLICA: NUOVE TECNOLOGIE ED INTEGRAZIONE SMART CON ALTRE RETI DI SERVIZI ENERGETICI</i>	152
PROGETTO 3.3 STUDI E VALUTAZIONI SULL’USO RAZIONALE DELL’ENERGIA: <i>TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ELETTRICO NEL SETTORE CIVILE</i>	163
PROGETTO 3.4 STUDI E VALUTAZIONI SULL’USO RAZIONALE DELL’ENERGIA: <i>UTILIZZO DELL’ENERGIA ELETTRICA E SOLARE PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA</i>	173
PROGETTO 3.5 STUDIO PER LO SVILUPPO DI MATERIALI INNOVATIVI PER IL RISPARMIO DI ENERGIA NEL SETTORE ELETTRICO CON PARTICOLARE ATTENZIONE AI MATERIALI PER I MEZZI DI TRASPORTO COLLETTIVI: <i>NUOVI MATERIALI E COMPONENTI INNOVATIVI PER I MEZZI DI TRASPORTO</i>	183
COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI	199

PREMESSA

Il presente Piano Annuale di Realizzazione PAR 2011 è riferito alla terza annualità dell'Accordo di Programma tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA stipulato in data 2 agosto 2010.

Il Piano proposto è un piano annuale da 27 M€, con durata delle attività da ottobre 2011 a settembre 2012.

Il Piano comprende sia il completamento delle attività iniziate nei PAR precedenti, per le quali era prevista una durata pluriennale sia lo sviluppo di nuove attività in linea con i più recenti indirizzi nazionali e comunitari nel campo della ricerca di sistema nel settore elettrico.

Il Piano viene articolato per attività di ricerca, obiettivi intermedi, costi e tempi di realizzazione.

Quadro di riferimento

La stesura del presente Piano annuale di realizzazione ha tenuto conto dei seguenti riferimenti:

- Il Piano Triennale per la ricerca nell'ambito del sistema elettrico nazionale 2009 -2011 approvato con Decreto del MSE del 19 marzo 2009;
- il Decreto Ministeriale del 22 luglio 2011 che approva il Piano Operativo Annuale (POA) per l'anno 2011 per la Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale. L'Art. 2 del decreto prevede 27 milioni di euro per il finanziamento del Piano annuale 2011 dell'Accordo di programma con ENEA;
- gli indirizzi programmatici espressi dalla Direzione Generale per l'energia nucleare, le energie rinnovabili e l'efficienza energetica del MSE e le indicazioni operative del Comitato di Sorveglianza dell'Accordo di Programma;
- la partecipazione nello sviluppo delle ricerche del sistema universitario nazionale, proseguendo l'azione svolta con successo nelle precedenti PAR in cui l'ENEA ha coinvolto le principali Università nazionali, individuando gli specialisti riconosciuti sulle tematiche di ricerca con l'obiettivo di realizzare una rete di eccellenza a servizio del Paese, con l'esclusione delle attività sulla fusione in quanto trattasi di attività definite a livello internazionale per le quali non è necessario il coinvolgimento di università italiane;
- uno stretto coordinamento con gli altri soggetti affidatari di attività di ricerca mediante accordi di programma, RSE e CNR, per evitare sovrapposizioni e massimizzare i risultati;
- l'obbligo che i risultati delle ricerche siano a totale beneficio dell'utente, trattandosi di accordi finanziati al 100% con risorse provenienti dalla tariffazione elettrica;
- l'importanza della "diffusione dei risultati" delle attività, attraverso l'individuazione di canali opportuni, tradizionali e non, per rendere disponibili i risultati ai principali fruitori oltre che al pubblico non specializzato.

II PAR 2011

Il presente Piano Annuale è suddiviso in tre Aree prioritarie di intervento e comprende i seguenti progetti di ricerca:

Governo, Gestione e Sviluppo del Sistema elettrico Nazionale

- Sistemi avanzati di accumulo energia
- Energia nucleare :
 - Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare
 - Nucleare da fusione: Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER

Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

- Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti
- Ricerca su celle fotovoltaiche innovative
- Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine
- Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO₂

Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

- Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi
- Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica
- Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile
- Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva
- Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto.

Le attività previste sono in parte nuove e in parte la continuazione di attività già presenti nei precedenti Piani, per le quali era stata programmata una prosecuzione, aggiornate e implementate alla luce delle indicazioni del POA 2011.

Le attività vengono dettagliate e definite esattamente per l'annualità in essere. La durata delle attività sarà annuale (ottobre 2011 - settembre 2012).

Il nuovo PAR, come i precedenti, prevede l'intervento delle società partecipate Sotacarbo e FN, nonché la partecipazione da parte dei principali Istituti universitari nazionali per una quota pari al 20% delle risorse finanziarie complessive con esclusione delle attività sulla fusione nucleare.

Il PAR 2011 comprende dodici attività di ricerca suddivise nelle tre Aree come sopra descritto.

In particolare l'Area Governo del Sistema Elettrico comprende le attività relative all'accumulo elettrico e quelle sull'energia nucleare.

Proseguono le attività finalizzate all'accumulo di energia elettrica, essenziali per la diffusione delle fonti rinnovabili caratterizzate da forte discontinuità temporale e continuano le attività sul nuovo nucleare da fissione che vengono concentrate su tre linee di attività principali:

- LINEA PROGETTUALE 1: Studi sul nuovo nucleare in ambito internazionale
- LINEA PROGETTUALE 2: Studi di sicurezza sugli impianti nucleari
- LINEA PROGETTUALE 3: Reattori di IV Generazione

per tenere conto delle necessità di ricerca nel settore, alla luce anche di quanto accaduto lo scorso marzo in Giappone e degli indirizzi di politica nazionale e comunitaria.

Per quanto riguarda la fusione, continuano le attività, iniziate nel precedente PAR, sul Broader Approach, con lo sviluppo di ricerche di base sulla fisica e la tecnologia della fusione, finalizzate:

- alla realizzazione del magnete superconduttore, con incluse le casse di contenimento e le alimentazioni elettriche di una macchina Tokamak, denominata JT 60SA;
- alla progettazione e costruzione di un target per la produzione di neutroni su cui fluisce litio ad alta velocità;
- allo sviluppo di competenze teoriche e sperimentali sui materiali avanzati. In particolare è prevista la collaborazione della società partecipata FN per la produzione di composti ceramici in matrice e fibra di silicio.

Nell'ambito dei programmi internazionali a supporto della realizzazione di ITER (la macchina tokamak che sarà costruita a Cadarache, Francia, frutto di una collaborazione internazionale tra EU, Cina, Giappone, Russia, India, Corea, USA), viene anche iniziata una prima attività di studio e ricerca finalizzata alla realizzazione di un esperimento di fusione denominato FAST di prestazioni intermedie tra quelle di JET (la

macchina tokamak europea in funzione dal 1983 a Culham, Inghilterra) e quelle di ITER, FAST che dovrebbe operare a partire dagli ultimi anni della costruzione di ITER, ha lo scopo di preparare gli scenari operativi di ITER simulando l'effetto delle particelle alfa mediante ioni accelerati dai sistemi di riscaldamento ausiliario. In questo modo sarà possibile studiare un plasma che brucia senza ricorrere all'uso del trizio.

L'Area Produzione di Energia Elettrica è articolata in quattro progetti: produzione da biomasse e scarti, fotovoltaico innovativo, studi sulle correnti marine e tecnologie innovative per l'utilizzo del carbone.

Le attività riguardano ricerche: sull'utilizzo di biomasse disponibili localmente per la produzione di energia e l'impiego del biogas in metanodotti, sul fotovoltaico avanzato (film sottili innovativi, film sottili policristallini a base di $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$, celle organiche); sulla produzione di energia dalle correnti marine; sullo studio delle tecnologie di CCS come strada per un utilizzo sostenibile del carbone.

L'ultima Area, quella sul risparmio nell'uso dell'energia elettrica, prevede attività finalizzate all'efficienza energetica nei settori dei servizi, dell'illuminazione pubblica, del civile residenziale e non e nel settore della climatizzazione, con interventi di sviluppo tecnologico e la realizzazione di dimostrativi sperimentali. In particolare le attività sui mezzi di trasporto comprenderanno sia studi e sviluppi sulla componentistica che attività di ricerca di base e sperimentazione su nuovi materiali più leggeri in grado di contribuire a ridurre i forti consumi energetici del settore.

I preventivi economici attività dei dodici progetti sono riassunti nella tabella che segue, ripartiti per le voci di spesa definite nel pertinente documento *"Criteri per la valutazione dei piani annuali di realizzazione ai fini dell'ammissione alla contribuzione del Fondo per il finanziamento delle attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale e per la verifica degli stati di avanzamento e del conseguimento dei risultati finali"* della Cassa Conguaglio per il Settore Elettrico.

Si evidenzia che il piano prevede, complessivamente, l'impegno di circa 73 uomini x anno di personale ENEA, oltre ad investimenti in strumentazioni e attrezzature di ricerca per circa il 38% del costo. Quanto alle altre voci, le spese correnti sono circa il 5%, mentre si prevedono 3.953 M€ per attività di terzi (tra cui 2.150 M€ per il già citato intervento delle società partecipate Sotacarbo e FN) ed altri 3.600 M€ per il contributo che gli istituti universitari forniranno alle attività del Piano Annuale di Realizzazione 2011. La partecipazione delle Università non è prevista per le attività relative alla fusione nucleare, come da Art. 2a del citato Decreto Ministeriale.

Accordo di Programma MSE- ENEA
Costo del PAR 2011 per principali voci (k€)

AREA	ATTIVITÀ DI RICERCA		Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
Governare, Gestione e Sviluppo del Sistema elettrico nazionale	1.2.2.	Sistemi avanzati di accumulo energia	9.000	630	80	90	0	200	1.000
	1.3.1	Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare	19195	1347	1050	408	1195	1000	5000
	1.3.2	Nucleare da fusione: Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER	13435	940	7303	22	735	0	9000
	<i>SUBTOTALE</i>			<i>41630</i>	<i>2917</i>	<i>8433</i>	<i>520</i>	<i>1930</i>	<i>1200</i>
Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente	2.1.2	Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti	9945	696	64	130	150	260	1300
	2.1.4	Ricerca su celle fotovoltaiche innovative	12995	910	400	240	50	400	2000
	2.1.8	Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine	1675	100	75	30	0	95	300
	2.2	Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO ₂	13715	960	560	340	1600	530	4000
<i>SUBTOTALE</i>			<i>38330</i>	<i>2666</i>	<i>1099</i>	<i>750</i>	<i>1800</i>	<i>1285</i>	<i>7600</i>
Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica	3.1	Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi	4640	325	90	55	40	190	700
	3.2	Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica	9055	634	276	40	10	340	1300
	3.3	Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile	7420	520	35	25	95	225	900
	3.4	Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva	4140	290	170	70	0	170	700
	3.5	Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto	5.740	402	100	30	78	190	800
<i>SUBTOTALE</i>			<i>30998</i>	<i>2171</i>	<i>671</i>	<i>220</i>	<i>223</i>	<i>1115</i>	<i>4400</i>
TOTALE			110958	7754	10203	1490	3953	3600	27000

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 1600 k€ per attività della partecipata SOTACARBO e 550 k€ per FN))

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Sistemi avanzati di accumulo di energia

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

La richiesta di sistemi di accumulo nelle reti elettriche sta crescendo notevolmente di pari passo con l'evoluzione tecnica ed economica del sistema di generazione, distribuzione ed usi finali dell'energia elettrica. I sistemi elettrici stanno evolvendo verso un più ampio uso di tecnologie digitali (smart grid) per una crescente integrazione di una varietà di fonti primarie (generazione distribuita, GD). La tecnologia dell'informazione applicata alle reti elettriche sarà funzionale al miglioramento dell'affidabilità, della sicurezza e dell'efficienza delle reti, favorendo l'introduzione massiva di fonti energetiche rinnovabili, per loro natura intermittenti, con l'utilizzo di sistemi di gestione e controllo sempre più sofisticati per rispondere ad una maggiore richiesta di qualità della fornitura di energia che ha notevoli impatti economici sui processi industriali. La necessità di garantire un maggiore controllo delle fasi di produzione con quelle della domanda di energia anche nell'ottica di un mercato aperto e libero nella commercializzazione dell'energia elettrica, stanno rendendo le tecnologie dell'accumulo sempre più promettenti ed utili per migliorare il rendimento, la gestione, la qualità e ridurre i costi dell'energia elettrica prodotta ed utilizzata. La necessità di esplorare tali soluzioni è ancor più evidente se si considera che le suddette problematiche diventeranno sempre più rilevanti alla luce della previsione di aumento della produzione di energia rinnovabile a seguito dell'attuazione della Direttiva comunitaria 2009/28/CE.

In aggiunta, la diversificazione dei combustibili nei trasporti stradali si sta sempre più orientando verso un crescente utilizzo dell'energia elettrica con lo sviluppo di una rilevante flotta di veicoli elettrici in grado di svolgere una funzione non solo di carico della rete, ma anche, eventualmente, di accumulo distribuito, purché tali veicoli siano dotati di un sistema di accumulo di caratteristiche adeguate e opportunamente controllati e gestiti per interloquire in maniera intelligente con il sistema elettrico.

In conseguenza di quanto sopra detto, questo progetto intende promuovere la disponibilità industriale di batterie al litio e valutare in condizioni di reale utilizzo le soluzioni più convenienti da un punto di vista tecnologico ed economico, sia per l'utente finale che per il settore industriale e il gestore/fornitore del servizio, in linea con quanto previsto dal Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale: *“La realizzazione industriale di sistemi di accumulo di energia elettrica a basso costo, con un rapporto peso/volume/capacità tale da permettere una buona autonomia e con materiali non eccessivamente inquinanti, pur se lungamente annunciata, rappresenta tuttora un obiettivo di interesse strategico da perseguire. Non mancano in questo settore molte interessanti prospettive che, se realizzate, potrebbero contribuire ad una migliore gestione del sistema di generazione accumulo - trasmissione – distribuzione dell'energia elettrica, oltre al minor inquinamento, soprattutto dei centri urbani”.*

Si è pertanto deciso di concentrare le attività nel piano triennale sulla ricerca, lo sviluppo e la verifica in condizioni pilota assimilabili ad usi reali di elevato interesse energetico e commerciale di accumulatori (più comunemente denominate batterie) al litio, che, seppur ritenuti tra i sistemi elettrochimici più interessanti per l'accumulo di energia elettrica, sono ancora scarsamente sviluppati e provati per le applicazioni stazionarie tipiche per le reti elettriche; un'altra linea di attività riguarderà lo studio e la progettazione di sistemi di accumulo con batterie al litio, integrati con opportune tecnologie di gestione ed interfaccia intelligenti con un'analisi dei possibili vantaggi energetici ed economici, anche rispetto ad altri sistemi e metodi di accumulo, con particolare attenzione alle implicazioni legate all'introduzione di impianti con fonti rinnovabili ed agli effetti connessi alla ricarica dei veicoli elettrici stradali; infine una terza linea di attività si

concentrerà sulla valutazione sperimentale di alcune soluzioni pilota particolarmente significative di sistemi di accumulo con batterie al litio con la progettazione esecutiva e realizzazione di alcuni prototipi in scala significativa: a titolo indicativo, ma non esaustivo, si pensa di valutare sperimentalmente alcune soluzioni progettuali di particolare interesse energetico ed economico, operando nelle prossimità del confine tra reti di distribuzione/trasmissione ed utenze finali, e quindi applicazioni quali la “casa attiva” (per utenze domestiche anche con veicoli elettrici inclusi) e qualche utenza industriale/servizi. Nelle valutazioni sperimentali (pilota), verrà dato spazio alla possibilità, in virtù delle competenze disponibili sulle batterie al litio, di “rivitalizzare le batterie al litio” dopo l’uso nei veicoli elettrici.

Il prodotto di questa attività è quindi la ricerca e lo sviluppo di materiali e processi per stimolare una successiva produzione industriale di batterie al litio per applicazioni stazionarie (ed anche mobili), la progettazione e realizzazione e prova di soluzioni tecnologiche avanzate per l’interfaccia verso la rete (e verso eventualmente i veicoli elettrici) in un’ottica di smart grid; la disponibilità di dati e progetti esemplificativi dei vantaggi e delle possibilità reali di introduzione di sistemi di accumulo in batterie nel sistema elettrico nazionale in accoppiamento con l’uso delle fonti rinnovabili ed anche dei veicoli elettrici.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL’ATTIVITÀ

Lo stato di sviluppo dei sistemi di accumulo dell’energia per applicazioni mobili e stazionarie ha visto nell’ultimo anno un crescente impegno di ricerca, sviluppo ed applicazioni in varie parti del mondo. Le risorse dedicate ai programmi di ricerca finanziati con fondi pubblici aumentano di pari passo con l’avvio di iniziative per lo sviluppo di “reti elettriche intelligenti” (generazione distribuita e smart grid), che richiedono sistemi di accumulo sempre più differenziati in termini di prestazioni e costi, a cui si aggiungono le necessità di accumulo nel settore dei trasporti stradali a propulsione elettrica, che ben potrebbero integrarsi in un reti elettriche più evolute.

L’accumulo di energia nelle reti elettriche è considerato da circa un secolo come uno dei principali sistemi in grado di aumentarne la flessibilità e l’efficienza. I sistemi di accumulo presentano numerosi vantaggi in relazione alle molteplici funzioni che sono in grado di svolgere nell’intero sistema elettrico, giacché possono essere utilmente collocati a livello del sistema di generazione (impianti multiMW), della rete di trasmissione e distribuzione fino agli usi finali, con un posizionamento sempre più economicamente ed energeticamente conveniente da ambo i lati del “contatore”. Sono attualmente allo studio e utilizzati numerosi sistemi di accumulo che si differenziano notevolmente per caratteristiche, prestazioni e costi e sono stati in parte analizzati e classificati in relazione alle funzioni privilegiate che possono svolgere. Nel caso specifico della crescente integrazione delle fonti rinnovabili nelle reti elettriche, l’uso dei sistemi di accumulo può significativamente migliorare le prestazioni tecniche ed economiche delle smart grid in cui tali sistemi sono inseriti. In tal caso, ci sono altre funzioni, aggiuntive a quelle già note (power quality, peak shaving, regolazioni di tensione o frequenza, ecc.), che i sistemi di accumulo possono svolgere per rendere ancora più favorevole l’utilizzo delle fonti rinnovabili:

- uso dell’energia da fonti rinnovabili in periodi di maggiore convenienza (spostamento temporale tra produzione ed utilizzo);
- disponibilità della capacità produttiva (potenza costante connessa alla rete) delle fonti rinnovabili (principalmente impianti eolici e fotovoltaici) in modo da rinviare la necessità di realizzazione di nuovi impianti convenzionali.

Le molteplici funzioni sopra indicate richiedono sistemi e metodi di accumulo significativamente diversi. Negli ultimi anni, sono stati sviluppati ed applicati diversi metodi di accumulo con tecnologie appositamente studiate: accumulo di acqua in bacini di pompaggio; volani (flywheels), accumulo di aria compressa in caverne (Compressed Air Energy Storage, CAES); magneti superconduttori (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES); batterie elettrochimiche; supercondensatori; accumulo di energia termica e più recentemente, accumulo di idrogeno in abbinamento con le celle combustibile.

La forma più diffusa di accumulo dell’energia elettrica (non però per le reti elettriche), particolarmente indicata per applicazioni di alta potenza e di bassa energia, è certamente quella elettrochimica (batterie e supercondensatori). 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. Diverse soluzioni sono state proposte ed utilizzate, ma ulteriori attività di ricerca e di validazione sperimentale in applicazioni reali alle reti elettriche con fonti rinnovabili si rendono necessarie, in modo da coprire diverse taglie di applicazioni e differenti funzioni. Le batterie più interessanti sono attualmente, oltre a quelle ormai convenzionali al piombo ed alcaline, quelle al litio, ad alta temperatura e a flusso. Alcune di queste batterie (alta temperatura come le Zebra o quelle a flusso) sono state già oggetto di studio in precedenti annualità della Ricerca di Sistema, da parte principalmente di RSE SpA. Inoltre stanno acquistando maggiore interesse ed importanza per le applicazioni di elevata potenza ed alto rendimento (per power quality, regolazioni di frequenza o riduzione delle potenze di picco = peak shaving) i supercondensatori (anche denominati condensatori elettrochimici) ed, in minor misura, la produzione e l'accumulo di idrogeno per un uso successivo con le celle a combustibile. La scelta del sistema ed, eventualmente, la sua possibile integrazione per disaccoppiare potenza ed energia, devono essere opportunamente studiate e verificate.

Questi dispositivi elettrochimici hanno finora avuto un limitato sviluppo per le applicazioni nelle reti elettriche con la messa in servizio di alcuni impianti di taglia medio-grande (fino a decine di MW, basati principalmente su batterie convenzionali al piombo e qualche applicazione di batterie sodio-zolfo ad alta temperatura in Giappone e Stati Uniti).

Le batterie al litio sono il sistema di accumulo elettrochimico più interessante ed in maggiore sviluppo tra quelli attualmente considerati perché presenta numerosi vantaggi, tra cui quello di poter essere utilizzato sia nel sistema elettrico che negli usi finali; tra questi ultimi si citano i veicoli a trazione elettrica, che potrebbero in prospettiva essere considerati un componente integrale del sistema elettrico. Queste possibilità applicative delle batterie al litio non sono state ancora pienamente valutate, in quanto le attività di ricerca, sviluppo ed industrializzazione puntano principalmente alle applicazioni mobili nell'elettronica di consumo (mercato maturo ormai in grande crescita) e nella trazione elettrica stradale. Inoltre, nell'ottica di una sempre crescente penetrazione della GD da fonte rinnovabile nelle reti elettriche, al fine di massimizzare l'energia prodotta da generatori non programmabili con una conseguente riduzione dei costi, sarà necessario progettare, realizzare e valutare sperimentalmente tecnologie e sistemi di accumulo che facilitino la conversione delle forniture energetiche intermittenti in un servizio caratterizzato da adeguati livelli di affidabilità e qualità, nonché adeguate strategie di controllo e supervisione delle interfacce in un contesto di rete complessa intelligente, come le smart grid, appunto. Insieme alle batterie al litio, dovranno pertanto essere sviluppate le piattaforme informatiche e gli algoritmi di controllo distribuito, necessari ad ottimizzare l'efficienza di tutti i sistemi coinvolti, che consentiranno di abilitare un processo di trasformazione strutturale di ogni fase del ciclo energetico, dalla generazione fino all'accumulo, al trasporto, alla distribuzione, alla vendita e al consumo intelligente di energia, anche nell'ottica di un'integrazione di sistemi di accumulo "mobili" come i veicoli a trazione elettrica.

Le potenzialità tecniche delle batterie al litio e dei sistemi di interfaccia intelligenti ad esse collegate dovranno quindi essere opportunamente studiate e sviluppate fino ad un livello prototipale con l'obiettivo di avere sistemi economicamente più convenienti ed energeticamente più efficienti, mentre i vantaggi e benefici applicativi dovranno essere chiaramente individuati e confermati sperimentalmente in alcune attività dimostrative pilota, opportunamente selezionate in base al loro potenziale impatto energetico, economico ed ambientale, ed anche sociale per l'impatto sui comportamenti derivanti dall'introduzione di smart grid e di sistemi di trasporto alternativi.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

La situazione nell'ultimo anno ha visto sostanziali progressi scientifici e tecnologici nel campo dell'accumulo di energia con l'individuazione di nuovi filoni di ricerca e potenzialità applicative, che verranno progressivamente incluse nelle attività previste in questo progetto che, pur mantenendo gli obiettivi e l'approccio individuati inizialmente, integrerà gradualmente materiali e metodi che ben si abbinano ai materiali già selezionati per meglio soddisfare gli obiettivi previsti.

Il governo americano tramite il Dipartimento dell'Energia (DOE) sta potenziando un ampio programma di sviluppo ed applicazione di tecnologie smart grid. Questo programma trae vantaggio anche dal maggiore

programma pubblico, a livello mondiale, di ricerca, sviluppo e dimostrazione di batterie al litio per applicazioni ai veicoli elettrici. Sono stati finanziati progetti nel 2009 solo per la dimostrazione dei sistemi di accumulo per reti elettriche sono per un totale di 770 milioni di dollari (con circa il 25% di contributo pubblico). Studi specifici sull'uso dei sistemi di accumulo sono condotti da anni dall'EPRI (Electric Power Research Institute), che ha recentemente analizzato i vantaggi in termini di risparmio energetico e di riduzione delle emissioni di gas serra dall'introduzione delle smart grid con l'uso di fonti rinnovabili e sistemi di accumulo.

Il Giappone ha da molti anni avviato progetti per lo sviluppo di batterie al litio per applicazioni mobili e stazionarie nell'ambito dei progetti Moonlight e Sunshine. Le applicazioni di batterie al litio in sistemi distribuiti anche in corrente continua sono stati sperimentalmente analizzati: le batterie al litio sviluppate ed utilizzate sono però di una tecnologia ormai superata dai recenti risultati scientifici e tecnologici sulle nuove batterie al litio per veicoli elettrici. Questi interventi pubblici si affiancano ad impianti dimostrativi industriali di taglia medio-grande che utilizzano altri tipi di batterie.

L'accumulo di energia nelle reti elettriche è incluso negli obiettivi strategici della politica energetica dell'Unione Europea, come parte della European Electricity Grid Initiative del SET Plan, che prevede tra le sfide tecnologiche dei prossimi 10 anni un miglioramento sostanziale dei costi e dell'efficienza dei sistemi di accumulo per le smart grid. Inoltre la Commissione Europea (CE) ha lanciato, a supporto del SET Plan, l'alleanza EERA (European Energy Research Alliance) per la ricerca energetica europea che ha tra i temi prioritari individuati le smart grid e l'accumulo di energia. Inoltre da oltre 20 anni la CE finanzia progetti sull'accumulo di energia e su batterie al litio e supercondensatori, rivolti essenzialmente ad applicazioni ai veicoli (come nel caso dei recenti progetti, approvati sul tema Green Cars).

In Italia, la ricerca sui sistemi a litio e supercondensatori elettrochimici è stata avviata a livello universitario oltre 30 anni fa, con il conseguimento di eccellenti risultati, che sono stati prevalentemente utilizzati all'estero. Le competenze sui materiali elettrodi, sugli elettroliti e sulla realizzazione e caratterizzazione di celle elettrochimiche complete sono state sviluppate presso università ed enti di ricerca (Università di Bologna, Camerino, Pavia, Milano, Roma, Torino, ENEA, ecc.) anche grazie ai diversi finanziamenti pubblici (Progetti Finalizzati Energetica e dei Materiali, legge 95/95, PRIN). La situazione industriale nel settore ha molto risentito della congiuntura economica sfavorevole degli ultimi anni anche se nel passato la ricerca industriale su nuovi sistemi di accumulo è stata molto limitata. Alcune iniziative industriali sono state preparate recentemente anche nell'ambito di proposte a bandi PON. Queste iniziative vedono parzialmente coinvolte alcune industrie nazionali di batterie, quali FIAMM e FAAM, insieme a Magneti Marelli ed altre industrie che hanno manifestato interesse ad avviare una specifica attività di sviluppo di batterie al litio.

Nel campo della generazione distribuita, smart grid e tecnologie intelligenti collegate, oltre a quanto promosso dalla Ricerca di Sistema, negli ultimi anni si è assistito ad un crescente impegno della ricerca con la partecipazione di diversi istituti universitari e la creazione di specifici consorzi interuniversitari con un aumentato coinvolgimento delle aziende elettriche, dei gestori del sistema elettrico e di alcune aziende produttrici di impianti a fonti rinnovabili e di elettronica avanzata. Non esistono ancora applicazioni reali di sistemi di accumulo con batterie al litio nelle reti elettriche, mentre l'integrazione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici sono state nell'ultimo anno oggetto di intensa attività di ricerca, normativa e regolatoria (AEEG e Terna) ed anche parte di alcuni interessanti dimostrazioni, in fase di avvio, di ENEL e A2A.

Inoltre ENEL ha recentemente firmato un accordo di collaborazione strategica con la *Nippon Electric Company* (NEC) per un progetto pilota che prevede la sperimentazione di smart grid con sistemi di accumulo litio-ione da inserire nella propria rete di distribuzione.

L'ENEA è da oltre 20 anni impegnata nella ricerca e nello sviluppo di batterie al litio, in collaborazione con alcuni istituti universitari, nell'ambito di programmi e progetti nazionali ed internazionali, e nelle sue applicazioni ai veicoli elettrici. Nell'ultimo decennio l'ENEA ha coordinato e svolto due programmi nazionali, con il Ministero della Ricerca Scientifica, per la ricerca e lo sviluppo di batterie al litio per applicazioni mobili nei veicoli elettrici e nell'elettronica di consumo. Inoltre, l'ENEA è da anni impegnata in progetti europei (tra gli altri, ASTOR, SCOPE, LIBERAL, ILHYPOS, GREENLION, HCV, HELIOS) per la ricerca, lo sviluppo e la caratterizzazione di batterie al litio per applicazioni prevalentemente mobili.

L'ENEA rappresenta l'Italia nell'alleanza europea EERA e partecipa a iniziative internazionali dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) che riguardano accumulo di energia e veicoli elettrici ed ibridi.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo generale del programma di attività è la ricerca, la realizzazione e la verifica sperimentale, di sistemi di accumulo elettrochimico a base di litio in applicazioni stazionarie, adeguatamente individuate, con particolare attenzione all'integrazione delle fonti rinnovabili, che, una volta sviluppate industrialmente, presentino caratteristiche tecniche ed economiche migliorate rispetto ai sistemi attualmente disponibili sul mercato. L'obiettivo verrà raggiunto mediante un approccio sistemico che consenta di sviluppare non solo le batterie al litio, ma anche le tecnologie di integrazione ed interfaccia con la rete, nell'ottica di un notevole incremento delle fonti rinnovabili intermittenti, ed, eventualmente, di introduzione di una crescente flotta di veicoli a trazione elettrica. Pertanto, si prevede di selezionare opportunamente alcune applicazioni dimostrative particolarmente significative ed originali (quale ad esempio, la "casa attiva", un sistema intelligente presso l'utente finale che possa attivamente colloquiare con il gestore della rete e rendere più flessibile il carico elettrico con l'accumulo e con fonti rinnovabili).

Le batterie al litio studiate verranno anche confrontate e eventualmente integrate con altri sistemi di accumulo, in modo da valutare le potenzialità applicative anche con verifiche sperimentali.

Infine si vuole porre particolare attenzione agli aspetti ambientali cercando di intervenire e di proporre soluzioni migliorative all'intera filiera dalla produzione delle batterie al litio alle fasi di utilizzazione e riciclaggio finale. Nella fase di ricerca e produzione si sceglieranno materiali con ridotto o nullo impatto ambientale; inoltre si valuterà sperimentalmente la possibilità di garantire una "seconda vita applicativa nelle reti" alle batterie usate nei veicoli elettrici.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Il progetto è strutturato su tre linee di attività principali, che mirano alla ricerca di base su accumulatori al litio particolarmente indicati per le applicazioni stazionarie nelle reti elettriche ed, in parte, anche in quelle mobili in veicoli a trazione elettrica, che possano svolgere anche funzioni di accumulo distribuito:

- la ricerca fondamentale su batterie a litio (almeno di due tipologie diverse per arrivare alla progettazione, realizzazione e prova di celle da laboratorio di scala significativa per applicazioni stazionarie nelle reti elettriche e mobili per veicoli elettrici a più alto rendimento energetico e più compatibili con eventuali ricariche rapide; queste batterie dovranno avere prestazioni, affidabilità e costi molto diversi da quelle attualmente disponibili sul mercato;
- la ricerca fondamentale sulle tecnologie di controllo e di interfaccia con la rete, con una valutazione tecnica ed economica delle diverse tipologie di accumulo nell'ottica di una loro integrazione con impianti a fonti rinnovabili con particolare attenzione alle applicazioni nella distribuzione ed negli usi finali, dove sono potenzialmente più interessanti e competitive le caratteristiche delle batterie rispetto ad altri sistemi di accumulo;
- la progettazione e realizzazione prototipale di soluzioni impiantistiche ottimizzate per diverse applicazioni, anche in accoppiamento con supercondensatori, atte a migliorare l'efficienza energetica e il valore economico dei sistemi di generazione ed utilizzo con fonti rinnovabili, includendo anche la possibilità di valutazione dell'interfaccia con varie utenze finali, quali utenze domestiche e reti di ricarica per veicoli a trazione elettrica; lo studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali, ad esempio, supercondensatori elettrochimici e sistemi di accumulo termico con valutazione delle potenzialità applicative anche mediante verifiche sperimentali. L'attività di ricerca ed applicazione di batterie al litio.

In dettaglio le attività precedenti sulla ricerca e sviluppo di batterie al litio sono state svolte in una fase preliminare di studio in cui è stato predisposto uno studio di fattibilità e un programma pluriennale di ricerca e sviluppo nell'AdP 2006-08 nell'ambito del tema di ricerca 5.4.3.1 relativo alle "Elettrotecnologie innovative", mentre il programma di ricerca è stato avviato nel Piano Annuale 2008-2009. Inoltre alcune

attività dimostrative dell'accumulo elettrico in batterie e supercondensatori sono state svolte nei Piani Annuali di Realizzazione 2006 e 2007.

Nel PAR 2006 è stato trattato il tema dell'accumulo elettrico con supercondensatori e batterie attraverso attività di tipo sperimentale presso i laboratori del Centro ENEA Casaccia. In particolare, per quanto riguarda l'accumulo elettrico con supercondensatori è stato realizzato un impianto sperimentale in scala, per studiare l'applicazione di un sistema di accumulo con supercondensatori ad un carro ponte. ENEA dispone inoltre di un banco freno in grado di simulare le diverse condizioni di carico in cui si trova a lavorare un azionamento di un carro ponte. È stata eseguita la sperimentazione di una sezione di impianto "Carro ponte" in scala 1:10 per quel che riguarda le potenze in gioco ed in scala 1:2 per quel che riguarda le tensioni di impianto (e quindi in scala 1:5 per quel che riguarda le correnti). È stato affrontato anche il tema dell'accumulo elettrico con batterie per applicazione ad una funivia: è stata eseguita l'analisi dei cicli di lavoro e si è proceduto al dimensionamento tecnico-economico dell'accumulo, con l'analisi comparata di tre tecnologie (supercondensatori, batterie al piombo, batterie litio-polimeri).

Nel PAR 2007 è stato affrontato il tema dell'accumulo elettrico con supercondensatori e batterie attraverso un approfondimento teorico-sperimentale dell'utilizzo dell'accumulo nei settori di applicazione e la realizzazione di installazioni sperimentali pilota, in particolare per l'applicazione di supercondensatori a sistemi di movimentazione (carro ponte) e per l'applicazione di batterie a sistemi di trasporto a fune (funivia) individuando utenti finali dei settori industriale e del terziario presso cui eseguire la sperimentazione sul campo, in condizioni di esercizio reale, per verificare i risultati ottenuti in laboratorio. Le batterie al litio sono state analizzate all'interno di una linea ad hoc nel PAR 2007. È stato eseguito uno studio di fattibilità: scientifico per individuare le principali necessità di ricerca di base; tecnologico per definire le potenzialità applicative ed eventuali limitazioni ambientali; ed economico per stimare costi attesi. Contemporaneamente è stata svolta un'indagine sulle potenzialità tecniche di applicazione di tali sistemi nelle reti elettriche con l'avvio di attività sperimentali per verificare, a livello di laboratorio e di casi esemplificativi, la fattibilità tecnica.

Nel PAR 2008-2009 sono state svolte attività di ricerca fondamentale su materiali innovativi per batterie al litio. In particolare sono stati selezionati, sintetizzati e completamente caratterizzati (da un punto di vista chimico-fisico) nuovi materiali catodici con caratteristiche migliorate in termini di prestazioni e costi: nuovi composti del ferro (LiFePO_4 , litio ferro fosfato) in varie soluzioni costruttive o composizioni: ricoperto con carbone oppure drogato con ossidi metallici; LiMn_2O_4 ; $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$. Questi composti sono stati ottimizzati per produrre film catodici che sono stati poi caratterizzati elettrochimicamente. Analogamente materiali anodici sono stati studiati, prodotti e completamente caratterizzati: varie grafiti modificate e leghe metalliche a base di ossidi di titanio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$), particolarmente adatti per applicazioni di alta potenza e di vita elevata, grazie alla grande stabilità di questo materiale. Successivamente, questi materiali sono stati assemblati in celle da laboratorio, opportunamente progettate, per analizzare il loro comportamento in celle complete per verificarne la stabilità e le prestazioni elettriche, oltre che elettrochimiche. Inoltre per meglio correlare i risultati delle attività di ricerca con lo sviluppo della tecnologia al litio e dei materiali utilizzati, è proseguita l'analisi del mercato e della ricerca nel settore delle batterie al litio con l'acquisizione e la prova di celle commerciali, anche usurate (da applicazioni veicolari svolte da altri), per verificare le prestazioni elettriche e la possibile "second life" di celle soltanto parzialmente utilizzate e, quindi, in grado di svolgere funzioni diverse nelle reti elettriche. L'indagine di mercato e lo studio delle applicazioni sono stati condotti anche utilizzando collaborazioni internazionali nell'ambito dell'IEA (Agenzia Internazionale dell'Energia) e dell'EERA e mediante contatti diretti con enti ed organizzazioni internazionali. In aggiunta alla ricerca sui sistemi di accumulo, sono state avviate le attività relative allo studio ed alla definizione di soluzioni ottimali di controllo interfaccia dei sistemi di accumulo al litio con le reti elettriche utilizzando fonti rinnovabili: le attività hanno riguardato l'analisi di varie possibili applicazioni (oltre 15) con le necessità tecniche ed economiche collegate e la simulazione di varie soluzioni tecnologiche e la progettazione di sistemi in scala. Infine sono state completate, con un rilevante impegno non programmato sull'analisi dei problemi di sicurezza legati all'uso di sistemi di accumulo al litio, le attività dimostrative sul carro ponte con sistemi di accumulo a supercondensatori, per cui è stata completata l'ottimizzazione del software di gestione con la verifica finale sperimentale sull'impianto prototipo presso l'ENEA degli effettivi risparmi conseguibili, e sulla funicolare di Bergamo, per cui una nuova batteria al litio è stata riprogettata, acquisita ed installata sull'impianto e condotte le attività sperimentali in condizioni reali di funzionamento. Infine

sono state poste le basi per l'effettuazione di una attività sperimentale, la progettazione esecutiva per la realizzazione di una "casa attiva", in cui poter verificare in condizioni reali di utilizzo i sistemi di accumulo, eventualmente integrati con sistemi di accumulo di altro tipo, e le modalità di controllo e di interfaccia verso la rete elettrica di questi sistemi di accumulo in presenza di fonti rinnovabili e di carichi definiti.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha ritenuto opportuno disporre la costituzione di gruppi di lavoro per garantire il coordinamento tra i soggetti affidatari (CNR, ENEA, RSE) delle attività svolte su tematiche affini allo scopo di evitare sovrapposizioni e valorizzare le risorse messe a disposizione attraverso azioni sinergiche.

Le attività relative al presente tema di ricerca sono state discusse e approfondite dal Gruppo di Coordinamento del progetto: *"Ricerche su reti attive, generazione distribuita e sistemi di accumulo di energia elettrica"*.

In particolare, per le attività sulla ricerca fondamentale delle batterie al litio saranno pienamente applicate le procedure di prova elettriche ed elettrochimiche, congiuntamente definite, per garantire una più agevole comparazione dei risultati sperimentali ottenuti dai tre enti su componenti analoghi. Inoltre per lo svolgimento di attività di verifica delle prestazioni delle attuali batterie al litio per meglio indirizzare le attività di ricerca, la selezione e la ricerca di celle e sistemi da provare verranno svolte congiuntamente tramite verifica preventiva con gli altri enti. Le campagne di prova su batterie al litio dovranno essere in qualche modo congiuntamente analizzate in modo da essere differenziate e, possibilmente, complementari in modo da allargare lo spettro di tecnologie ed applicazioni analizzate: la differenziazione potrà attuarsi mediante la scelta di sistemi di accumulo diversi per chimica o per produzione/fornitura oppure mediante l'adozione di cicli di prova riferibili ad applicazioni diverse a parità di tecnologia del sistema di accumulo. Infine, si prevede la diffusione comune dei risultati delle attività sui sistemi di accumulo per applicazioni mobili e stazionarie in un evento comune in fase di preparazione nell'ambito della manifestazione H2 Roma, prevista all'inizio di Novembre 2011 ed, eventualmente, una successiva manifestazione da organizzarsi congiuntamente, durante il 2012.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

Nella Linea di attività "Ricerca fondamentale su batterie a litio" si prevedono i seguenti obiettivi, che rappresentano il proseguimento e completamento delle attività iniziate nell'annualità precedente.

A. Ricerca su materiali e processi per la realizzazione di materiali catodici con prestazioni migliorate

L'attività prevede la ricerca di materiali catodici per celle al litio adatti per le applicazioni nelle reti elettriche, scelti per rispondere ad esigenze di alte prestazioni (potenza ed energia), basso costo e basso impatto ambientale. I materiali selezionati, durante la precedente annualità saranno ottimizzati, in base ai risultati sperimentali ottenuti in celle complete da laboratorio (Obiettivo C) e prodotti in scala utile per la realizzazione di altre celle da laboratorio. Tali celle saranno poi sottoposte a prove sperimentali per le verifiche finali ed eventuale scale up in celle di dimensioni superiori. Inoltre saranno studiati nuovi materiali catodici per lo sviluppo di batterie litio-ione di più elevata energia specifica rispetto a quelle sul mercato ed operanti con elettroliti convenzionali a base di carbonati organici e sali di litio. Verrà pertanto eseguita la sintesi di LiMnPO_4 (eventualmente drogato con Co) di dimensioni nanometriche (~ 50 nm), per ottimizzare il trasporto elettronico ed il trasporto degli ioni litio nel materiale, mediante tecniche di precipitazione in presenza di un disperdente organico; tale tipo di sintesi è a basso costo energetico. Inoltre saranno studiati catodi compositi per batterie allo stato solido prive di liquido: il legante potrà essere costituito da una miscela (elettrolitica) costituita da polimero, sale di litio e opportuno additivo (liquido ionico). La preparazione sarà condotta, se necessario, all'interno di un opportuno ambiente ad umidità controllata ($< 0.1\%$ umidità relativa, ottenibile nella camera secca dell'ENEA), seguendo una procedura denominata "solvent casting" (utilizzando un opportuno solvente che sarà successivamente rimosso) oppure una

procedura "solvent-free" che non prevede l'impiego di alcun solvente. La composizione dei nastri catodici sarà investigata in funzione della natura e del contenuto dei vari componenti al fine di ottenere porosità (mediante picnometria ad elio), conducibilità ionica ed elettronica (impedenza complessa) e comportamento termico (TGA) ottimali per applicazioni in batterie litio-ione. Tutti i materiali acquisiti e/o prodotti, 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. Le caratterizzazioni elettrochimiche utilizzeranno le procedure concordate nel Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE.

Risultati/Deliverable:

- Selezione di nuovi materiali catodici
- Catodi e processi di preparazione con relativa caratterizzazione chimico-fisica ed elettrochimica

Principali collaborazioni: Università di Bologna, Università di Roma "La Sapienza"

Durata: ottobre 2011-settembre 2012

B. Ricerca su materiali e processi per la realizzazione di materiali anodici con prestazioni migliorate

L'attività, analogamente con quanto previsto con l'obiettivo A, riguarda la ricerca di materiali anodici per celle al litio particolarmente adatti per le applicazioni nelle reti elettriche, con l'obiettivo di migliorare le prestazioni degli anodi prodotti mantenendo basso il costo e l'impatto ambientale. I materiali selezionati (principalmente grafiti, carboni amorfi e/o parzialmente grafitati e composti a base di ossido di titanio) durante la precedente annualità saranno ottimizzati, in base ai risultati sperimentali ottenuti in celle complete da laboratorio (Obiettivo C) e prodotti in scala utile per la realizzazione di altre celle da laboratorio per l'esecuzione delle verifiche finali ed eventuale scale up in celle di dimensioni superiori. Inoltre verrà svolta un'attività esplorativa su materiali anodici di ultima generazione, quali quelli a base di grafene e di metalli capaci di formare leghe (Sn, Si ; SnSi; Sb e intermetallici). I nastri anodici saranno preparati da ENEA utilizzando i materiali attivi selezionati. Gli anodi saranno costituiti dal materiale attivo, un conduttore elettronico (carbone) ed un opportuno legante polimerico, che potrà anche prevedere l'uso, in alternativa ai materiali convenzionali, di liquidi ionici. Tutti i materiali acquisiti e/o prodotti, 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. Le caratterizzazioni elettrochimiche utilizzeranno le procedure concordate nel Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA -RSE.

Risultati/Deliverable:

- Selezione di nuovi materiali anodici
- Anodi e processi di preparazione con relativa caratterizzazione chimico -fisica ed elettrochimica

Principali collaborazioni: Università di Camerino

Durata: ottobre 2011- settembre 2012

C. Realizzazione e prova di celle complete da laboratorio

I materiali anodici e catodici selezionati e sviluppati (Obiettivi A e B) saranno poi integrati in celle complete di elettrolita (liquido e/o polimerico), opportunamente progettate in scala da laboratorio per la verifica delle prestazioni in condizioni operative prossime a quelle dell'uso finale. Inoltre, dopo aver selezionato i due sistemi più interessanti (uno di alta potenza e l'altro di alta energia) verranno progettate e realizzate celle di dimensioni maggiorate per verificare l'effetto di scala sulle prestazioni finali ed acquisire maggiori informazioni sugli aspetti realizzativi. Tutte le celle prodotte verranno sottoposte a cicli di prova per verificarne prestazioni e vita utile, secondo le procedure di prove (elettrochimiche ed elettriche) sviluppate e concordate con CNR ed RSE, in diverse condizioni operative tipiche delle applicazioni considerate.

Risultati/Deliverable:

- Progettazione e realizzazione di celle al litio di varie dimensioni con la verifica delle prestazioni e della vita utile secondo le procedure concordate con CNR e RSE

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

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

Nella Linea di attività "Ricerca fondamentale sulle tecnologie di controllo e di interfaccia del sistema di accumulo in batterie al litio con la rete" si prevedono i seguenti obiettivi.

D. Realizzazione e prova di tecnologie di controllo ed interfaccia del sistema di accumulo in batterie al litio con la rete e con utenze particolari

L'attività prevede la realizzazione in scala significativa di tecnologie di controllo e gestione delle interfacce verso la rete con l'esecuzione di prove in condizioni reali, valutandone il dimensionamento per alcune applicazioni di riferimento (ospedali, uffici, condomini, utenze singole, ecc.) e definendo le specifiche per la realizzazione di un impianto sperimentale completo di accumulo e di generazione di energia da fonte rinnovabili. L'obiettivo rimane quello di studiare e sperimentare l'elettronica di gestione e controllo sviluppata e le varie strategie di controllo, in modo da rendere economicamente ed energeticamente conveniente l'integrazione di fonti rinnovabili con sistemi di accumulo nelle reti elettriche. L'attività di sperimentazione verrà svolta nell'Obiettivo E.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione e prova in laboratorio di tecnologie in scala significativa di controllo ed interfaccia di sistemi di accumulo in reti elettriche con fonti rinnovabili

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Università di Pisa

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

Nella Linea di attività "Dimostrazioni ed attività di supporto" si prevedono i seguenti obiettivi.

E. Verifiche sperimentali sull'interazione accumulo-rete

L'attività prevede l'esecuzione di verifiche sperimentali nel progetto dimostrativo della casa attiva in cui verranno verificate le prestazioni ed i vantaggi energetici ed economici di un sistema integrato di produzione ed accumulo adatto a fornire servizi di potenza alla rete e di energia per l'integrazione delle fonti rinnovabili in modo da poter gestire uno scambio programmato della potenza con le reti. In particolare saranno analizzati i comportamenti di sistemi di accumulo (che potrà essere anche non soltanto elettrochimico al litio), l'interfaccia di gestione e controllo verso la rete (Obiettivo D) e i vantaggi associati all'uso delle fonti rinnovabili.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati della sperimentazione della casa attiva

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Università di Pisa

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

F. Indagine tecnologiche e valutazioni di impatto dei sistemi di accumulo

L'attività prevede la prosecuzione dell'indagine delle possibili applicazioni delle batterie al litio nelle reti elettriche, con l'acquisizione di cicli di lavoro per lo svolgimento di funzioni particolarmente convenienti da utilizzare per la caratterizzazione al banco di batterie al litio commerciali. I cicli di lavoro e le procedure di prova elettriche sono parte della collaborazione con CNR e RSE, che potranno eventualmente, essere

utilizzate per la realizzazione di una banca dati (da concordare con CNR ed RSE) di prestazioni ed applicazioni significative di sistemi di accumulo al litio. Inoltre continuerà il monitoraggio sui sistemi di accumulo alternativi alle batterie al litio in modo da mantenere un costante controllo sulle potenzialità applicative e sugli obiettivi delle attività di ricerca, sviluppo ed applicazioni. Verrà estesa la campagna sperimentale per la verifica del prolungamento della vita utile delle batterie al litio usate nei veicoli elettrici, denominata "second life", per aumentarne la vita ciclica e, conseguentemente, il valore economico allargandola a chimiche diverse ed applicazioni diverse, che verranno concordate con CNR e RSE.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sullo stato dell'arte dei sistemi accumulo in batterie per le reti elettriche; programma di sperimentazione sulle batterie al litio già usate in veicoli elettrici per un'analisi sperimentale sulla "seconda vita applicativa delle batterie al litio"

Principali collaborazioni: Università di Pisa

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

G. Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali

L'attività prevede la partecipazione attiva ad alcune 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'IEA su "Electric and Hybrid Vehicle Technologies and Programmes", e "Energy Conservation through Energy Storage". Inoltre si prevede di proseguire la partecipazione all'alleanza europea, promossa dalla CE, denominata EERA, contribuendo ai temi "Smart grid" e "Energy storage". Inoltre è stata avviata una nuova collaborazione scientifica e tecnologica promossa dal circuito COST (Cooperazione Scientifica e Tecnologica a livello europeo) Action MP1004 sui sistemi ibridi che utilizzano batterie e supercondensatori. L'ENEA è stata delegata dal MIUR nel Comitato di gestione dell'Action.

Risultati/Deliverable:

- Supporto alla definizione e riorientamento di programmi e progetti nazionali sull'uso dei sistemi di accumulo stazionari e mobili e sulle smart grid e generazione distribuita

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

I risultati delle attività svolte nell'ambito dell'accumulo di energia saranno diffusi a diverse tipologie di utilizzatori:

- la comunità scientifica tramite pubblicazioni su riviste scientifiche e partecipazioni a convegni nazionali ed internazionali; questo canale consentirà di mantenersi alla frontiera della ricerca nel settore;
- i Ministeri competenti e l'industria nazionale tramite i documenti ufficiali prodotti e diffusi tramite internet;
- la comunità scientifica e industriale in senso più ampio nell'ambito delle collaborazioni internazionali in atto in ambito IEA, CE (EERA e COST) e all'interno di progetti nazionali europei in corso, che risultano complementari alle attività previste nella ricerca di sistema;
- è previsto un evento congiunto con CNR e RSE specificatamente dedicato alle attività svolte nella Ricerca di Sistema sull'accumulo di energia, nell'ambito della manifestazione "H2 Roma", che è programmata per novembre 2011.

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. Alcuni di questi strumenti di diffusione potranno essere prodotti congiuntamente con CNR ed RSE, come previsto nel programma di collaborazione.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

Il progetto per la ricerca e lo sviluppo di sistemi di accumulo di energia elettrica per applicazioni stazionarie che utilizzano impianti di generazione con fonti rinnovabili e mobili ha il duplice obiettivo di fornire un supporto scientifico e tecnologico alla sperimentazione e dimostrazione delle soluzioni più promettenti per facilitare una possibile successiva industrializzazione e commercializzazione di batterie e tecnologie di gestione e controllo intelligenti, possibilmente di produzione nazionale, così da sostenere sperimentalmente i possibili utilizzatori (aziende elettriche, utenze industriali ed utenze private) sulle potenzialità applicative dei sistemi di accumulo nelle reti elettriche con fonti rinnovabili.

Il progetto alla fine renderà disponibili conoscenze ed informazioni su materiali, processi, impianti ed applicazioni stazionarie e mobili, atti a migliorare l'efficienza in diversi punti delle rete elettrica (principalmente nella generazione distribuita includendo anche gli usi finali mobili e stazionari) e l'uso di fonti rinnovabili di varia natura (eolico, fotovoltaico, micro- e mini-idraulico). Questi risultati potranno avere diversi utilizzatori: l'industria nazionale per lo sviluppo delle tecnologie sviluppate nel progetto, le aziende elettriche, gli organismi istituzionali che regolano e gestiscono il settore elettrico e ne promuovono lo sviluppo, ed infine gli utenti finali del sistema elettrico che saranno resi partecipi dei cambiamenti in atto nel sistema energetico e delle possibili implicazioni per tutti gli utilizzatori (economici, funzionali e comportamentali).

**Progetto 1.2.2 “ Sistemi avanzati di accumulo di energia”
Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Ricerca su materiali e processi per la realizzazione di materiali catodici con prestazioni migliorate	Set 2012	1600	112	15	5	0	40	172
B	Ricerca su materiali e processi per la realizzazione di materiali anodici con prestazioni migliorate	Set 2012	1600	112	15	5	0	40	172
C	Realizzazione e prova di celle complete da laboratorio	Set 2012	1600	112	25	20	0	40	197
D	Realizzazione e prova di tecnologie di controllo ed interfaccia del sistema di accumulo in batterie al litio con la rete e con utenze particolari	Set 2012	1200	84	15	10	0	35	144
E	Verifiche sperimentali sull'interazione accumulo-rete	Set 2012	1300	91	10	10	0	30	141
F	Indagine tecnologiche e valutazioni di impatto dei sistemi di accumulo	Set 2012	1000	70	0	15	0	15	100
G	Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali	Set 2012	700	49	0	25	0	0	74
TOTALE			9000	630	80	90	0	200	1000

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA:	GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE
Tematica di Ricerca	ENERGIA NUCLEARE
Progetto 1.3.1	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE: COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E SVILUPPO COMPETENZE IN MATERIA NUCLEARE

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il prodotto finale dell'attività è costituito da: a) una serie di attrezzature, laboratori e prove sperimentali, modelli, programmi e piattaforme di calcolo validati per la progettazione nucleare; b) analisi di sistema e di sicurezza di sistemi nucleari innovativi e relativi cicli del combustibile; c) progettazioni concettuali e qualifiche di componenti e sistemi per impianti evolutivi/innovativi; d) sviluppo di tecnologie avanzate per il trattamento e lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi; e) sviluppo di materiali innovativi; f) studi sul nuovo nucleare; g) valutazioni di opzioni scientifiche e tecnologiche, ecc.. Tutto ciò al fine di contribuire allo sviluppo rapido delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per una esauriente valutazione della sicurezza degli impianti nucleari attuali e per contribuire allo sviluppo degli impianti nucleari di nuova generazione.

Per il raggiungimento di tale obiettivo il programma supporta solamente progetti proposti e portati avanti nell'ambito di grandi iniziative internazionali/europee o di programmi bilaterali svolti in collaborazione con istituzioni di ricerca di Paesi coi quali l'Italia ha siglato accordi nel campo dell'energia nucleare.

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

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il nuovo quadro di riferimento che si è delineato in Italia nel corso del 2011 a seguito dell'incidente di Fukushima, e che ha visto prima la moratoria nucleare di un anno decisa dal Governo ed in seguito l'abrogazione tramite referendum della normativa che aveva posto le basi per la riapertura dell'opzione nucleare nel nostro Paese, richiede una revisione delle attività di R&S condotte nell'ambito del programma triennale 2009-2011. In particolare, si ritiene che le attività messe in campo a supporto di una riqualificazione e potenziamento del sistema industriale per l'impiantistica nucleare attuale (seconda e terza generazione), debbano essere ridotte a vantaggio dello sviluppo dei sistemi nucleari evolutivi ed innovativi. A questo riguardo il sistema della ricerca, ed in particolare l'ENEA, gioca un ruolo chiave per la capacità di valutazione della consistenza tecnico-scientifica dei reattori di nuova generazione. Si rende quindi essenziale preservare tale capacità di valutazione attraverso il mantenimento di cultura da parte delle risorse umane coinvolte, attraverso la dotazione di strumenti tecnico-scientifici adeguati per l'esecuzione di analisi e prove di confronto (codici di calcolo, database, laboratori, simulatori) e l'ampliamento e rafforzamento della rete di collaborazioni internazionali nel settore.

Per quanto riguarda lo studio della sicurezza per i nuovi impianti nel dopo Fukushima non si potrà non tenere conto della rivalutazione dei margini di sicurezza a cui saranno sottoposti tutti gli impianti nucleari europei (stress test), che comporterà tanto una nuova valutazione delle risposte degli impianti ad eventi iniziali determinati da condizioni estreme, quanto la verifica dell'adeguatezza delle misure preventive e delle procedure di gestione dell'incidente. L'impegno sul nucleare di IV generazione deve pure essere

mantenuto ad alto livello, poiché l'utilizzo nel medio-lungo termine di sistemi nucleari a spettro veloce unitamente all'adozione di cicli del combustibile chiusi sono considerati requisiti fondamentali ed imprescindibili di sostenibilità dell'energia nucleare, sia in termini di disponibilità di materie prime sia di gestione dei rifiuti radioattivi.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate e tenendo conto delle attività tecniche già avviate nelle precedenti annualità dell'AdP, poiché la ricerca di sistema in campo nucleare è, per sua natura, di medio-lungo periodo, si ritiene di reindirizzare la presente annualità su sole tre linee progettuali:

- LINEA PROGETTUALE 1: Studi sul nuovo nucleare in ambito internazionale
- LINEA PROGETTUALE 2: Studi di sicurezza sugli impianti nucleari
- LINEA PROGETTUALE 3: Reattori di IV Generazione

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

I 439 reattori nucleari di potenza, per una potenza installata di circa 373 GWe, in servizio ante Fukushima in 30 paesi e che coprono circa il 16% della produzione mondiale di energia elettrica, appartengono alla cosiddetta II generazione (la prima generazione è quella degli anni '50 e '60 dello scorso secolo, che vide la costruzione e la sperimentazione di molti prototipi delle più varie concezioni). Si tratta di reattori in massima parte ad uranio arricchito e moderati e raffreddati ad acqua naturale (pressurizzata o bollente), costruiti negli anni '70 e '80.

La terza generazione - costituita da reattori già certificati e disponibili sul mercato - comprende i reattori avanzati ad acqua naturale. Alcuni di questi sono già in funzione in Giappone, come l'Advanced Boiling Water Reactor (ABWR da 1400 MWe progettato da General Electric e Hitachi), mentre altri - come i ben noti European (o Evolutionary) Pressurized - Water Reactor (EPR da 1.600 MWe fornito da AREVA) e l'Advanced Passive AP1000 della Westinghouse - sono in fase di costruzione in Europa e in Asia. Industrie italiane (ad es. ENEL, Ansaldo Nucleare, Mangiarotti Nuclear, ecc.) stanno già partecipando alla loro progettazione e realizzazione in altri paesi dell'Unione Europea. Esiste poi una classe di reattori evolutivi rispetto ai precedenti - noti come reattori di Generazione III+ - fra i quali spiccano i reattori di piccola o media taglia di tipo modulare (SMR) che hanno recentemente guadagnato l'attenzione sia dei Paesi in via di sviluppo sia l'interesse di operatori elettrici di limitata dimensione, per le loro potenziali caratteristiche di elevata sicurezza, facilità di trasporto, costruzione e ridotto rischio economico - finanziario. Per tale motivo gli SMR sono oggetto dell'International Framework for Nuclear Energy Cooperation (IFNEC, ex GNEP - Global Nuclear Energy Partnership) - della quale anche l'Italia fa parte - in quanto reattori da realizzare in quei paesi emergenti ed in via di sviluppo che hanno espresso all'IAEA l'interesse a ricorrere, per la prima volta, all'energia nucleare. E' rilevante osservare che anche l'amministrazione americana ha annunciato il lancio, entro il 2010 e poi rimandato al 2011, di un programma di R&S finanziato dal Department of Energy specificamente rivolto al rapido sviluppo di tali reattori. Va infine ricordato che vari Paesi stanno studiando l'applicabilità dei reattori evolutivi di piccola taglia ad un uso combinato, prevalentemente mirato alla contemporanea produzione di energia elettrica e dissalazione dell'acqua. Gli studi che attualmente vengono svolti in Italia riguardo ai reattori di generazione III e III+, sono soprattutto rivolti alle analisi ed alle verifiche sperimentali che siano rilevanti per valutarne la sicurezza.

Tra i reattori di quarta generazione, invece, alcuni sono ancora allo stadio concettuale mentre altri come MYRRHA (LFR - ETPP) ed ASTRID (DEMO SFR) sono già in una fase di progettazione avanzata, in vista di richiedere all'autorità di sicurezza l'autorizzazione alla costruzione ed esercizio nel 2014.

I reattori di quarta generazione nascono a seguito di un'iniziativa avviata dal Department of Energy (DOE) USA nel gennaio 2000, allorché dieci paesi si sono uniti per formare il Generation IV International Forum (GIF) col fine di sviluppare i sistemi nucleari di futura generazione, cioè i sistemi che potranno divenire operativi fra circa 30 anni, subentrando all'attuale generazione di reattori a neutroni termici refrigerati ad acqua. I sistemi nucleari di quarta generazione dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- *Sostenibilità*, ovvero massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi;
- *Economicità*, ovvero basso costo del ciclo di vita dell'impianto e livello di rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;

- *Sicurezza e affidabilità*; in particolare i sistemi di quarta generazione dovranno avere una bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e tollerare anche gravi errori umani; non dovranno, inoltre, richiedere piani di emergenza per la difesa della salute pubblica, non essendoci uno scenario credibile per il rilascio di radioattività fuori dal sito;
- *Resistenza alla proliferazione e protezione fisica* tali da rendere non conveniente il furto o la produzione non dichiarata di materiale nucleare o l'uso illecito della tecnologia e da assicurare un'augmentata protezione contro attacchi terroristici.

I paesi costituenti il GIF sono: Argentina, Brasile, Canada, Cina, Federazione Russa, Francia, Giappone, Gran Bretagna, Repubblica di Corea (Sud), Repubblica del Sud Africa, Svizzera, e Stati Uniti; anche l'EURATOM, per l'Unione Europea, aderisce al Forum. L'Italia - grazie all'impegno su buona parte dei progetti europei del VI e VII Programma Quadro indirizzati allo sviluppo dei reattori di IV generazione e delle relative tecnologie, alle attività portate avanti nell'ambito del presente Accordo di Programma ed alla partecipazione, per conto EURATOM, di singoli ricercatori ad alcune strutture organizzative di GIF - partecipa a Generation IV tramite l'EURATOM.

Oltre 100 esperti dei 10 paesi aderenti a GIF hanno lavorato per due anni all'esame di un centinaio di alternative tecnologiche, e - con l'emissione nel dicembre 2002 di una Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems - sono pervenuti alla selezione dei sei concetti più promettenti per la IV generazione di reattori nucleari, intorno a cui organizzare il successivo programma di ricerca e sviluppo. I sei sistemi nucleari selezionati da GIF sono:

- *Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)* - reattori a spettro veloce, refrigerati a elio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- *Lead-Cooled Fast Reactor (LFR)* - reattori a spettro veloce, refrigerati a piombo o eutettico piombo - bismuto e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- *Molten Salt Reactor (MSR)* - reattori a fissione prodotta in una miscela circolante di sali fusi, con spettro epitermico e possibilità di gestione degli attinidi;
- *Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR)* - reattori a spettro veloce, refrigerati a sodio e con ciclo del combustibile chiuso, per una più efficiente conversione dell'uranio fertile e la gestione degli attinidi;
- *Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR)* - reattore refrigerato ad acqua a temperatura e pressione oltre il punto critico, a spettro termico o veloce;
- *Very-High-Temperature Reactor (VHTR)* - reattore moderato a grafite e refrigerato ad elio, con ciclo del combustibile ad un solo passaggio (once-through). Questo reattore è ottimizzato per la produzione termochimica di idrogeno, oltre che di elettricità.

In ambito europeo lo sviluppo dei reattori di IV generazione, con particolare riguardo a quelli a spettro neutronico veloce a ciclo chiuso per la minimizzazione dei rifiuti radioattivi e l'utilizzo ottimale delle risorse naturali, è inquadrato nella European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII) dello Strategic Energy Technology-Plan (SET-Plan), di cui anche l'ENEA è membro.

Per quanto riguarda lo smaltimento dei rifiuti radioattivi, sono state maturate nel tempo notevoli esperienze e sono state sviluppate ed adottate una vasta gamma di procedure e di soluzioni tecniche. Oggi, abbandonate definitivamente altre tipologie di smaltimento, come l'affondamento a mare, i sistemi ed i metodi di smaltimento applicati nel mondo convergono nella sistemazione dei rifiuti di basso e medio livello di radioattività in apposite infrastrutture ingegneristiche superficiali, nella sistemazione di particolari classi di rifiuti a media-lunga vita in infrastrutture ingegneristiche situate più in profondità in particolari strati morfologici e, per i rifiuti ad alta attività e lunga vita, nell'impiego di particolari formazioni geologiche profonde (depositi geologici). L'esperienza che è stata maturata proviene dall'esercizio di circa un centinaio di depositi per lo smaltimento dei rifiuti di medio-bassa attività (in parte già chiusi) e dalle fasi di sviluppo o realizzazione di alcune decine di nuove installazioni (circa 40-50; fonte IAEA).

Un notevole contributo tecnico ai Paesi che hanno avviato o perseguono lo smaltimento dei rifiuti radioattivi e che si sono trovati ad affrontare diverse problematiche, da quelle più tecniche a quelle gestionali, economiche o sociali, deriva dalle Organizzazioni Internazionali delle quali anche l'Italia è

membro, quali IAEA, EURATOM e OECD-NEA, dalle quali è possibile avere assistenza tecnica, informazioni e ritorni di esperienza maturata dai vari Operatori.

Le esperienze e gli studi a livello internazionale hanno mostrato che la scelta del sito e le relative procedure di selezione necessitano di diverse discipline tecnico-scientifiche e politico-amministrative. I fattori tecnici riguardano: la geologia, l'idrogeologia, la geochimica, la tettonica e la sismica, i processi di superficie, la meteorologia, gli eventi e le attività antropiche, i trasporti e la viabilità, l'uso del territorio, la distribuzione della popolazione, la radioprotezione e, più in generale, la protezione dell'ambiente.

Gli studi effettuati e le esperienze maturate in campo internazionale, infine, hanno dimostrato che la scelta dei siti di smaltimento dei rifiuti radioattivi è strettamente correlata con le condizioni geologiche di ciascun paese ed influenzata dai requisiti specifici di smaltimento ed inventari radiologici, dalle tipologie principali dei rifiuti da smaltire, dai criteri di conferimento adottati e dall'approccio regolatorio. Tutti questi fattori si ripercuotono sul progetto dell'installazione, sebbene, in generale, il progetto sia sviluppato con l'obiettivo di limitare la migrazione ed il rilascio dei radionuclidi nella biosfera, minimizzare l'esposizione degli operatori e del pubblico, minimizzare gli interventi, la manutenzione e la sorveglianza nella fase post-chiusura. Detto obiettivo è normalmente raggiunto attraverso soluzioni tecniche, quale l'adozione di barriere di confinamento, la realizzazione di strutture ingegneristiche, lo sfruttamento dei fattori ambientali e le caratteristiche geomorfologiche del territorio (concetto di sistema multi barriera).

In prospettiva sarà possibile adottare cicli del combustibile innovati, in particolare basati sulle tecnologie di separazione, riciclo e trasmutazione dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita, attualmente in fase di R&S, che permetteranno di ridurre drasticamente i requisiti del deposito geologico.

OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

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

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

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Il programma triennale complessivo del nuovo nucleare da fissione prevede l'effettuazione delle seguenti macro-attività che, a loro volta, si articolano in attività elementari i cui obiettivi intermedi per la presente annualità sono riportati nel paragrafo "Elenco degli obiettivi intermedi":

- Studi riguardanti il nuovo nucleare da fissione, comprensivo della IV generazione, con particolare riferimento a differenti scenari di cicli del combustibile, valutazioni economiche e delle risorse naturali disponibili, problematiche generali di sicurezza, non-proliferazione, ecc.

- Funzione di Advisor in tema di energia nucleare nei confronti del MSE-DGENRE per il coordinamento della partecipazione nazionale a progetti ed accordi internazionali nel campo del nuovo nucleare da fissione.
- Sviluppo e validazione, anche su base sperimentale, di modelli, programmi e piattaforme di calcolo per l'analisi e la progettazione di sistemi nucleari evolutivi ed innovativi.
- Progettazione ed implementazione di simulatori ingegneristici di reattori evolutivi LWR.
- Progettazione, realizzazione ed operazione di un circuito sperimentale che simula il sistema primario, il sistema secondario e gli effetti del sistema di contenimento di un reattore modulare di piccola-media taglia.
- Sviluppo componenti critici per reattori modulari di piccola-media taglia.
- Analisi di sicurezza, verifiche di resistenza al sisma e protezione dagli eventi esterni.
- Sviluppo e qualifica di strumentazione innovativa.
- Progettazione e realizzazione di campagne sperimentali per simulare la risposta di impianti LWR in condizioni incidentali di particolare severità.
- Prove integrali di grandi componenti (GV, DHR, pompe, ecc.) e tecnologie innovative funzionali allo sviluppo del *Lead-cooled Fast Reactor* (LFR) di IV generazione.
- Tecnologie dei materiali avanzati per sistemi di IV generazione.
- Concettualizzazione di noccioli innovativi di sistemi di IV generazione.
- Inventario nazionale dei rifiuti radioattivi e modalità di gestione futura.
- Caratterizzazione dei rifiuti da conferire al sito di smaltimento e di deposito.
- Analisi sitologiche e fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati ad un deposito di tipo superficiale definitivo di rifiuti radioattivi.
- Tecniche innovative di trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita.
- Indagini conoscitive relative alle problematiche inerenti lo smaltimento geologico dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita.
- Normativa nucleare.

I risultati delle attività svolte nelle precedenti annualità sono sintetizzati nel seguito.

LINEA PROGETTUALE 1: Studi sul nuovo nucleare

Questa linea, presente fin dai primi PAR dell'Accordo di Programma, ha mantenuto una sostanziale continuità d'impostazione e di metodo consentendo di sviluppare progressivamente la rete delle relazioni, collaborazioni tecnico-scientifiche e accordi bilaterali con importanti realtà di ricerca, così da fornire al Ministero dello Sviluppo Economico una base aggiornata e solida, atta a sostenere la partecipazione italiana alle sfide internazionali verso reattori nucleari innovativi, sicuri, sostenibili, economici, resistenti alla proliferazione. Le attività sono state svolte in sinergia con le Università del Consorzio CIRTEN.

La partecipazione dell'ENEA e del CIRTEN ai comitati e gruppi internazionali è stata garantita dal supporto dell'AdP MSE-ENEA ed ha interessato sia le principali iniziative riguardanti i reattori veloci di IV generazione e relativi cicli del combustibile, sia ad importanti gruppi di lavoro di NEA, IAEA, GNEP, INPRO, EURATOM, ecc., dedicati allo studio di problematiche tecniche e scientifiche di carattere generale sull'uso dell'energia nucleare.

In particolare le principali attività svolte in questi ambiti sono elencate in seguito.

In ambito di IAEA

- *Uranium Working Group*

Situazione aggiornata sulla produzione mondiale di uranio e sulle capacità di arricchimento e relativi aspetti economici (disponibilità, domanda mondiale, prezzi, ecc.) e politici. Sviluppo di modelli economico-finanziari.

- *NESA (Nuclear Energy System Assessment) e INPRO (International Project on Innovative Nuclear Reactor and Fuel Cycle):* sviluppo di uno studio NESA Italy

Sulla base di una comune metodologia vengono poste le basi per innovazione tecnica ed istituzionale in modo che l'energia nucleare sia in grado di contribuire in modo sostenibile alle necessità del XXI secolo. La metodologia prevede che vengano coinvolti i possessori delle tecnologie e gli utenti ai livelli nazionali ed internazionali in modo da intraprendere azioni condivise (es. reattori di IV generazione, ciclo chiuso del combustibile). Sono stati svolti studi di scenario globali e regionali per reattori di generazione III+ e IV.

- *INIS - International Nuclear Information System*

Una delle maggiori collezioni di documentazione pubblicata riguardante gli usi pacifici della scienza e tecnologia nucleare, ospita una collezione unica di documentazione non-convenzionale. Contribuiscono oltre centocinquanta organizzazioni in qualità di membro, tra le quali l'ENEA, che sta riorganizzando il proprio patrimonio documentale.

- *Working Group Small/Medium Reactors*

Studi e analisi della disponibilità in commercio di reattori di piccola e media taglia di tipo modulare e multiscopo (produzione di energia elettrica, calore, dissalazione).

Sono state svolte attività di sviluppo e prove di componenti critici e strumentazione speciale per questo tipo di reattori.

In ambito di OECD-NEA

- *Partecipazione all'OECD-NEA Halden Reactor Project.*

Operativo da più di cinquanta anni, il progetto è basato su una rete internazionale di competenze in alcuni definiti settori chiave: affidabilità del combustibile nucleare, integrità delle parti interne del reattore, monitoraggio e controllo dell'impianto, interfaccia uomo-macchina. Questi aspetti sono stati funzionali allo sviluppo di un coerente programma di collaborazione.

In ambito europeo

L'AdP ha consentito l'attiva partecipazione alle iniziative dell'EURATOM per il SET-Plan europeo dedicate al nucleare da fissione sostenibile, ovvero SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform), ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative) ed EERA (European Energy Research Alliance on innovative nuclear materials).

Grazie anche a queste partecipazioni ENEA e CIRTEN hanno potuto essere presenti in gran parte dei progetti proposti per il VII Programma Quadro EURATOM con esito soddisfacente per molti di essi (PELGRIMM, JASMIN, SARGEN-IV, NEWLANCER, NURENEXT, SEARCH).

Tramite EURATOM è stato possibile partecipare al GIF (Generation IV International Forum) al Working Group on Proliferation Resistance and Physical Protection. In questo ambito, iniziativa GIF PP&PR, (Physical Protection & Proliferation Resistance), sono stati acquisiti e testati i metodi per la valutazione della resistenza alla proliferazione e sono in corso di valutazione le caratteristiche di non proliferazione e security dei reattori veloci di IV generazione raffreddati a metallo liquido.

Per quanto riguarda gli accordi bilaterali con i grandi enti di ricerca all'accordo tra ENEA e CEA, rinnovato nel corso del PAR2007, si è aggiunto un accordo con IRSN siglato nella primavera 2010 ed incentrato sui temi fondamentali per il ruolo di ENEA come Technical Support Organization (TSO): radioprotezione, sicurezza (safety) e security.

Le principali attività portate avanti nella collaborazione con il CEA sono relative a "Studi di meccanica strutturale e relativa normativa tecnica", alla partecipazione alla progettazione di canali sperimentali del reattore "Jules Horowitz Reactor - JHR" in corso di costruzione presso il Centro CEA di Cadarache ed alla collaborazione su tecnologie ENEA di interesse SFR. Queste attività continueranno nell'attuale PAR 2011 e per quanto riguarda JHR le importanti informazioni raccolte consentiranno al sistema nazionale industria-ricerca di valutare l'opportunità di aderire al relativo consorzio internazionale.

Nell'ambito dell'accordo con IRSN si sono consolidate attività congiunte di ricerca e sviluppo su codici e metodi per le analisi di sicurezza (ICARE-CATHARE e DRACCAR) e sull'utilizzo di simulatori di impianto a

supporto delle verifiche di sicurezza. Questo è avvenuto anche attraverso il distacco di personale giovane presso IRSN. La collaborazione verrà allargata ad ulteriori tematiche nel corso della presente annualità.

Gli studi di scenario, che si sono avvalsi dei modelli economico-finanziari avanzati sviluppati dal CIRTEN e migliorati dalla partecipazione a gruppi di lavoro internazionali (Working Party Nuclear Energy Economics, e "Working Party on Scientific Issues of the Fuel Cycle" della NEA, e "IAEA-NEA Uranium Group") hanno consentito di valutare diverse opzioni di taglia reattore e ciclo combustibile. In particolare sono stati effettuati sia studi di scenario con i codici DESAE e COSI, sia valutazioni economiche relativi al parco nucleare richiesto dall'obiettivo nazionale del pre-referendum, relativo al 25% del fabbisogno di energia elettrica al 2030.

LINEA PROGETTUALE 2: Studi di Sicurezza sugli impianti nucleari

Questa linea progettuale, rindirizzata a seguito del nuovo scenario post-referendum, raggruppa le attività relative agli studi di sicurezza che nei precedenti piani annuali di realizzazione erano distribuite orizzontalmente in diverse linee.

L'acquisizione e validazione di metodologie e strumenti di analisi per la valutazione della sicurezza degli impianti nucleari di tipo LWR ha riguardato le differenti tematiche:

- Validazione di librerie di lavoro per sezioni d'urto
- Acquisizione della piattaforma di calcolo per la neutronica APOLLO2/CRONOS"
- Validazione della piattaforma di calcolo per la modellistica termoidraulica NURISP (codici CATHARE, TRIO-U e NEPTUNE)
- Acquisizione e validazione di software per l'analisi di particolari aspetti relativi agli incidenti severi (DRACCAR, ICARE-CATHARE,) e per la simulazione integrale degli stessi (MELCORE, ASTEC)
- Sviluppo di modellistica per la diffusione e dispersione di contaminanti radioattivi.

L'insieme di queste metodologie e strumenti di analisi permetterà di condurre nel presente PAR una valutazione di tutti gli aspetti legati alla sicurezza nei reattori LWR evolutivi anche in confronto a quelli attuali.

Il database con descrizione di sistemi e componenti relativi ad un PWR (Pressurizer Water Reactor) da 1600 MWe di tipo evolutivo che è stato preparato nei precedenti PAR costituisce una base di informazioni indispensabile per le valutazioni che saranno condotte nell'attuale. Infine gli studi precedentemente condotti sulle metodologie di valutazione delle incertezze permetteranno di trattare con la giusta confidenza i risultati ottenuti.

Le attività proposte nel PAR 2011 sui simulatori di ingegneria sono la logica evoluzione delle attività condotte nelle annualità 2009 e 2010.

Nel corso della prima sono stati analizzati simulatori di ingegneria e simulatori di tipo educational per arrivare a tracciare il profilo dei possibili futuri simulatori di ingegneria di supporto alla progettazione, verifica, gestione di futuri reattori per impianti nucleari in Italia. Tale analisi ha permesso di valutare le funzionalità di tali sistemi di calcolo, i principali componenti hardware e software, i codici di calcolo utilizzati nei medesimi, le prospettive di introduzione di elementi evolutivi di simulazione.

Con l'annualità 2010 ci si è focalizzati sulla simulazione di elementi caratteristici dell'impianto nucleare quali i sistemi di protezione e controllo.

Per quanto riguarda la sperimentazione a supporto degli studi di sicurezza le attività dei precedenti piani annuali di realizzazione hanno riguardato le seguenti tematiche: valutazione delle potenzialità della facility integrale SPES-3 di simulare il comportamento in fase incidentale di un generico impianto SMR, approvvigionamento componenti e sviluppo strumentazione speciale per la facility, sviluppo componenti ed analisi integrata di sistema e di sicurezza di tali tipi di reattore, definizione di programmi sperimentali e configurazioni di impianto per la validazione di codici per la termoidraulica del sistema di raffreddamento e del contenimento utilizzati per le analisi di sicurezza in reattori evolutivi tipo LWR.

Le verifiche numeriche effettuate con il codice RELAP5 hanno confermato la sufficiente flessibilità dell'impianto SPES-3 progettato nel precedente triennio per simulare impianti di diversa taglia pur

mantenendo lo stesso layout impiantistico. Queste verifiche preliminari dovranno essere integrate con l'analisi di sequenze incidentali di particolare rilevanza per la sicurezza degli impianti SMR.

In parallelo sono state condotte delle verifiche sperimentali delle prestazioni degli elementi scaldanti di SPES-3 nelle condizioni di funzionamento del nocciolo di un reattore modulare di piccola/media taglia su un impianto realizzato nel precedente triennio. Le verifiche hanno fornito buoni risultati in condizioni di potenza nominale ma dovranno essere effettuate anche in condizioni rappresentative di eventi incidentali. Analogamente la sonda capacitiva per misura di miscele bifase progettata, realizzata e preliminarmente testata nella precedente annualità dovrà essere caratterizzata nelle reali condizioni di funzionamento. Si è inoltre proseguito l'approvvigionamento dei componenti per la realizzazione dell'impianto SPES-3 che ha riguardato il trasformatore della stazione elettrica ed i serbatoi del sistema di contenimento.

Nella linea di attività relativa allo sviluppo componenti di componenti critici per reattori modulari di piccola-media taglia, sono stati oggetto di studio i generatori di vapore ed il fondo del vessel. In particolare sul mock-up di downcomer realizzato nel primo triennio sono state eseguite prove per caratterizzare la miscelazione del Boro che consentiranno la validazione dei codici CFD commerciali. Per quanto riguarda i generatori di vapore a tubi elicoidali sono state completate le prove termoidrauliche sul mock-up a doppio tubo prototipico per l'identificazione dei campi di instabilità di funzionamento. Si è redatto un progetto realizzativo del nuovo impianto per lo studio di tubi elicoidali di vari diametri di elica e per la valutazione di soluzioni alternative sulla base dell'esistente progetto concettuale e si è proceduto alla preparazione dell'area individuata per la realizzazione.

Per quanto concerne l'analisi integrata di sistema e sicurezza, le attività sono state focalizzate sulla riduzione del rischio sismico e sull'analisi degli eventi esterni. In particolare utilizzando dati sperimentali disponibili sulle prove di rottura sugli isolatori è stato analizzato il comportamento di un reattore modulare di media taglia in caso di terremoti superiori a quello di progetto. Mediante un approccio deterministico e probabilistico si sono inoltre valutate le sollecitazioni dinamiche sulle principali strutture e componenti con riferimento alle caratteristiche reali degli isolatori. Riguardo all'analisi degli eventi esterni, per l'impatto aereo si è valutato il grado di conservatività della metodologia richiesta dalla normativa nucleare utilizzando metodi alternativi e valutando i relativi margini di sicurezza.

Nel PAR 2008-2009 si sono analizzati i codici di calcolo utilizzati per le analisi di sicurezza degli attuali reattori LWR alla luce delle caratteristiche dei reattori LWR evolutivi. Questa attività aveva lo scopo di individuare le esigenze in termini di sviluppo e validazione da prendere in conto nella definizione di futuri programmi di ricerca. Una delle problematiche analizzate riguarda la necessità di utilizzare codici accoppiati per la simulazione della forte interazione impianto-contenimento nelle analisi incidentali per reattori modulari di piccola e media taglia. I codici RELAP5 (impianto) e GOTHIC (contenimento) sono stati utilizzati per l'analisi di un transitorio incidentale previsto per la facility SPES-3 considerando un accoppiamento esterno attraverso la ri-attualizzazione di condizioni al contorno. I risultati ottenuti sono stati quindi confrontati con precedenti analisi realizzate con il solo RELAP5.

La definizione di un programma sperimentale su SPES-2 per lo studio di tematiche rilevanti per la sicurezza di reattori evolutivi di tipo LWR è stato l'oggetto di un'altra attività del PAR 2008-2009 dedicata ai codici di calcolo per reattori LWR evolutivi. Oltre alla definizione di un programma da realizzarsi a medio termine che potrebbe essere proposto nell'ambito degli studi internazionali sulla sicurezza dei reattori LWR (OECD/NEA), sono stati realizzati con il codice REALP5 calcoli di pre-test relativi ad un transitorio di diluizione del Boro (counter-part test tra la facility tedesca PKL e SPES-2). Infatti nel presente PAR 2011 si prevede l'effettuazione dello studio di fattibilità di tale prova sperimentale e la parziale realizzazione dell'adeguamento dell'impianto.

La linea progettuale LP4 relativa al PAR 2008-2009, le cui attività vengono ora riproposte in altre linee progettuali, era nata per definire lo stato dell'arte e le problematiche ancora aperte relative a tutte le tematiche connesse con la gestione dei rifiuti radioattivi: inventario nazionale e modalità di gestione futura; caratterizzazione dei rifiuti da conferire al deposito; analisi propedeutiche alla progettazione del deposito (analisi di scenari, analisi di sicurezza, quadro normativo e di radioprotezione, analisi territoriali, gestione delle emergenze, etc.); trasporto e deposito dei rifiuti; problematiche di security; informazione e formazione.

Dopo i primi due anni alcune attività, seppure importanti, sono state sospese (es. quadro normativo, security, informazione e formazione). Altre sono arrivate ad un livello di maturità che richiede solo il mantenimento dello stato dell'arte (es. inventario nazionale).

Sono invece proseguite le principali azioni di R&S inerenti:

- sicurezza dei depositi
- caratterizzazione dei rifiuti radioattivi
- rifiuti radioattivi da nucleare di nuova generazione

In relazione a tali macro obiettivi i risultati parziali si possono sintetizzare come di seguito riportato.

Per quanto riguarda la sicurezza dei depositi sono proseguite le attività di R&S relativa ai fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati a un deposito di smaltimento superficiale, con la modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti, ai fini dell'analisi di sicurezza e "performance assessment" per gli scenari incidentali ipotizzati. Sono poi state avviate attività di R&S mirate a individuare e studiare le metodologie e le tecniche più adeguate per la caratterizzazione dei siti candidati e per il monitoraggio ambientale dei siti stessi durante la fase di sorveglianza istituzionale del deposito. La prospettiva di estendere tali studi al caso del deposito geologico ha consigliato l'opportunità di mantenere la partecipazione a iniziative in corso a livello europeo ed internazionale, in particolare quelle promosse da NEA, IAEA e Commissione Europea (IGD-TP), ma anche in ambiti più ristretti (es. ARIUS e ERDO WG).

In merito alla caratterizzazione dei rifiuti radioattivi è stata affinata l'analisi critica dell'inventario, sia con nuovi dati di caratterizzazione radiologica sia con la correzione di dati dubbi, in collaborazione con l'autorità di controllo. Sono state inoltre avviate attività di R&S su temi specifici: avendo come obiettivo la riduzione delle incertezze di misura ai fini di una corretta classificazione dei rifiuti, nella terza annualità è stato testato sperimentalmente, con esito positivo, un sistema per la localizzazione del materiale fissile all'interno delle matrici di contenimento tramite misure neutroniche passive. Inoltre sono stati avviati lo studio di alcuni temi di grande impatto nella caratterizzazione dei rifiuti radioattivi, con particolare riferimento a quelli di lunga vita: caratterizzazione radiologica di rifiuti contenenti i cosiddetti radionuclidi di difficile rilevabilità (HTMR: Hard To Measure Radionuclides; es. 99Tc, 129I, 59Ni, 63Ni, 14C, 55Fe, ecc.) e studio di rivelatori di neutroni alternativi ai contatori proporzionali a He3.

Per quanto riguarda infine i rifiuti radioattivi da nucleare di nuova generazione, sono stati avviati studi relativi alle tecniche più innovative per il trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi, con particolare riferimento ai rifiuti attesi dai cicli del combustibile per i reattori di generazione III+ e IV (LFR/SFR). In particolare è stato approfondito lo studio di processi di separazione pirometallurgica lantanidi/attinidi, mediante prove a "freddo" di elettrorefinazione in sali fusi. In parallelo è stato progettato e avviata la realizzazione di un impianto per prove di elettrorefinazione con uranio depleto. E' iniziato anche lo sviluppo di matrici di condizionamento per i rifiuti radioattivi provenienti dai detti processi; per le matrici vetrose/vetroceramiche si è proceduto anche alla individuazione delle fasi minerali derivanti dai processi di contenimento mediante analisi ai raggi X, spettrofotometria IR, e SEM-EDS.

LINEA PROGETTUALE 3: Reattori di IV generazione

Con riferimento alle indicazioni strategiche delineate dalle principali iniziative europee ed internazionali per lo sviluppo dei sistemi nucleari a fissione di nuova generazione, la linea progettuale LP3 mantiene e sviluppa ulteriormente gli elementi fondamentali che costituivano anche i PAR precedenti, in particolare il PAR 2008-2009.

La proposta viene pertanto articolata sulle seguenti macro-attività:

- Progettazione di sistema,
- Materiali strutturali e fabbricazioni
- Termoidraulica del refrigerante
- Analisi di sicurezza.

L'attività di "**progettazione di sistema**" prevede lo sviluppo e l'implementazione di modelli fisici e modelli numerici, in parte associati ad attività sperimentale, con lo scopo sia di qualificare e caratterizzare i codici di

calcolo quali strumenti per la verifica di sicurezza dei sistemi nucleari innovativi, sia per il supporto alla progettazione concettuale, neutronica e termoidraulica, dei noccioli di sistemi di quarta generazione.

In particolare per lo sviluppo e validazione di modelli di calcolo per la termoidraulica di sistemi LFR, nel corso del PAR 2008-2009 si è provveduto a sviluppare e validare il codice di sistema CATHARE-2 (Accordo ENEA-CEA), con particolare riferimento all'applicazione del codice per le analisi di sistema e di sicurezza degli LFR, utilizzando dati sperimentali già disponibili dagli impianti ENEA del Brasimone (NACIE) ed effettuando benchmark di calcolo con il codice di sistema RELAP5. Per il codice di fluidodinamica computazionale FEM-LCORE (sviluppato da ENEA-UNIBO), dedicato alla termoidraulica dei noccioli LFR, si è inoltre implementato un modello avanzato di turbolenza (Four-Parametric $k-\epsilon-k\theta-\epsilon\theta$ Turbulence ModelTM), verificandone le prestazioni con riferimento ai modelli classici $k-\epsilon$ già disponibili. Per la neutronica e cinetica di noccioli LFR, si è provveduto ad accoppiare moduli di calcolo neutronico multidimensionale con un codice di termoidraulica, e applicando tale accoppiamento alla simulazione del comportamento dinamico del nocciolo LFR (ELSY/LEADER) a scopo di benchmarking con metodi di simulazione alternativi. Inoltre, ancora relativamente alla neutronica dei sistemi LFR è continuata l'attività di sviluppo, validazione e benchmarking del codice ERANOS, nell'ambito dell'accordo ENEA-CEA. Infine, riguardo la concettualizzazione e progettazione del nocciolo del DEMO di un LFR si è realizzata un'analisi del comportamento dinamico del nocciolo a fronte di transitori realistici, per la valutazione della risposta del sistema in caso di variazioni delle condizioni operative, e del rispetto dei vincoli di sicurezza in condizioni incidentali. Si è inoltre provveduto alla valutazione dell'efficacia delle barre di sicurezza, implementando nel progetto le correzioni necessarie a far fronte alle eventuali inadeguatezze del sistema emerse dalle sopracitate analisi di transitorio.

Riguardo alla prevista re-interpretazione delle campagne sperimentali svolte sul reattore TAPIRO, in appoggio alla progettazione LFR, si ricorda che nel PAR 2007, era stato valutato il rateo di dose dopo uno o più cicli di irraggiamento nella colonna termica del reattore.

Nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo per "**materiali strutturali e fabbricazioni**" in supporto ai sistemi nucleari innovativi, saranno realizzate specifiche attività sperimentali per la fabbricazione e la caratterizzazione dei trattamenti protettivi delle superfici anche mediante l'acquisizione di nuove attrezzature di laboratorio e la certificazione di quelle già esistenti. Le attività programmate trovano inserimento nell'ambito della European Energy Research Alliance on Nuclear Materials (EERA) e completano i programmi di ricerca già previsti nei progetti europei MATTER (Material Testing and Rules) e GETMAT (Gen IV and Transmutation MATerials) del VII Programma Quadro Euratom. Nell'ambito della precedente annualità, e in supporto al progetto GETMTA, sono state avviate le procedure per i test di irraggiamento neutronico su materiali strutturali e rivestimenti nel reattore russo BOR 60 e sono stati definiti e progettati opportuni test di confronto ad irraggiamento nullo. Si è inoltre proceduto al rinnovo di apparecchiature, certificazione di macchine e procedure presso i laboratori per prove termo-meccaniche dei Centri ENEA del Brasimone e della Casaccia, per rendere gli stessi rispondenti agli scopi delineati nei sopra citati progetti MATTER e GETMAT. Nel nuovo PAR è stata inoltre introdotta una nuova attività volta a verificare, mediante studi di fabbricazione presso i laboratori FN, la applicabilità delle scelte effettuate, in fase progettuale, riguardo all'ingegneria dell'elemento di combustibile. In particolare le attività menzionate consistono nella qualifica di materiali strutturali rivestiti, nello sviluppo di rivestimenti, con tecnologie differenziate e in prove di fabbricabilità meccanica.

Nell'ambito della "**termoidraulica del refrigerante**" si provvederà ulteriormente all'implementazione del laboratorio di termo fluidodinamica dei metalli liquidi pesanti e si completeranno le attività di caratterizzazione di Generatori di Vapore (GV) per applicazioni in sistemi nucleari refrigerati a piombo (LFR), in sinergia con quanto previsto dal progetto europeo LEADER e THINS (FP7 CE). Nella precedente annualità si è dato particolare rilievo all'investigazione analitico-sperimentale dell'interazione metallo liquido acqua in supporto alla caratterizzazione di generatori di vapore per sistemi LFR. L'attività svolta ha permesso di implementare ed aggiornare l'impianto LIFUS 5 dell'ENEA Brasimone, mediante la progettazione e realizzazione di una nuova linea d'iniezione acqua in pressione, la progettazione e realizzazione di una nuova sezione di prova per la qualifica di un generatore di vapore a tubi a spirale piana (ELSY), la progettazione e realizzazione di un nuovo sistema di acquisizione dati veloce e del sistema di controllo dell'impianto e l'acquisizione di nuova strumentazione (misuratore di portata ad ultrasuoni, strain gauge e termocoppie). Nell'ambito delle attività implementate in supporto allo sviluppo dei sistemi LFR, si è

proceduto inoltre alla implementazione di strumentazione aggiuntiva sull'impianto a metallo liquido pesante CIRCE in configurazione di prova ICE (Integral Circulation Experiment) per la completa caratterizzazione sperimentale del prototipo di DHR, da 800 kW, realizzato ed installato presso il CR ENEA del Brasimone. Tale attività, accoppiata alla progettazione e realizzazione del circuito ad acqua in pressione per l'alimentazione del prototipo di scambiatore, permetterà la completa caratterizzazione sperimentale, sia in regime stazionario che transitorio, dello scambiatore DHR.

Nel PAR attuale si procederà inoltre alla qualifica sperimentale di un prototipo in larga scala di GV, per l'impianto pilota LFR denominato ALFRED, che prevede l'utilizzo di tubi a baionetta a doppia parete con interposta intercapedine conduttiva; in seguito saranno realizzate analisi parametriche sulle prestazioni del sistema. A supporto di tale attività, nel precedente piano di realizzazione è stata progettata e realizzata la facility TxP dedicata alla caratterizzazione delle polveri conduttive da utilizzare nell'intercapedine del tubo a baionetta. Verranno proseguite le attività di sviluppo di una pompa per sistemi a metallo liquido pesante. In particolare sarà implementata in CIRCE e caratterizzata la pompa centrifuga ad asse verticale già acquisita nel corso del PAR 2008-2009 e verrà proseguita la realizzazione dell'impianto HELENA, per prove dei materiali di girante, di cui si è quindi provveduto alla progettazione concettuale e termoidraulica nell'annualità precedente.

Per quanto concerne la caratterizzazione dello scambio termico in regime di circolazione forzata e convezione mista in fuel bundle refrigerati a metallo liquido, si procederà con l'ulteriore up-grade dell'impianto NACIE (studi sulla convezione mista) e alla realizzazione dell'impianto HELENA (circolazione forzata). Tali attività, in sinergia con quanto previsto nel progetto SEARCH (FP7, CE), permetteranno di realizzare misure sperimentali di scambio termico, perdite di carico, temperatura di guaina in fuel bundle, supportando sia la progettazione termoidraulica dei sistemi LFR, sia la qualifica e validazione dei codici di calcolo (di sistema e di fluidodinamica computazionale). Nell'ambito del PAR 2008-2009 si è infatti già provveduto alla progettazione del fuel bundle da 250 kW da installare sull'impianto NACIE, e alla sua parziale fornitura (elementi scaldanti). Si è inoltre progettato il circuito ad acqua in pressione (16 bar), e il relativo scambiatore di calore a doppia parete, da realizzare sull'impianto NACIE per il corretto esercizio del bundle.

La macro-attività "**analisi di sicurezza**" comprende attività di simulazione, attività di sviluppo e qualifica sperimentale ed attività progettuali atte a definire le infrastrutture sperimentali che nei prossimi anni dovranno essere rese disponibili per condurre sperimentazioni in condizioni di incidente severo del reattore LFR. Le attività di simulazione numerica prevedono l'impiego di codici già qualificati nei precedenti PAR che verranno applicati allo studio di scenari incidentali tipici del reattore LFR: perdita di integrità del nocciolo, perdita di refrigerazione e parziale congelamento del sistema primario (cold-leg). Nella precedente annualità era invece stata condotta una attività sperimentali in supporto alle analisi incidentali di un sistema LFR a seguito dell'evento di rottura del Generatore di Vapore (*Steam Generator Tube Rupture-SGTR*). Questa era stata accompagnata da analisi di sicurezza di post-test mediante simulazioni numeriche realizzate con il codice SIMMER III (2-D) e SIMMER IV (3D).

Due importanti attività di chimica-fisica sperimentale correlate alla sicurezza saranno lo sviluppo di nuove sonde per il controllo del tenore di ossigeno in piombo e la prosecuzione, su una nuova infrastruttura, delle prove di trattamento piro-metallurgico del combustibile LFR esausto che erano state precedentemente condotte nell'impianto PYREL II del Brasimone.

In continuità con gli studi menzionati di chimica dei radioelementi, nel PAR 2011, vengono infine attivate due nuove attività sperimentali che permetteranno di simulare in ambiente controllato le reazioni chimiche e fisiche conseguenti all'incidente severo che comporta interazione tra refrigerante e combustibile nonché la distribuzione di prodotti di fissione che consegue da tale interazione e da malfunzionamenti di minore gravità. In questa prima fase, le attività suddette comporteranno studi mediante simulanti, analisi di fattibilità e conseguente adeguamento, secondo le attuali normative vigenti in materia di sicurezza, della futura area di lavoro che è stata identificata nei laboratori alfa-grade dell'edificio C43 del centro ENEA Casaccia.

Nell'ambito del Progetto "Metodi di analisi e verifica di progetti nucleari di generazione evolutiva ad acqua pressurizzata" del PAR 2010, tuttora in corso, sono in fase di conclusione studi e analisi in stretta

collaborazione con il CIRTEN e le Università dell'Aquila, di Pavia e dell'Università Politecnica delle Marche. Il programma è stato articolato secondo le seguenti linee :

- Componenti e sistemi dell'impianto
- Studi sul combustibile e materiali strutturali
- Strumentazione di nocciolo e simulazione
- Tecniche e strumenti di calcolo per la dinamica di nocciolo di un PWR

Le attività sono state indirizzate a:

- sviluppare competenze e strumenti per lo studio di impianti nucleari evolutivi, prendendo in considerazione aspetti di sicurezza e di prestazione;
- svolgere un ruolo di supporto alle Istituzioni pubbliche, in particolare al MSE e ASN, sulle tematiche legate al ritorno al nucleare: queste tematiche comprendono le scelte tecnologiche, le analisi di sicurezza, e il combustibile nucleare.

Inoltre, a seguito dell'evento/incidente di Fukushima gli studi di sicurezza hanno preso in considerazione anche gli eventi verificatisi nell'incidente summenzionato, introducendo nel programma attività inerenti l'applicazione degli stress test.

In particolare le attività hanno interessato:

- analisi di nuove soluzioni impiantistiche relativamente a sistemi attivi e passivi di sicurezza e nuove soluzioni costruttive, tenendo conto della normativa recente in materia di realizzazioni nucleari nonché analisi di termoidraulica dei reattori PWR di Generazione III;
- studi probabilistici di eventi iniziatori che portano a condizioni incidentali di tipo severo in relazione agli stress test previsti a livello di Agenzie di Sicurezza Internazionale;
- analisi di affidabilità dei misuratori (in-core instrumentation) di flusso neutronico all'interno del nocciolo;
- studio delle tecniche di soluzione dell'equazione del trasporto per i neutroni;
- studio di modelli multi fisici per la dinamica spaziale di nocciolo;
- modellazione del combustibile nucleare durante rampe di potenza: analisi di esperimenti con codici di calcolo di comportamento del combustibile, in particolare in condizioni di alto burn-up;
- studio ed analisi di cicli di combustibile (aperti/chiusi) in relazione all'elevato burn-up previsto per i nuovi reattori e alla riduzione dei prodotti di fissione a lunga vita;
- valutazione delle caratteristiche di codici di termoidraulica di nocciolo ai fini delle analisi di sicurezza;
- studio dei fenomeni osservabili a seguito di transitori d'impianto estesi oltre i limiti di progetto;
- studio dei codici "stato dell'arte" di neutronica per reattori termici;
- studio di processi finalizzati alla riduzione del contenuto di radionuclidi a lunga vita nel back-end del ciclo del combustibile;
- analisi comparativa di Sistemi di Supervisione, Controllo e Protezione per reattori nucleari di nuova e generazione relativamente alla loro dinamica;
- studio e validazione di metodologie di calcolo e di processi finalizzati alla trasmutazione degli elementi radioattivi a lunga emivita;
- analisi di strumenti di calcolo più efficaci per l'analisi di possibili transitori di natura sia operativa che incidentale, per mezzo di indagini multi fisica di neutronica, termoidraulica e termomeccanica tra loro accoppiate.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Le attività relative alla Linea Progettuale 1 sono condotte in coordinamento con RSE. In particolare, sono in corso contatti all'interno del Gruppo di Lavoro "mille600" e relativamente al codice di calcolo ERANOS. In entrambi i casi, le attività vengono svolte in modo coordinato, con ruoli distinti e ben definiti. Sono in corso

verifiche fra ENEA e RSE per identificare ulteriori eventuali opportunità di collaborazione. Vari progetti europei vedono la partecipazione sia di RSE che di ENEA come partner, con ruoli e interazioni pianificate in dettaglio.

Per le attività delle altre linee del progetto non si ravvisano sovrapposizioni.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

LINEA PROGETTUALE 1: Partecipazioni Internazionali

A. Supporto al Ministero dello Sviluppo Economico - DGENRE per studi di scenario e partecipazione a gruppi e comitati nazionali e internazionali

Lungo tutto l'arco temporale del programma, le attività previste si articolano secondo i temi riportati di seguito, nell'ottica della continuità del supporto fornito nel corso delle annualità precedenti:

A.1 Sintesi delle partecipazioni a gruppi e comitati internazionali

Presidio delle attività internazionali sull'energia nucleare, sicurezza e salvaguardie nucleari, ecc.; partecipazione ai relativi Comitati e Gruppi di Lavoro internazionali.

Risultati/Deliverable:

- LP1-A1 Rapporto di sintesi sulla partecipazioni a gruppi e comitati internazionali

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

A.2 Studi di scenario

Partendo da un approccio globale, si effettueranno valutazioni e confronti dell'impatto delle varie fonti di energia a livello nazionale, regionale e internazionale, dal punto di vista economico e delle infrastrutture. Verranno prese in considerazione anche le implicazioni dell'utilizzo di fonti diversificate in aree extra nazionali. A supporto di questo approccio, per la parte nucleare si effettueranno valutazioni sul ciclo del combustibile di reattori innovativi, con confronti tra ciclo aperto e ciclo chiuso, per avere una visione complessiva sugli aspetti principali, tra cui non-proliferazione, risorse, costi e scorie.

Risultati/Deliverable:

- LP1-A2 Rapporto "Impatto dell'energia nucleare su sostenibilità e economicità per varie opzioni di mix energetici"

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Studi nell'ambito di accordi bilaterali

B.1 Analisi incidentali deterministiche e utilizzo di simulatori di impianto a supporto delle verifiche di sicurezza

Le attività di ricerca e sviluppo nell'ambito dell'accordo ENEA-IRSN, siglato nella primavera del 2010, proseguono sulla tematica già avviata della sicurezza (safety), definendo inoltre una nuova collaborazione sui temi di radioprotezione e security con l'obiettivo di mettere in comune le reciproche esperienze anche in tali settori.

Si rimarca l'importanza di questa collaborazione vista l'indiscussa competenza dell'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) per questa tematica in quanto tale Istituto svolge la funzione di esperto in sicurezza nucleare a supporto all'autorità di sicurezza francese.

Si propone pertanto di confermare e consolidare le attività già avviate nel precedente PAR su tre linee tenendo conto del nuovo quadro di riferimento italiano:

- a) analisi incidentali deterministiche e utilizzo di simulatori di impianto a supporto delle verifiche di sicurezza;
- b) tecniche e metodologie MONTECARLO per investigare l'efficienza di strumentazione ex-core e in-core;
- c) sviluppo e validazione di codici di calcolo per le analisi di sicurezza.

Risultato / Deliverable:

- LP1-B1 Set documentale relativo alle attività nel campo della sicurezza nucleare realizzate in collaborazione con IRSN

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B.2 Accordo con CEA: Prosecuzione della collaborazione nel campo della progettazione impiantistica nucleare

Continua la collaborazione sulla fase di progettazione del reattore Jules Horowitz Reactor (JHR), la cui importanza nel nuovo scenario italiano è cresciuta, poiché rappresenta un'insostituibile opportunità di coinvolgimento in un progetto di reattore. Nella corrente annualità si porteranno avanti le attività che riguardano le simulazioni neutroniche e termoidrauliche a supporto della progettazione di alcuni canali sperimentali dello JHR. Nuove attività potranno riguardare la progettazione di prove sperimentali appropriate per la validazione di codici di calcolo per la sicurezza nucleare.

In questa annualità verranno rilanciate le attività di collaborazione iniziate nell'ambito dell'Accordo ENEA-CEA riguardanti lo sviluppo, implementazione e utilizzo del sistema di codici ad elementi finiti CAST3M per studi e verifiche di meccanica strutturale su reattori di nuova generazione.

Oltre a portare a termine le attività intraprese negli anni precedenti sulla meccanica della frattura e CAST3M HPC, tale sistema di analisi e simulazione sarà lo strumento di calcolo di riferimento per la implementazione di nuove attività che riguardano:

- Sviluppo di codici di calcolo per la valutazione della resistenza a carichi termici ciclici e shock termici a simmetria assiale su acciai esposti a piombo liquido.
- Codes & Standards: Review di letteratura e raccolta di dati al variare dei carichi e temperatura sulla interazione creep-fatica per l'acciaio P91.
- Sviluppo di un modello numerico per la simulazione di un impianto a fissione veloce di IV generazione (da selezionare tra le tecnologie al piombo, piombo-bismuto o sodio). Il modello riprodurrà tutti i principali sistemi dell'impianto preso a riferimento (sistema primario, secondario, sistemi di emergenza, ecc...) includendo la simulazione della cinetica neutronica, la termoidraulica, il comportamento del combustibile nucleare e il sistema di controllo dell'impianto. Si realizzerà, pertanto, uno strumento capace di predire tutti i parametri rilevanti per la progettazione e la sicurezza dell'impianto e di simulare qualunque sequenza incidentale prevista per l'analisi di sicurezza oltretutto di supportare il pre-licensing in maniera indipendente. L'attività si completerà attraverso la simulazione di tre sequenze incidentali che saranno utilizzate per attività di code to code benchmark.

Nel contesto delle attività sopra elencate, saranno realizzati presso i laboratori FN (Fabbricazioni Nucleari) opportuni provini per l'effettuazione di test sui materiali d'interesse.

Proseguirà la collaborazione con CEA sullo sviluppo delle tecnologie padroneggiate da ENEA ed aventi di rilevanza per il reattore ASTRID. In particolare il controllo di permeazione del trizio, l'impiego di sali fusi e di piombo-bismuto come vettori termici alternativi ed infine le valutazioni comuni di fattibilità per interazione sodio-acqua.

Risultati/Deliverable:

- LP1-B2.a Rapporto tecnico sulle attività analitiche a supporto del progetto di canali sperimentali ed esperimenti
- LP1-B2.b Rapporto sullo sviluppo di codici di calcolo per la valutazione della resistenza a carichi termici ciclici e shock termici a simmetria assiale su acciai esposti a piombo liquido
- LP1-B2.c Rapporto sull'interazione creep-fatica per l'acciaio P91
- LP1-B2.d Rapporto sulle attività di simulazione dell'effetto di "warm pre-stress" su provini cruciformi
- LP1-B2.e Rapporto sullo sviluppo e validazione di un codice CAST3M relativo alla predizione delle caratteristiche finali e del comportamento del calcestruzzo da impiegare in grandi strutture soggette a campi termici intensi e/o concentrati
- LP1-B2.f Rapporto sulla collaborazione per sviluppo di tecnologie comuni aventi interesse SFR
- LP1-B2.g Rapporto Tecnico: Sviluppo di un modello numerico per analisi di un impianto a fissione veloce di IV generazione e simulazione di 3 sequenze incidentali

Principali collaborazioni: FN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B.3 Collaborazioni Internazionali per studi su SMR

In seguito allo studio realizzato nel PAR 2008-2009 sui diversi progetti di reattori di piccola-media taglia di tipo modulare (SMR) proposti in ambito internazionale, si valuterà la possibilità di stabilire accordi bilaterali di cooperazione per uno studio più approfondito dei progetti giudicati più interessanti (Fuji MSR, SBVR1000, Brest300, CAREM).

Risultati/Deliverable:

- LP1-B3 Reattori di piccola/media taglia. Possibili sviluppi e collaborazioni

Durata: ottobre 2011 -settembre 2012

C. Partecipazione ad attività, gruppi e comitati internazionali

C.1 Iniziative EURATOM: SNETP, ESNII, EERA

La partecipazione alle iniziative dell'EURATOM per la definizione di una strategia europea per la produzione di energia elettrica in maniera economica, sicura e sostenibile, come SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform), ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative) ed EERA (European Energy Research Alliance) sono fondamentali per orientare le attività R&S promosse in ambito europeo.

Nell'ambito SNETP l'attiva presenza garantita dall'ENEA in collaborazione con il CIRTEN avrà lo scopo di orientare le attività di R&S europee verso le tematiche di miglioramento della sicurezza sia per gli impianti attuali sia in quelli futuri partecipando alla definizione degli obiettivi per il futuro Programma Quadro Europeo sul nucleare da fissione.

Nell'ambito di ESNII, ENEA è uno dei promotori della filiera LFR (Lead Fast Reactor); in tale veste ha partecipato al progetto FP7 ADRIANA indicando le infrastrutture di ricerca europee che saranno necessarie nei prossimi anni. In prosecuzione di tale attività verranno promosse iniziative atte ad evidenziare le sinergie tra SFR e LFR allo scopo di ridurre da tre a due le opzioni europee per reattori di quarta generazione.

Nell'ambito di EERA, ENEA è il secondo contributore europeo con 16 uomini/anno.

Le attività prioritarie, in collaborazione con le acciaierie nazionali, sono le seguenti. 1) Lo sviluppo di rivestimenti protettivi, rivestimenti duri e rivestimenti anti-permeazione per acciai; 2) lo sviluppo di acciai ODS; 3) lo sviluppo di materiali ceramici tipo SiC-SiC e metalli refrattari di futura applicazione in sistemi nucleari. E' inoltre previsto uno specifico contributo sulla caratterizzazione di materiali e componenti

mediante tecniche di diffusione neutronica ai piccoli angoli (SANS: small-angle neutron scattering). Il proseguimento prevede misure SANS di acciai e materiali ODS irraggiati presso il Reattore ad Alto Flusso dell'ILL-Grenoble qualora l'impiego di questa tecnica venga condiviso dai partners EERA.

Risultati/Deliverable:

- LP1-C1.a Raccolta delle relazioni di partecipazione alle iniziative EURATOM sul nucleare da fissione
- LP1-C1.b Rapporto tecnico-descrittivo sui lavori e sulle iniziative di SNETP nel corso dell'annualità
- LP1-C1.c Rapporto tecnico-descrittivo sui lavori e sulle iniziative di ESNII nel corso dell'annualità
- LP1-C1.d Rapporto tecnico-descrittivo sui lavori e sulle iniziative di EERA nel corso dell'annualità
- LP1-C1.e Rapporto tecnico "Contributo a EERA su caratterizzazione di materiali e componenti mediante tecniche di diffusione neutronica ai piccoli angoli"

Principali collaborazioni: Università Politecnica delle Marche

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.2 Prosecuzione della partecipazione a comitati e gruppi internazionali (AIEA , OECD-NEA, GIF, IFNEC ecc.)

Prosecuzione delle attività legate alla partecipazione attiva ai vari comitati internazionali OECD-NEA, IAEA (incluso database International Nuclear Information System). Partecipazione ai gruppi di lavoro delle grandi iniziative internazionali nel campo del nucleare sostenibile quali: GIF - Generation International Forum (tramite EURATOM), IFNEC (ex GNEP) - International Framework for Nuclear EnerCooperation, IAEA-INPRO International Project on Innovative Reactors and Fuel Cycles.

Nell'ambito della partecipazione a IAEA - INPRO Project prosegue lo sviluppo di un NESAs (Nuclear Energy System Assessment) di interesse nazionale, in collaborazione diretta con IAEA. Il NESAs consiste nell'analisi di un sistema energetico nucleare, concepita secondo un approccio olistico (ambiente-sostenibilità, sicurezza, protezione fisica, proliferazione, gestione rifiuti, infrastrutture, economia) che fa uso della metodologia INPRO, a supporto di un piano strategico e decisionale sull'utilizzo a lungo termine dell'energia nucleare. L'obiettivo è la realizzazione della Fase I del NESAs, ossia la definizione delle condizioni al contorno (accordo con IAEA, costituzione del National Team), identificazione degli input (sistema nucleare di riferimento, catena strumenti utilizzati, etc.), definizione degli output.

Risultati/Deliverable:

- LP1-C2.a Raccolta delle relazioni di partecipazione ai comitati e gruppi internazionali sul nucleare da fissione
- LP1-C2.b Rapporto di avanzamento sullo sviluppo NESAs_Italy (Fase I)

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011- settembre 2012

C.3 Partecipazione allo OECD - HALDEN REACTOR PROJECT

Il rilancio della partecipazione italiana al "Halden Reactor Project" dell'OECD-NEA avviata nel precedente piano annuale permetterà di avvalersi dell'esperienza di un centro internazionale di eccellenza nel dominio Fuel&Materials e Instrumentation and Control.

Temi di particolare attenzione sono il comportamento del combustibile e materiali strutturali in condizioni di alto burn-up e lunghi tempi di residenza del combustibile in reattore, insieme alle tecnologie digitalizzate Man Machine Interface (MMI) per il controllo reattore.

La partecipazione offre anche l'opportunità di avere un riferimento di base per lo sviluppo di un simulatore ingegneristico in ENEA e scuola training per giovani ricercatori.

Risultati/Deliverable:

- LP1-C3 Rapporto "Programma di collaborazione ENEA-HRP"

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2011 – Settembre 2012

C.4 Infrastrutture nucleari per la ricerca

Nelle prossime annualità si intende valorizzare, nell'ambito dei programmi internazionali, le attrezzature nucleari nazionali, nello specifico i reattori nucleari di ricerca TRIGA e TAPIRO. A questo scopo già da questa annualità si propone un programma di R&S che riguarderà esperienze integrali per la validazione di codici (codici di trasporto, di evoluzione, di burn-up, ecc.) e sezioni d'urto di interesse nel campo della fissione e della fusione nucleare. Le esperienze integrali consistono nella misura di grandezze macroscopiche con cui è possibile verificare e validare modelli, codici e dati di base (sezioni d'urto) utilizzati nelle simulazioni.

I reattori nucleari di ricerca TRIGA e TAPIRO possono svolgere un ruolo importante nella realizzazione di esperienze integrali sia nel campo degli spettri neutronici termici ed epitermici che in quello dei neutroni veloci. Inoltre un importante campo di impiego di tali reattori è lo sviluppo, il test e la qualifica di strumentazione per misure nucleari.

L'attività prevede la realizzazione delle seguenti azioni:

- caratterizzazione del rateo di fluensa neutronica di tutte le posizioni utili per l'irraggiamento dei materiali e relativa misura del rapporto al cadmio, temperatura neutronica ed i parametri della componente epitermica;
- confronto misure sperimentali con i calcoli del codice MCNP5 ed acquisizione competenze nell'uso del codice di burn-up ORIGEN 2.2;
- studio preliminare per l'identificazione dei materiali di possibili interesse applicativo e di specifici fenomeni fisici e aspetti da sottoporre a validazione (sezioni d'urto, parametri nucleari, algoritmi utilizzati, ecc.);
- progettazione delle esperienze e definizione delle misure da effettuare;
- realizzazione dell'esperienza e raccolta dei dati;
- interpretazione dei risultati ottenuti."

Modellistica del Reattore di Ricerca TRIGA RC-1

Il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 (Training Radio Isotope General Atomic Reactor Casaccia 1) è un reattore termico realizzato nel 1960 nell'ambito dell'iniziativa USA Atom for Peace nella versione a 100 kW e portato successivamente alla potenza di 1 MW su progetto ENEA.

Il modello del TRIGA sarà costituito da un insieme di modelli connessi tra loro, che si scambiano dati e informazioni, e che consistono di :

- modello neutronico e termoidraulico del nocciolo del reattore;
- modello di movimentazione delle barre di controllo;
- modelli della dinamica del Iodio-Xenon e Promezio-Samarium;
- modello del sistema di sicurezza e scram automatico del reattore;
- implementazione manovre manuali di normale spegnimento (sequenza barre controllo) e di emergenza;
- modello della potenza di decadimento a fronte dello spegnimento del reattore;
- modello degli scambiatori di calore per il trasferimento del calore prodotto all'ambiente.

L'obiettivo è simulare la dinamica del reattore e interiorizzare i processi di:

- avviamento, salita e discesa a potenza, variazione del carico, manovra di spegnimento normale e di emergenza (sequenza di rientro barre), ecc.,

- regimi stazionario, sinusoidale e pulsato,
- scram automatico e/o manuale del reattore,
- transitori rapidi dovuti a incidenti di reattività, incidente di svuotamento della piscina.

Attività di caratterizzazione e calibrazione di sorgenti neutroniche e rivelatori

Tra le attività di metrologia, assume importanza basilare quella della definizione degli standard primari o campioni a cui riferire tutta la catena di misure e valutazioni. Nel campo della neutronica, recentemente sono state effettuate misure assolute dei ratei di emissione di sorgenti neutroniche quali ^{241}Am -Be e ^{252}Cf in un ampio intervallo di emissione ($2 \times 10^5 \sim 2 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$).

Tali misure sono normalmente effettuate applicando la metodologia del bagno in solfato di manganese (MnSO_4), che attualmente è il metodo principale per la determinazione assoluta dei ratei di emissione di sorgenti neutroniche. L'efficienza del sistema è legata alla precisione nella determinazione dell'attività della sorgente di ^{56}Mn diluita nel bagno. L'ENEA possiede, nel Centro della Casaccia, tale dispositivo, ma il suo utilizzo come standard primario presuppone una definizione precisa delle sue caratteristiche radiochimiche e degli opportuni fattori correttivi (fattore di fuga neutronica, assorbimento dei neutroni veloci, auto-assorbimento neutronico). A tale scopo è necessario definire e realizzare attività di tipo sperimentale e teorico:

- mediante l'utilizzo delle facility nucleari presenti in Casaccia (Reattori TRIGA e Tapiro) si potrà procedere alla determinazione dell'attività del manganese (attivazione tramite i canali di spettroscopia neutronica);
- con l'utilizzo del dispositivo, e presente nei laboratori dell'Unità METR dell'ENEA, si procederà alla stima dei fattori di correzione;
- mediante l'utilizzo del codice nucleare di trasporto MCNP, effettuare le opportune simulazioni, per interpretare i dati sperimentali, estenderli a casi non direttamente effettuabili (diverse sorgenti neutroniche) e proporre eventuali ottimizzazioni sia del dispositivo che della metodologia calibrativa.

Risultati/Deliverable:

- LP1-C4.a Rapporto tecnico: Misure di grandezze macroscopiche per la verifica di modelli codici e dati nucleari in reattori di ricerca
- LP1-C4.b Rapporto tecnico: Simulazione di processi dinamici del reattore TRIGA RC-1 mediante modelli interconnessi"
- LP1-C4.c Rapporto tecnico: Misure assolute di emissione neutronica mediante bagno di solfato di manganese - rapporto sulle attività teorico-sperimentali in ENEA

Principali Collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Non Proliferazione e Safety & Security

In questa sezione sono comprese le attività internazionali che vertono su non proliferazione, safety e security e loro interazione, che costituiscono le cosiddette 3S (Safeguards, Safety, Security), come comunemente indicato in ambito internazionale. Oltre alla continuazione delle attività su metodi di valutazione e analisi di resistenza alla proliferazione di diversi scenari, è stato introdotto il tema dell'interfaccia safety e security che, nel dopo-Fukushima, sta assumendo sempre più rilevanza sia in ambito europeo che internazionale.

D.1 Resistenza alla proliferazione (GIF, IAEA, NEA, CEA)

Proseguirà la partecipazione ai gruppi di lavoro in ambito GIF e INPRO al fine di seguire ed acquisire gli elementi sviluppati nel campo delle metodologie internazionali per valutare la resistenza alla proliferazione (PR&PP) di sistemi innovativi, con particolare attenzione al sistema Lead Fast Reactor (LFR). In ambito IAEA

continuerà il contributo italiano agli studi sulla resistenza alla proliferazione di SMR e a cicli del combustibile alternativi. A supporto di queste valutazioni si inseriscono le attività in ambito NEA legate a considerazioni di scenari nucleari nel “Expert Group on Advanced Fuel Cycle Scenarios (EG-AFCS)” e nell’ambito dell’accordo ENEA-CEA.

Risultati/Deliverable:

- LP1-D1 Rapporto sullo stato di sviluppo di metodologie e analisi per valutazioni sulla resistenza alla proliferazione di diversi cicli di combustibile

Principali collaborazioni: CIRTEN , Università di Pavia

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D.2 Dati nucleari per la chiusura ciclo del combustibile (NEA, CERN)

La chiusura del ciclo del combustibile ha un forte impatto sugli aspetti di non proliferazione e security e la disponibilità di dati di base accurati è un elemento fondamentale per le analisi che ne seguono. Continuerà pertanto la partecipazione agli esperimenti internazionali nell’impianto n-TOF “neutron-time-of-flight” installato presso il protosincrotrone del CERN, per la misura di sezioni d’urto neutroniche, in particolare di cattura radiativa di neutroni su materiali strutturali, prodotti di fissione e isotopi di piombo e bismuto e di cattura e fissione di attinidi. L’obiettivo è quello di fornire l’analisi teorica e la pubblicazione delle sezioni d’urto di fissione di $^{241-243}\text{Am}$ e la possibile rivalutazione degli altri canali di reazione. Proseguiranno inoltre la simulazione e interpretazione di precedenti esperienze di misure integrali su Attinidi Minori nell’ambito del NEA “Expert Group on Integral Experiments for MA Management (EG-IEMAM)”, dove il contributo italiano include le misure di irraggiamento effettuate in passato nei reattori ENEA. È previsto che questa attività prosegua con una nuova campagna sperimentale di misure integrali.

Risultati/Deliverable:

- LP1-D2.a Sviluppo di modelli avanzati di fissione nucleare e loro applicazione agli attinidi minori
- LP1-D2.b Esperienze di misure integrali sui principali attinidi minori per una efficace chiusura del ciclo del combustibile: il contributo ENEA

Principali collaborazioni: CIRTEN, Università di Pavia

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

D.3 Valutazioni su interfaccia safety and security e normativa (IRSN)

Valutazioni sulle interfacce safety e security alla luce dei Safety Standard IAEA e delle raccomandazioni IAEA, in particolare le raccomandazioni su Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision5).

Nell’ambito della collaborazione ENEA-IRSN verrà effettuato uno studio dell’esperienza francese nella loro applicazione alla normativa, inclusa la risoluzione di alcune problematiche di interfaccia con la safety, al fine di valutare eventuali elementi di interesse a livello di implementazione nazionale.

Risultati/Deliverable:

- LP1-D3 Rapporto tecnico “Valutazioni su interfaccia safety e security”

Principali collaborazioni: CIRTEN, Università di Pavia

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

Progetto 1.3.1 LP1 "Partecipazioni internazionali"
Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A Supporto al Mistero dello Sviluppo Economico									
	A1 Sintesi partecipazioni a gruppi e comitati internazionali	Set 2012	140	10	0	0	0	0	10
	A2 Studi di Scenario	Set 2012	430	30	0	10	0	30	70
B. Studi nell'ambito di accordi bilaterali									
	B1 Accordo con IRSN - Studi per la sicurezza dei reattori	Set 2012	570	40	0	20	0	10	70
	B2 Accordo con CEA: Prosecuzione della collaborazione nel campo della progettazione impiantistica nucleare	Set 2012	570	40	35	20	15	20	130
	B3 Collaborazioni Internazionali per studi su SMR	Set 2012	285	20	0	10	10	10	50
C. Partecipazione ad attività, gruppi e comitati internazionali									
	C1 Iniziative EURATOM:- SNETP-ESNII-EERA	Set 2012	500	35	0	20	10	10	75
	C2 Prosecuzione della partecipazione a comitati e gruppi internazionali (AIEA , OECD-NEA, GIF, IFNEC ecc.)	Set 2012	100	7	0	30	0	50	87
	C3 Partecipazione allo OECD-Halden Reactor Project	Set 2012	215	15	0	20	80	20	135
	C4 Infrastrutture nucleari per la ricerca	Set 2012	215	15	0	10	0	10	35
D. Non Proliferazione, Safety & Security									
	D1 Non proliferazione (GIF, IAEA, NEA, CEA)	Set 2012	640	45	0	10	0	0	55
	D2 Dati nucleari per la chiusura ciclo del combustibile (NEA, CERN)	Set 2012	360	25	0	8	0	20	53
	D3 Valutazioni su interfaccia safety and security e normativa (IRSN)	Set 2012	360	25	0	5	0	0	30
TOTALE			4385	307	35	163	115	180	800

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 150 k€ per attività della partecipata FN)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

LINEA PROGETTUALE 2: Studi di Sicurezza sugli impianti nucleari

In questa linea progettuale sono confluite la maggior parte delle attività sviluppate nei precedenti PAR relative agli studi di sicurezza per reattori attuali ed evolutivi (GENII e GENIII+). Queste attività sono suddivise nei seguenti macro-obiettivi:

- A. Potenziamento della capacità di Simulation&Modeling partendo da dati nucleari, neutronica e termo-fluidodinamica di impianto fino all'evoluzione incidentale severa. Approfondimento di problematiche come: criticality-safety, effetti neutronici locali, degradazione del fuel in condizioni di LOCA, comportamento del contenimento in fase incidentale e vulnerabilità delle tenute. Si intende anche rafforzare l'attività legata alla definizione del termine sorgente, all'interpretazione delle misure ed ai modelli di diffusione.
- B. Analisi delle soluzioni impiantistiche e tecnologiche nei diversi progetti di reattori dell'attuale generazione III avanzata. Individuazione di procedure di gestione dell'incidente considerando, sia eventi ad estremamente bassa probabilità di accadimento, sia combinazioni di eventi che possano portare ad una sequenza di incidente severo. Applicazione di metodi probabilistici e deterministici con riferimento a sistemi di sicurezza attivi, estremamente diversificati e ridondanti, o sistemi a funzionamento prevalentemente passivo.
- C. Progettazione (in collaborazione con i partner e gli organismi più idonei e disponibili) di simulatori di tipo ingegneristico per le tipologie di reattore implementate in Europa ed in particolare nelle oltre 20 centrali a meno di 200 km dai confini nazionali (finalizzati all'analisi di sicurezza ed all'utilizzo in sistemi integrati di gestione di eventuali emergenze create da incidenti futuri) e simulatori ingegneristici 'full scope' (ovvero per progettazione, verifica, validazione, sviluppo procedure ecc.) da focalizzare sui reattori evolutivi attesi come risposta all'evento di Fukushima ed alle risultanze degli Stress Test e degli studi a livello internazionale sulle implicazioni progettuali e gestionali di tale incidente.
- D. Attività sperimentali a supporto degli studi di sicurezza che comprendono sia la progettazione/realizzazione di impianti per la qualificazione di sistemi e componenti innovativi, sia la realizzazione di prove sperimentali per la validazione della modellistica. Queste attività sono principalmente indirizzate agli impianti integrali già disponibili (SPES2) ed in fase di realizzazione (SPES3) presso la SIET che rappresentano un'opportunità quasi unica a livello mondiale di simulare il comportamento in condizioni incidentali di impianti attuali (GENIII+) ed evolutivi (SMR).
- E. Investigazione delle problematiche connesse alla sicurezza dei depositi di smaltimento dei rifiuti radioattivi sia superficiali che geologici, delle tecniche di monitoraggio per la sorveglianza dei depositi stessi e delle tecniche innovative di caratterizzazione radiologica e di condizionamento dei rifiuti ad essi destinati.

A. Sviluppo e validazione di metodi e strumenti per le analisi di sicurezza

A.1 Librerie di sezioni d'urto

Produzione e validazione di librerie di lavoro di sezioni d'urto accoppiate neutroniche e fotoniche, con discretizzazione energetica a gruppi, per applicazioni di schermaggio e danno da radiazione in reattori ad acqua leggera. La validazione è corredata da simulazione di benchmark integrali di schermaggio tratte da SINBAD, per effettuare test di affidabilità. Il risultato atteso è una ulteriore validazione su esperienze integrali di schermaggio neutronico della libreria a gruppi larghi recentemente prodotta (BUGJEFF311. BOLIB), utilizzando codici deterministici.

A.2 Metodi e codici per analisi di neutronica

Per problemi di stoccaggio di materiale fissile (fresco o bruciato) in piscina e deposito, approfondimenti su metodi e analisi di "criticality-safety". Nel nocciolo, analisi di effetti neutronici locali (es. espulsione rapida e involontaria di un elemento di controllo) con metodi Montecarlo in reattori ad acqua. Sviluppo di competenze su metodi e analisi di neutronica per reattori ad acqua, finalizzate tanto a calcoli di criticità

(nocciolo o stoccaggio) che di ciclo. Il panorama dei codici previsti include codici monte carlo e deterministici, tra cui APOLLO2.8-x.E e CRONOS2.10, la cui acquisizione e utilizzo avviene nell'ambito dell'accordo ENEA-CEA. Avvio di una attività (su base pluriennale) per la determinazione e sistematizzazione di inventari di combustibile per reattori di diversa tipologia, partendo dai reattori esistenti, con forte rilevanza per analisi di sicurezza.

A.3 Piattaforme di calcolo avanzate per la termoidraulica

Nel corso delle annualità precedenti è stata acquisita ed implementata sulla griglia di Super-calcolo CRESCO la piattaforma di calcolo avanzata NURISP per la simulazione termoidraulica multi-D di reattori LWR negli studi di sicurezza. L'ottimizzazione e validazione di questa piattaforma e dei diversi codici che la costituiscono sarà oggetto anche del presente PAR tramite confronto con dati sperimentali (code-to-data comparison) o con strumenti di calcolo alternativi (code-to-code benchmarking).

A.4 Modellistica e codici per l'analisi di incidenti severi

Gli attuali reattori nucleari funzionanti in Europa sono stati progettati nel rispetto dei principi di difesa in profondità. In particolare, essi incorporano un contenimento a forte tenuta e sistemi ingegneristici per proteggere la popolazione dai rilasci radioattivi che possono verificarsi a seguito di incidenti presi in conto in fase di progettazione. Nonostante ciò, accade che in alcune circostanze, che si presentano con estremamente bassa probabilità, possa verificarsi una sequenza incidentale severa con fusione del nocciolo e danneggiamento dell'impianto. Questo può provocare dispersione di materiale radioattivo nell'ambiente con rischio per la salute delle persone della popolazione, anche di quelle ben oltre i confini geo-politici dello Stato in cui l'incidente si verifica. Dal background maturato durante la partecipazione a vari progetti europei, risulta evidente la necessità di dotarsi di strumenti di simulazione come il nuovo codice europeo ASTEC per lo studio di argomenti quali: raffreddabilità del nocciolo durante la fase di re-flooding e raffreddamento del debris; processi legati alla interazione tra il nocciolo fuso e il calcestruzzo di basamento del contenimento; rilocalizzazione del corium; interazioni ex-vessel tra refrigerante e corium; sviluppo di incondensabili, in particolare di idrogeno e processi di detonazione e deflagrazione nel contenimento; chimica dello iodio nel RCS (Reactor Coolant System) e nel contenimento.

Risultati/Deliverable:

- LP2-A1 Rapporto tecnico: Validazione di librerie di lavoro di sezioni d'urto
- LP2-A2.a Rapporto tecnico: Metodi per analisi di "Criticality-safety"
- LP2-A2.b Rapporto tecnico: Effetti neutronici locali nel nocciolo dovuti a transitori
- LP2-A2.c Rapporto tecnico: Utilizzo di Apollo-Cronos per calcoli di criticità e di ciclo
- LP2-A2.d Rapporto tecnico: Metodologia per la determinazione e la sistematizzazione di inventari di combustibile: messa a punto dei metodi ed applicazione ad alcune tipologie di LWR
- LP2-A3 Rapporto tecnico: Ottimizzazione e validazione della piattaforma di calcolo NURISP
- LP2-A4 Rapporto tecnico: Sviluppo e validazione di modelli fisico-matematici per l'analisi incidentale severa

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Analisi di sicurezza di reattori avanzati ed evolutivi

B.1 Identificazione ed analisi di possibili sequenze incidentali severe

Per i reattori attuali di GEN III avanzata si farà una valutazione delle possibili evoluzioni incidentali e delle conseguenze di sequenze incidentali e combinazioni di eventi che possano portare alle condizioni di incidente severo. A questo scopo si adotteranno metodi di analisi deterministiche e probabilistiche prendendo a riferimento il database su un reattore PWR evolutivo da 1600 MWe, realizzato nel corso delle

annualità precedenti. L'attività relativa all'approfondimento dei metodi probabilistici di livello 2 e di valutazione deterministica di sequenze selezionate, viene qui estesa al caso di sviluppo modelli per reattori di nuova generazione, avanzati ed evolutivi, quali EPR, AP1000 ed SMR. La fase iniziale dell'attività sarà caratterizzata da studi probabilistici dei sistemi per sviluppare un adeguato albero degli eventi incidentali (Event Tree, ET). Si può poi risalire ai possibili Plant Damage States (PDS) usando alcuni risultati del PSA di livello 1, da cui selezionare le sequenze con impatto sul contenimento (Containment Event Tree, CET). Il CET può essere realizzato usando un processo DET (Decomposition Event Tree) fino a raggiungere informazioni sui molteplici Containment Failure Modes (CFM). Infine, dalla valutazione deterministica delle sequenze incidentali più significative, si procede a calcoli d'impatto ambientale sull'interfaccia impianto-sito e sito-territorio. Questa ultima fase verrà svolta con l'uso di modelli di diffusione, dispersione e trasporto sviluppati in ENEA e già validati sulla base di precedenti benchmark con altri codici.

B.2 Valutazione della risposta di sistemi attivi e passivi a fronte di sequenze incidentali rilevanti ai fini della sicurezza

A fronte delle sequenze incidentali e delle combinazioni di eventi considerati nel punto precedente, verrà valutata la risposta di sistemi attivi e passivi considerando sequenze rilevanti ai fini della sicurezza.

B.3 Valutazione del comportamento incidentale di reattori SMR

Valutazione delle caratteristiche di sicurezza intrinseca, tipiche dei reattori di piccola taglia di tipo modulare ed integrato (SMR). Approfondimento dei concetti evolutivi di detti reattori, caratterizzati da livelli di sicurezza ancora più spinti dei GEN-III+, che prevedono un sistema primario integrato nel vessel, sistemi di sicurezza passivi, forte accoppiamento tra sistema primario e contenimento.

Risultati/Deliverable:

- LP2-B1.a Rapporto tecnico: Determinazione del CET tramite DET con identificazione dei possibili CFM.
- LP2-B1.b Rapporto Tecnico: Descrizione e analisi dei calcoli d'impatto ambientale
- LP2-B2 Rapporto tecnico: Valutazione della risposta di sistemi attivi e passivi considerando sequenze incidentali rilevanti ai fini della sicurezza
- LP2-B3 Rapporto tecnico: Principali caratteristiche degli SMR in sequenze incidentali rilevanti ai fini della sicurezza

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

C. Progettazione simulatori ingegneristici

C.1 Progettazione simulatori incidentali per sistemi integrati di gestione incidenti nucleari

Tale attività includerà lo sviluppo concettuale di "simulatori incidentali" per la stima del termine di sorgente, da usare nell'ambito di un sistema integrato di gestione delle emergenze di protezione radiologica conseguenti ad ipotetici incidenti in centrali nucleari europee (progetto ENEA denominato DIFFURAD). Tali simulatori faranno riferimento alle tipologie impiantistiche più frequenti in Europa (da 3 a 5 al massimo) e saranno basati su un set unico di codici di calcolo integrati 'ad assetto variabile' per tener conto della minore o maggiore gravità dell'incidente sotto monitoraggio. Tali simulatori avranno una funzione predittiva ovvero saranno in grado di ipotizzare/prevedere l'entità dell'incidente ed il conseguente possibile rilascio radioattivo in funzione delle tendenze evolutive dell'incidente medesimo (previsioni a minuti od ore). I simulatori potranno essere operati su di una unica piattaforma software, eventualmente basata sull'uso di server in parallelo per il mantenimento del real time anche nel caso di incidenti di complessità significativa. Tale attività includerà come contributo lo sviluppo dei sistemi di simulazione del controllo e protezione del pressurizzatore avviato nel corso del PAR 2010 linea C.

C.2 Progettazione di simulatori ingegneristici avanzati per reattori LWR evolutivi

Tale linea comprenderà lo sviluppo della progettazione di uno o più simulatori di Ingegneria di reattori di generazione evolutiva III+ focalizzati sullo sviluppo progettuale e la introduzione di elementi di maggiore sicurezza intrinseca, passiva ed attiva, anche e particolarmente in relazione alle risultanze degli Stress Tests e delle Lessons Learned a seguito dell'incidente di Fukushima. Tale simulatore sarà caratterizzato dalla introduzione di moduli software avanzati per la simulazione degli impatti dell'impianto sul territorio, dei possibili impatti di eventi estremi sull'impianto, (es. per analisi 4D dell'impatto di uno tsunami o di una inondazione sugli edifici, sistemi e strutture della centrale). Tali attività verranno sviluppate in collaborazione con i partner internazionali più appropriati (prevedibilmente Westinghouse-GSE e/o IRSN - AREVA con cui sono in corso contatti e collaborazioni). Tale attività includerà l'utilizzo locale od in remoto del simulatore EPR 'SOFIA' presso IRSN (avviato nel corso del PAR 2008-09) al fine di interiorizzare una adeguata conoscenza di dettaglio del sistema IRSN di simulazione ed ottimizzare una proposta di ulteriore sviluppo del medesimo simulatore nelle direzioni evolutive prospettate. La progettazione verrà estesa ad un concetto di Small Modular Reactor ad acqua leggera in virtù delle sinergie modellistiche e del fatto che tale tipo di reattore insieme alle evoluzioni 'post Fukushima' dei reattori Westinghouse ed Areva appaiono tra i più probabili oggetti di un prossimo aggiornamento degli ordinativi di impianto a livello mondiale con un orizzonte temporale di 5-10 anni da oggi.

Risultati/Deliverable:

- LP2-C1 Rapporto tecnico: Progettazione di simulatori incidentali per sistemi integrati di gestione incidenti nucleari
- LP2-C2 Rapporto tecnico: Progettazione di simulatori di Ingegneria di reattori ad acqua di generazione evolutiva

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Attività sperimentali a supporto degli studi di sicurezza

D.1 Verifiche analitiche a supporto di SPES-3, simulatore integrale di SMR

L'attività consiste in simulazioni numeriche che permettano di evidenziare il comportamento dell'impianto SPES-3 come simulatore di reattori SMR (Small Modular Reactor) nelle condizioni di transitori incidentali rilevanti ai fini della sicurezza. In particolare, si prevede l'effettuazione delle seguenti simulazioni con il codice RELAP5:

- calcolo di BDBE (Beyond Design Basis Event) per rottura linea superiore EBT (Emergency Boration Tank);
- calcolo di 1 inch DVI line split break;
- analisi del comportamento di SPES3 nelle condizioni incidentali di Fukushima;

D.2 Prove sperimentali e verifiche analitiche su componenti critici per la simulazione di SMR

L'attività consiste nel prosieguo delle verifiche sperimentali relative ad alcuni componenti critici per la cui sperimentazione sono state realizzate infrastrutture sperimentali nei PAR precedenti. Le attività riguarderanno:

- verifica prestazioni delle canne scaldanti da utilizzarsi sull'impianto SPES-3 per la simulazione del nocciolo di un reattore modulare di piccola/media taglia. Le prove saranno effettuate nell'impianto realizzato presso l'area sperimentale della SIET anche in condizioni di crisi dello scambio termico, tipiche delle condizioni derivate da incidenti di perdita del refrigerante;
- realizzazione di ulteriori test sul mock-up già realizzato ed analisi numeriche per lo studio della fluidodinamica dei downcomers in condizioni incidentali e la qualifica dei codici CFD commerciali;
- investigazione sul comportamento di miscele bifase in generatori di vapore a tubi elicoidali con diverse geometrie ed in soluzioni alternative.

D.3 Sviluppo strumentazione speciale per impianti sperimentali

A completamento del programma sperimentale avviato negli anni precedenti, questa attività consiste nella acquisizione/messa a punto di strumentazione per la misurazione di parametri tipici della termoidraulica bifase, da impiegarsi sugli impianti sperimentali di tipo integrale, SPES-2 e SPES-3.

In particolare, si prevede di eseguire le seguenti attività:

- caratterizzazione a "caldo" (condizioni di T e P di reale funzionamento) della sonda capacitiva per misura di grado di vuoto, già realizzata nella precedente annualità;
- acquisizione e collaudo di misuratori della pressione cinetica di miscele bifase;
- studio di applicazioni di sensori ad ultrasuoni per la misurazione della velocità media di miscele bifase.

D.4 Adeguamento dello SPES2 per prove di sicurezza

Saranno svolte attività propedeutiche all'effettuazione di transitori di prova sull'impianto SPES-2, allo scopo di verificare la risposta di impianti LWR a condizioni incidentali di particolare severità. Sarà inoltre proseguita l'attività di ripristino dell'impianto in vista di una futura rimessa in esercizio per la sperimentazione di tali transitori incidentali. Si riporta, nel seguito, il dettaglio delle attività:

- studio di fattibilità e analisi numeriche per simulazione di incidente tipo Fukushima su SPES-2;
- studio di fattibilità per effettuazione di un counter-part test tra la facility tedesca PKL e SPES-2;
- sostituzione di strumentazione di prova obsoleta e attività di manutenzione straordinaria sull'impianto SPES 2 e relativi ausiliari.

Risultati/Deliverable:

- LP2-D1 Rapporto tecnico: Simulazioni numeriche di incidenti in reattori SMR
- LP2-D2.a Relazione tecnica sulla verifica sperimentale delle canne scaldanti
- LP2-D2.b Relazione tecnica sulla studio della fluidodinamica dei downcomers e la qualifica dei codici CFD commerciale
- LP2-D2.c Relazione tecnica sul comportamento di miscele bifase in generatori di vapore a tubi elicoidali con diverse geometrie ed in soluzioni alternative
- LP2-D3 Rapporto tecnico: Studi e prove relativi a strumentazione speciale per la termoidraulica bifase
- LP2-D4.a Rapporto tecnico: Studio di fattibilità e analisi numeriche per simulazione di incidente di Fukushima su SPES-2
- LP2-D4.b Rapporto tecnico: Studio di fattibilità per effettuazione di un counter-part test di PANDA (PSI) su SPES-2
- LP2-D4.c Relazione tecnica su sostituzione strumentazione obsoleta ed attività di manutenzione per impianto SPES-2

Principali collaborazioni: CIRTEN, SIET S.p.A

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

E. Studi di sicurezza relativi ai depositi di rifiuti radioattivi

A seguito dell'approvazione della direttiva europea sulla gestione in sicurezza del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi, che impone agli Stati Membri la predisposizione di opportuni programmi nazionali per la messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi, le attività relative allo smaltimento assumono ancora maggiore importanza ed urgenza. La direttiva prevede esplicitamente che i paesi membri effettuino attività di ricerca e sviluppo per soddisfare le esigenze del programma nazionale al fine di ottenere, mantenere e sviluppare ulteriormente le competenze necessarie. In tale ottica le finalità di questo macro-obiettivo sono allineate alle esigenze del Paese e riguardano in particolare:

- sicurezza dei depositi;
- tecniche di monitoraggio per la sorveglianza dei depositi stessi;
- caratterizzazione dei rifiuti radioattivi;

- tecniche innovative di trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi.

E.1 Performance Assessment di Depositi Superficiali e Geologici per il Confinamento di Rifiuti Radioattivi

Proseguo della attività di R&S relativa ai fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati a un deposito di smaltimento, sia superficiale che geologico. In particolare proseguirà e sarà estesa anche al caso del deposito geologico, la modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti, ai fini dell'analisi di sicurezza e "performance assessment" per gli scenari incidentali ipotizzati.

E.2 Monitoraggio dei depositi di rifiuti radioattivi

Proseguiranno le attività, avviate con il PAR 2008-09, inerenti le metodologie e le tecniche più adeguate per la caratterizzazione dei siti candidati e per il monitoraggio ambientale dei siti stessi durante la fase di sorveglianza istituzionale del deposito.

E.3 Caratterizzazione dei rifiuti radioattivi

Proseguo delle attività di R&S su temi specifici e poco esplorati della caratterizzazione dei rifiuti radioattivi: in quest'ultimo ambito, sarà continuato l'impegno sulla caratterizzazione degli HTMR (Hard To Measure Radionuclides) e la ricerca di rivelatori di neutroni alternativi agli He3. Riguardo agli HTMR è stata completata la fase di acquisizione della strumentazione necessaria e sono state effettuate le prime campagne sperimentali (utilizzando la grafite del reattore di Latina) mirate al raggiungimento degli obiettivi previsti; nel PAR2011 verrà migliorata l'affidabilità degli scaling factor ipotizzati ed estesa la tipologia di campioni su cui effettuare i test. Relativamente ai rivelatori di neutroni alternativi agli He3, dopo la verifica teorica delle prestazioni di rivelatori proporzionali a gas (che potrebbero sostituire gli He3 senza particolari problemi pratici ma con notevole perdita in termini di efficienza e quindi di minima attività rivelabile), si procederà allo studio sperimentale delle tipologie di rivelatori proporzionali che sono risultate maggiormente promettenti e all'indagine su rivelatori concettualmente diversi, per verificarne le possibilità di utilizzo nell'ambito della caratterizzazione di rifiuti radioattivi ai fini del loro smaltimento (scintillatori, plastici, ecc). In questa linea di attività è previsto un impegno di risorse economiche per l'approvvigionamento di alcuni rivelatori di neutroni per i test sperimentali e per l'acquisizione di standard di taratura.

E.4 Tecniche innovative di trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi

In prosecuzione di quanto svolto nel corso del PAR 2008-09, saranno condotte prove sperimentali finalizzate allo studio delle interazioni rifiuto-ambiente, prendendo in considerazione i rifiuti condizionati in matrici vetro-ceramiche, opportunamente caratterizzati mediante misure di densità, raggi X, rifrattometria all'infrarosso, microscopia ottica ed elettronica, termogravimetria. In particolare, ad una precisa valutazione delle interazioni tra la matrice di condizionamento ed i radionuclidi, seguirà lo studio del comportamento del rifiuto nei siti di smaltimento definitivo, attraverso prove in scala laboratorio. Contemporaneamente saranno condotti studi relativi alle opportunità che tecniche innovative, come quella del cosiddetto "crogiolo freddo", offrono nel campo del condizionamento dei rifiuti radioattivi. Per queste attività è previsto l'impegno di risorse economiche per il completamento degli interventi di adeguamento delle infrastrutture che ospiteranno le prove a caldo presso i laboratori del C.R. Casaccia.

Risultati/Deliverable:

- LP2-E1 Rapporto/i su Performance Assessment di depositi superficiali e geologici per il confinamento di rifiuti radioattivi e relativa modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive
- LP2-E2 Rapporto/i su monitoraggio dei depositi di rifiuti radioattivi nella fase di sorveglianza istituzionale
- LP2-E3.a Rapporto sullo studio delle metodologie di caratterizzazione radiologica per rifiuti contenenti radionuclidi di difficile rivelabilità
- LP2-E3.b Rapporto sullo studio di rivelatori di neutroni alternativi ai contatori proporzionali a ^3He

- LP2-E4 Rapporto/i sullo studio di condizionamento di rifiuti radioattivi in matrici vetro-ceramiche e prove sperimentali di interazioni rifiuto-sito di smaltimento

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

**Progetto 1.3.1 LP 2: Studi di sicurezza sugli impianti nucleari”
Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A - Sviluppo e validazione di metodi e strumenti per le analisi di sicurezza									
	A.1 Librerie di sezioni d'urto	Set 2012	350	25	0	5	0	10	40
	A.2 Metodi e codici per analisi di neutronica	Set 2012	900	63	0	20	0	25	108
	A.3 Piattaforme di calcolo avanzate per la termoidraulica	Set 2012	240	17	0	5	0	20	42
	A.4 Metodi e codici per l'analisi di incidenti severi	Set 2012	800	56	0	15	0	25	96
B - Analisi di sicurezza di reattori avanzati ed evolutivi									
	B.1 Identificazione ed analisi di possibili sequenze incidentali severe con possibile rilascio all'ambiente esterno	Set 2012	740	52	0	4	0	20	76
	B.2 Valutazione della risposta di sistemi attivi e passivi a fronte di sequenze incidentali rilevanti ai fini della sicurezza	Set 2012	800	56	0	4	0	25	85
	B.3 Valutazione del comportamento incidentale di impianti evolutivi (SMR)	Set 2012	800	56	0	4	0	25	85
C - Progettazione simulatori ingegneristici									
	C.1 Progettaz. simulatori incidentali per sistemi integrati di gestione incidenti nucleari	Set 2012	570	40	15	10	0	25	90
	C.2 Progettazione di simulatori ingegneristici avanzati per reattori LWR evolutivi	Set 2012	600	42	20	15	0	30	107
D - Attività sperimentali a supporto degli studi di sicurezza									
	D.1 Verifiche analitiche a supporto dell'impianto SPES3 simulatore integrale di SMR	Set 2012	250	18	0	2	180	0	200
	D.2 Prove sperimentali e verifiche analitiche su componenti critici per la simulazione di SMR	Set 2012	250	18	0	2	200	75	295
	D.3 Sviluppo strumentazione speciale per impianti sperimentali	Set 2012	250	18	0	2	230	0	250
	D.4 Adeguamento dello SPES2 per prove di sicurezza	Set 2012	700	49	0	2	290	20	361
E - Studi di sicurezza relativi ai depositi di rifiuti radioattivi									
	E.1: Performance Assessment di depositi superficiali e geologici per il confinamento di rifiuti radioattivi	Set 2012	340	24	0	15	0	40	79
	E.2: Monitoraggio dei depositi di rifiuti radioattivi nella fase di sorveglianza istituzionale.	Set 2012	640	45	0	30	0	30	105
	E.3: Caratterizzazione dei rifiuti radioattivi	Set 2012	600	42	0	5	0	20	67
	E.4: Tecniche innovative di trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi	Set 2012	200	14	65	5	0	30	114
TOTALE			9030	635	100	145	900	420	2200

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

LINEA PROGETTUALE 3: Reattori di IV generazione

La linea progettuale LP3, reattori di IV generazione, mantiene e sviluppa ulteriormente gli elementi fondamentali che costituivano anche i PAR precedenti dello stesso triennio, in particolare il PAR 2008-2009.

La proposta viene pertanto articolata sulle seguenti macro-attività:

- Progettazione di sistema,
- Materiali strutturali e fabbricazioni
- Termoidraulica del refrigerante
- Analisi di sicurezza.

A. Progettazione di Sistema

A.1 Sviluppo e validazione modelli di calcolo per la neutronica e la cinetica di nocciolo LFR

Scopo dell'attività sarà l'ulteriore sviluppo di modelli di calcolo per la neutronica e la cinetica spaziale di nocciolo, con particolare riguardo all'applicazione di questi su sistemi refrigerati a piombo liquido. In particolare, l'attività verterà sui seguenti ambiti di analisi:

- proseguimento dell'attività di sviluppo di un codice di neutronica e termoidraulica accoppiate finalizzato all'analisi cinetica spaziale di un nocciolo LFR;
- proseguimento dell'attività di validazione e benchmarking del codice ERANOS supportata da analisi sperimentali su sistemi ADS refrigerati a piombo, nell'ambito dell'accordo ENEA-CEA.
- applicazione della metodologia GPT (Generalized Perturbation Theory) per l'analisi di sensitività di parametri neutronici di interesse per la caratterizzazione del comportamento neutronico statico di noccioli critici (LFR) e sottocritici (ADS) raffreddati a piombo. In particolare, l'attività verterà su analisi GPT applicate a sistemi LFR tipo DEMO, e ad analisi GPT applicate a sistemi LFR e ADS tipo esperienza a potenza zero GUINEVERE.

Risultati/Deliverable:

- LP3-A1.a Status report dell'attività di sviluppo di un codice di cinetica spaziale di nocciolo per sistemi LFR
- LP3-A1.b Status report dell'attività di sviluppo, validazione e benchmarking del codice ERANOS
- LP3-A1.c Report sui risultati dell'attività di analisi di sensitività con metodologie GPT applicata a noccioli critici e sottocritici raffreddati a piombo

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2011 – Settembre 2012

A.2 Sviluppo e validazione di codici per la termoidraulica di sistemi LFR

Le attività relative allo sviluppo di modellistica per la simulazione termoidraulica di reattori refrigerati a piombo sono svolte su due linee.

La prima linea è relativa allo sviluppo e validazione del codice di sistema CATHARE-2 che nell'ambito delle precedenti annualità è stato adattato per le analisi di sistema e di sicurezza degli LFR. La validazione del codice riguarderà in particolare le correlazioni di scambio termico implementate nel codice e la sua capacità di predire correttamente l'instaurarsi della circolazione naturale. A questo scopo si utilizzeranno i dati sperimentali della seconda fase del benchmark OECD/NEA LACANES sull'impianto coreano HELIOS e dati sperimentali appropriati già disponibili dagli impianti ENEA del Brasimone (NACIE, CIRCE). Inoltre si effettueranno benchmark di calcolo con il codice di sistema RELAP5 ed eventualmente un codice aggiuntivo.

La seconda linea è dedicata all'ottimizzazione ed estensione dell'utilizzo del codice di calcolo FEM-LCORE, che permette una descrizione 3-D del nocciolo del reattore a piombo. Le attività di questa annualità

riguarderanno l'allargamento del campo di utilizzo del codice a condizioni di regime transitorio (operative e incidentali). A questo scopo si realizzerà la parallelizzazione del codice sulla piattaforma di super-calcolo CRESCO e si studierà la fattibilità di un accoppiamento di FEM-LCORE con un codice di termoidraulica di sistema.

Risultati/Deliverable:

- LP3-A2.a Rapporto Tecnico: Verifica della capacità del codice di sistema CATHARE-2 nel simulare scambio termico e circolazione naturale in sistemi refrigerati a piombo
- LP3-A2.b Rapporto Tecnico: Parallelizzazione e studi di fattibilità di accoppiamento per il codice FEM-LCORE

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

A.3 Concettualizzazione del DEMO LFR

In relazione all'attuale piano di sviluppo della filiera dei reattori veloci refrigerati a piombo, scopo delle attività sarà una nuova concettualizzazione del nocciolo di DEMO che verta sugli obiettivi di dimostrazione della fattibilità della filiera, attività inscrivibile nella roadmap europea, coerentemente con i risultati evidenziati dalle analisi condotte nelle precedenti annualità del presente Accordo di Programma. Sulla base della concettualizzazione si proseguirà, in una ottica di sviluppo di competenze e training, secondo un approccio integrato, con una preliminare progettazione neutronica, termoidraulica e termomeccanica del nocciolo.

Risultati/Deliverable:

- LP3-A3.a Riconcettualizzazione del nocciolo in accordo con gli obiettivi generali di dimostrazione di fattibilità della filiera dei reattori a piombo
- LP3-A3.b Rapporto sul progetto preliminare neutronico, termoidraulico e termomeccanico del nocciolo di DEMO, rivisitato secondo l'aggiornamento dei criteri di concettualizzazione

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 -settembre 2012

A.4 Reinterpretazione campagne sperimentali TAPIRO in appoggio alla progettazione dei sistemi LFR

Scopo dell'attività sarà la reinterpretazione della campagna sperimentale sulla caratterizzazione neutronica del REATTORE TAPIRO in Casaccia (1983-1988) mediante la versione attuale dei codici di neutronica MCNP ed ERANOS con i set di dati nucleari di base odierni (ENDF, JEFF).

La reinterpretazione di tale campagna sperimentale è propedeutica alla riqualificazione del TAPIRO in vista di una sua potenziale applicazione sia nel campo di esperienze in appoggio alla progettazione di sistemi LFR e ADS a piombo sia come sorgente neutronica qualificata per attività di calibrazione di strumentazione nucleare.

Risultati/Deliverable:

- LP3-A4 Report sulla reinterpretazione della campagna sperimentale di caratterizzazione neutronica del Reattore TAPIRO (1983-1988)

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011- settembre 2012

B. Materiali Strutturali

B.1 Qualifica materiali strutturali ricoperti

Per incrementare le caratteristiche di resistenza alla corrosione dei materiali strutturali convenzionali (acciai austenitici e acciai ferritici/martensitici) quando operanti in piombo fluente ad elevate temperature, si ricorre spesso a tecniche di ricoprimento basate sul principio del Chemical Vapor Deposition (CVD), Physical Vapor Deposition (PVD), Thermal Spraying (TS) oppure Detonation Spray (DS).

Indipendentemente dal principio adottato, l'idea base è quella di creare una barriera altamente protettiva fra il substrato strutturale (tipicamente acciaio) e il piombo fluente.

Lo spessore del ricoprimento è di solito dell'ordine delle decine di micron.

L'obiettivo dell'attività consiste nel caratterizzare le prestazioni dei ricoprimenti a base di FeAl e TiN tecnologicamente disponibili, mediante prove di corrosione/erosione in metallo liquido fluente (LECOR, HELENA, NACIE, sistemi ad hoc), e mediante prove di fretting.

Saranno quindi realizzati degli elementi scaldanti con densità di potenza elevata (fino ad 1 MW/m²) e con ricoprimenti a base di FeAl, al fine di simulare il reale comportamento di un fuel pin (generazione di potenza interna) operante in metallo liquido fluente ad una temperatura massima di 480°C.

Si realizzeranno inoltre dei campioni in acciaio austenitico (AISI 316L, 15-15 Ti) ricoperti in TiN, al fine di verificarne le prestazioni in termini di resistenza al fretting in piombo (stagnante), simulando le condizioni operative tipiche dell'accoppiamento barretta-griglia spaziatrice nell'elemento di combustibile di un sistema LFR.

Risultati/Deliverable:

- LP3-B1.a Rapporto di prova. Elementi scaldanti ricoperti in FeAl ed operanti in metallo liquido pesante. Risultati ed analisi
- LP3-B1.b Rapporto di prova. Accoppiamento barretta-griglia spaziatrice per un sistema LFR. Caratterizzazione al fretting in piombo stagnante del ricoprimento in TiN su substrato di acciaio austenitico

Principali collaborazioni: Centro Sviluppo Materiali SPA

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

B.2 Sviluppo coating in FeAl e TiN

Oltre alla caratterizzazione dei coating a base di FeAl e TiN già disponibili sul mercato, si rende necessario realizzare una intensa attività di ricerca e sviluppo, su scala laboratorio, avente come obiettivo la identificazione di nuove tipologie di coating che possano meglio rispondere alle esigenze tipiche dei sistemi nucleari refrigerati a piombo, in termini di maggiore resistenza alla corrosione e al fretting, migliore elasticità, ottima adesione al substrato anche in caso di elevate deformazioni plastiche, non fragilità, self-healing anche a bassissimo tenore di ossigeno.

Si provvederà quindi ad investigare diverse tipologie di ricoprimenti a base di FeAl variando la composizione relativa di Fe e Al. Si analizzeranno quindi le prestazioni di ricoprimenti a base di Fe₃Al, FeCrAl, FeCrAlY.

Analogamente per i ricoprimenti "duri" per ridurre gli effetti dovuti al fretting, si analizzeranno, comparandoli con i rivestimenti a base di TiN, rivestimenti a base di TiC, e ZrC, ZrN.

Risultati/Deliverable:

- LP3-B2.a Rapporto Tecnico. Analisi e caratterizzazione di ricoprimenti in FeAl per applicazioni nucleari in sistemi refrigerati a piombo
- LP3-B2.b Rapporto Tecnico. Analisi e caratterizzazione di ricoprimenti a base di TiN, TiC, ZrN, ZrC per applicazioni nucleari in sistemi refrigerati a piombo

Principali collaborazioni: Università di Trento

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

B.3 Prove di fabbricabilità per sviluppo elemento di combustibile LFR

ENEA, in quanto progettista del nocciolo LFR secondo varie tipologie, necessita di associare alle attività progettuali anche studi approfonditi di fabbricabilità delle soluzioni proposte.

Anche la progettazione meccanica dell'elemento di combustibile di un sistema LFR presenta problematiche progettuali di difficile risoluzione. Esse sono collegate alla spinta di galleggiamento, al corretto distanziamento tra pin, agli effetti di fretting, ai rischi di ostruzione e soprattutto alla necessità di garantire il raffreddamento dell'elemento anche in caso di arresto della macchina di refuelling.

L'adozione di materiali e di specificità progettuali atte a risolvere le problematiche menzionate, è strettamente connessa alla fabbricabilità dei particolari proposti.

La società FN, che in passato è stata fornitrice di elementi di combustibile di SPX2, possiede tutte le competenze e le attrezzature necessarie a condurre prove di fabbricazione di particolari complessi dell'elemento di combustibile.

Le prove di fabbricazione, secondo le specifiche tecniche fornite da ENEA, saranno condotte impiegando elettroerosione, tecniche di saldatura e banchi di assemblaggio per elementi lunghi nonché le macchine d'officina convenzionali.

Risultati/Deliverable:

- LP3-B3.a Specifica tecnica. Progetto concettuale e di dettaglio di elemento di combustibile prototipico per sistemi LFR
- LP3-B3.b Rapporto tecnico di fine fabbricazione e assemblaggio di elemento di combustibile prototipico per sistemi LFR

Principali collaborazioni: FN

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

B.4 Sviluppo tecniche di deposizione per processi di Detonation Spray

Una delle tecniche più interessanti per la deposizione di coating su materiali strutturali è sicuramente la tecnica del Detonation Spray (DS). La tecnica consiste nella progressiva deposizione a "freddo" di uno spessore variabile (da 5 micron a 5 millimetri) di un opportuno coating. Per le sue intrinseche caratteristiche, che permettono di non intaccare in alcun modo il substrato strutturale (sia termicamente che meccanicamente) la deposizione può avvenire su metalli, plastica, vetro, ceramica, pietra, legno, etc.

La deposizione consiste nel sparare ad alta velocità (3000 m/s) una polvere (es. FeAl) finemente dispersa sulla superficie da ricoprire, utilizzando come vettore una miscela gassosa aria-combustibile (propano). Parte delle particelle sparate dal getto di gas fondono all'interno della corrente gassosa, ma all'impatto con la superficie da ricoprire congelano immediatamente formando sulla superficie un coating solido perfettamente adeso, con densità pari al 95-98% della densità teorica (sinterizzato) e una porosità inferiore all'1%.

Obiettivo dell'attività è provvedere all'approvvigionamento di una macchina per la DS, provvedere alla sua installazione in apposito locale presso il CR Brasimone, provvedere alla formazione del personale addetto all'utilizzo, e quindi alla realizzazione di campioni ricoperti di diversa tipologia (FeAl, Fe₃Al, FeCrAl, etc.), che potranno quindi essere successivamente testati negli impianti e laboratori di prove materiali dell' ENEA.

Risultati/Deliverable:

- LP3-B4 Specifica tecnica di fornitura e set-documentale relativo all'approvvigionamento di una macchina di Detonation Spray per la realizzazione di coating su materiali strutturali

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C. Termoidraulica del Refrigerante

C.1 Implementazione laboratorio termoidraulica dei metalli liquidi

Nell'ambito dell'implementazione del laboratorio di termo fluidodinamica dei metalli liquidi pesanti, si rende necessario completare le attività di ricerca e sviluppo per la caratterizzazione preliminare di Generatori di Vapore (GV) per applicazioni in sistemi nucleari refrigerati a piombo (LFR), in sinergia con quanto previsto dal progetto europeo LEADER (FP7 CE).

In particolare, considerando la soluzione proposta di GV per l'impianto pilota LFR denominato ALFRED che prevede l'utilizzo di tubi a baionetta a doppia parete con interposta intercapedine conduttiva, si rende necessario, prima della qualifica sperimentale di un prototipo in larga scala di GV, realizzare analisi parametriche sulle prestazioni del sistema.

Le analisi parametriche, mediante caratterizzazione di un singolo elemento, saranno incentrate sia sul tipo di riempitivo adottato (tipologia, granulometria, tecnica di riempimento, pressurizzazione sotto battente di gas) che sui sistemi di isolamento fra l'acqua di alimento e il vapore surriscaldato in uscita al sistema.

Si provvederà quindi a condurre:

- calcoli numerici mediante fluidodinamica computazionale, per la simulazione analitica del sistema, in supporto alla successiva fase progettuale, costruttiva e sperimentale, attraverso la quale saranno focalizzati aspetti che verranno a essere investigati nel corso delle successive campagne sperimentali.
- progettazione e realizzazione della sezione di prova per la caratterizzazione sperimentale delle prestazioni di un singolo elemento a doppia parete, in scala 1:1.

Nell'ambito delle attività relative allo sviluppo di un laboratorio per metalli liquidi si provvederà inoltre alla individuazione, progettazione e approvvigionamento di un sistema di misura non intrusivo per il monitoraggio dei profili di velocità in fluidi opachi.

Risultati/Deliverable:

- LP3-C1.a Rapporto Tecnico: Progettazione e realizzazione di un mock-up sperimentale relativo al prototipo di generatore di vapore dell'impianto pilota LFR- ALFRED.
- LP3-C1.b Identificazione di un sistema di misura non intrusivo per i profili di velocità in piombo. Specifica tecnica di fornitura e documentazione relativa alla installazione e collaudo

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.2 Caratterizzazione pompe centrifughe ad asse verticale per sistemi a piscina

Nell'ambito delle attività tese al supporto dei sistemi nucleari refrigerati a metallo liquido pesante, si rende necessario provvedere allo sviluppo e qualifica sperimentale di una pompa centrifuga ad asse verticale con girante autocentrante.

L'attività consiste nella progettazione e realizzazione di una apposita sezione di prova da installare nell'impianto CIRCE, nella quale alloggiare il prototipo al fine di caratterizzarne, mediante misure di portata e prevalenza, le relative prestazioni fluidodinamiche.

Le prove di qualifica saranno effettuate a differenti regimi di funzionamento, operando sulla temperatura del sistema e sulle perdite di carico simulanti il primario del reattore LFR.

Risultati/Deliverable:

- LP3-C2.a Progettazione e realizzazione della sezione di prova per la qualifica di pompa centrifuga ad asse verticale
- LP3-C2.b Rapporto di prova e analisi preliminare dei risultati sperimentali ottenuti per la qualifica di una pompa centrifuga ad asse verticale per metalli liquidi

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.3 Qualifica sistema DHR per impianti LFR

Nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo in supporto ai sistemi di quarta generazione LFR, sono state individuate azioni prioritarie per lo sviluppo di componenti innovativi.

In continuità con le azioni sviluppate nel precedente Piano Annuale di Realizzazione, l'attività prevede il completamento della caratterizzazione sperimentale del prototipo di DHR da 800 kW installato sull'impianto a metallo liquido pesante CIRCE in configurazione di prova ICE (Integral Circulation Experiment).

Risultati/Deliverable:

- LP3-C3.a Specifica di prova per la caratterizzazione in regime transitorio del sistema DHR prototipico
- LP3-C3.b Rapporto di prova e analisi dei risultati sperimentali ottenuti per la qualifica in regime transitorio del sistema DHR prototipico

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.4 Prove e calcoli di scambio termico in regime di circolazione mista: up-grade impianto NACIE

Per quanto concerne lo sviluppo dei sistemi LFR, e in sinergia con il progetto europeo SEARCH (FP7, CE) l'attività prevede la installazione e strumentazione di un *pin bundle* da 250 kW per le misure di scambio termico e perdite di carico in regime di convezione mista o circolazione naturale, che caratterizzano il comportamento del nocciolo LFR in condizioni di transitori operazionali o incidentali. Si rende inoltre necessario provvedere alla progettazione e implementazione del sistema di rimozione del calore ad acqua in pressione (16 bar), in sinergia con quanto previsto in ambito europeo per l'impianto pilota LFR (MYRRHA). Infine di provvederà all'approvvigionamento, installazione e collaudo sull'impianto NACIE del sistema di alimentazione e controllo potenza del *pin bundle*.

Risultati/Deliverable:

- LP3-C4.a Progettazione, installazione e collaudo del sistema di rimozione del calore ad acqua in pressione per l'impianto NACIE
- LP3-C4.b Specifica tecnica di fornitura e rapporto di collaudo del sistema di alimentazione e controllo potenza del *pin bundle* dell'impianto NACIE

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.5 Prove e calcoli di scambio termico in regime di circolazione forzata: implementazione impianto HELENA

Nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo tese al supporto dei sistemi LFR, e a completamento di quanto già realizzato nel precedente piano annuale mediante l'acquisizione di una pompa centrifuga con girante in acciaio austenitico rivestito in tantalio, si rende necessario provvedere alla implementazione dell'impianto a piombo denominato HELENA.

L'impianto, che sarà ampiamente utilizzato per la caratterizzazione dei materiali strutturali per metalli liquidi pesanti in ambiente a basso tenore di ossigeno, si inserisce nella attività di ricerca e sviluppo che ENEA realizza in ambito Europeo.

L'obiettivo è quindi provvedere alla realizzazione dell'impianto, dotato di un sistema di riempimento e drenaggio, del sistema di controllo dell'ossigeno, e predisposto con diverse sezioni di prova, tra cui una dedicata alla caratterizzazione di materiali strutturali e una dedicata alla qualifica dello scambio termico in *fuel pin bundle* in regime di circolazione forzata.

Risultati/Deliverable:

- LP3-C5.a Specifica tecnica di fornitura e installazione dell'impianto a metallo liquido HELENA
- LP3-C5.b Specifica di prova per la caratterizzazione dei materiali strutturali ad elevata resistenza a corrosione/erosione per girante centrifuga

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Analisi di Sicurezza

D.1 Controllo della chimica nei sistemi a metallo liquido pesante e qualifica sonde a ossigeno

La definizione dei materiali strutturali e quindi il loro corretto impiego nei sistemi nucleari di quarta generazione refrigerati a piombo, è fortemente connessa con il tenore di ossigeno disciolto nel metallo liquido a cui viene esercito il sistema.

E' di fondamentale importanza quindi disporre di un sistema di regolazione e controllo del tenore di ossigeno disciolto nel metallo liquido che permetta:

1. di purificare il sistema nelle fasi di avvio e manutenzione, quando l'inquinamento da ossigeno è massimo;
2. di regolare il tenore di ossigeno entro i limiti desiderati durante il normale esercizio e i transitori operazionali.

Elemento portante del sistema di regolazione e controllo dell'ossigeno disciolto nel refrigerante nucleare sono le sonde ad ossigeno, che permettono di realizzare il monitoraggio nel metallo liquido.

Scopo dell'attività è di definire il corretto range di esercizio per il tenore di ossigeno disciolto, concettualizzare il sistema di regolazione per impianti a piscina, sviluppare e qualificare sonde ad ossigeno per sistemi a piscina che siano affidabili, robuste, accurate e sensibili ai transitori operazionali

Risultati/Deliverable:

- LP3-D1.a Concettualizzazione del sistema di regolazione e controllo dell'ossigeno disciolto in sistemi nucleari a piscina refrigerati a piombo
- LP3-D1.b Sviluppo e qualifica di sonde per il monitoraggio dell'ossigeno disciolto in sistemi nucleari a piscina refrigerati a piombo

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D.2 Fuel - Cladding - Coolant Interaction

Nell'ambito dello sviluppo dei reattori LFR, ai fini della valutazione degli incidenti severi che portano al danneggiamento del combustibile, assumono particolare rilevanza le indagini sperimentali relative all'interazione tra il combustibile (UO₂ e/o MOX *fuel*) ed il refrigerante (piombo fuso).

In particolare, si vuole verificare il grado di mescolamento (diluizione) e/o compattazione (accumulo) del combustibile nel refrigerante una volta che via sia la mutua interazione fra essi ad esempio a causa di fessurazioni formatesi nella guaina di combustibile (fenomeno del "*decladding*")

Con l'obiettivo di valutare quanto accade in un caso "reale", saranno svolte attività sperimentali propedeutiche a temperature variabili tra 600 e 900°C (possibilmente 1400 °C), riguardanti le interazioni tra ossido di cerio (che simula quello di uranio) ed il piombo. Sarà inoltre valutato il comportamento del refrigerante in presenza di prodotti di fissione significativi, quali iodio, cesio e stronzio.

Tali prove verranno svolte presso il CR Casaccia, in scatola a guanti, sotto atmosfera inerte per gas argon, e con basso tenore di umidità.

Inoltre sarà condotta una analisi di fattibilità per studiare sperimentalmente la formazione di composti chimici intermedi tra refrigerante e combustibile e le caratteristiche di tali prodotti al fine di determinarne l'interazione con le guaine, il rilascio di energia chimica, il trasposto nel sistema primario e nel cover gas dei

prodotti formati. Tale sperimentazione richiederà, nel medio termine, l'impiego di uranio depleto anziché simulanti (e prima di passare alla sperimentazione sul plutonio) e pertanto dovranno essere considerati l'adeguamento e l'implementazione di opportune aree di lavoro.

Per quanto riguarda specificatamente le interazioni tra piombo fuso e guaina di rivestimento del combustibile, saranno testati acciai ritenuti idonei come materiali di rivestimento al fine di evidenziare fenomeni di corrosione a carico dei medesimi in presenza di piombo stagnante, in un range di temperatura che va dai 600°C ai 900°C (possibilmente 1400°C). Queste ultime prove saranno effettuate presso il CR Brasimone.

Risultati/Deliverable:

- LP3-D2.a Studio delle interazioni tra combustibile nucleare e refrigerante a seguito di un evento di de-cladding dell'elemento di combustibile di un reattore LFR
- LP3-D2.b Studio delle interazioni ad elevata temperatura tra la guaina di combustibile e refrigerante in un sistema LFR
- LP3-D2.c Analisi di fattibilità per prove di interazione chimica tra refrigerante e combustibile nei laboratori della Casaccia e valutazione degli interventi di adeguamento richiesti - Specifica di prova

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D.3 Rilascio e migrazione dei prodotti di fissione nei sistemi LFR.

Nell'ambito delle attività di ricerca implementate in supporto allo sviluppo dei sistemi nucleari refrigerati a piombo (LFR) si rende necessario caratterizzare e quantificare il trasporto dei prodotti di fissione nel sistema primario e nel gas di copertura, valutando le attitudini del refrigerante (piombo) a ritenere i prodotti di fissione (specialmente quelli gassosi) sia in condizioni di normale funzionamento che di transitorio operativo ed incidentale. L'attività si pone quindi come obiettivo la definizione e avvio di implementazione di tutte le azioni di ricerca e sviluppo che si rendono necessarie a caratterizzare il rilascio dei prodotti di fissione (iodio, cesio, stronzio, mercurio, etc..) dal combustibile nucleare (UO₂, MOX) e la successiva migrazione e ritenzione in piombo (anche in funzione della temperatura), e quindi il trasporto in fase gassosa. L'attività di artolerà pertanto nel seguente modo:

1. Valutazione del tasso di rilascio dei prodotti di fissione dal combustibile nucleare, in funzione del burn-up e della tipologia di combustibile.
2. Progetto concettuale e studio di fattibilità di una apparecchiatura sperimentale in cui simulare, in base al tasso di rilascio precedentemente stimato, la migrazione dei singoli prodotti di fissione nel refrigerante primario, il trasporto in fase gassosa, la filtrazione e purificazione in fase gassosa. Le prove saranno condotte in un intervallo di temperatura che va dalle normali condizioni di funzionamento (400°C), fino ad un valore massimo di 1400°C (transitorio incidentale).
3. Elaborazione delle specifiche di prova.

Risultati/Deliverable:

- LP3-D3.a Valutazione del tasso di rilascio dei prodotti di fissione dal combustibile irraggiato di un sistema LFR
- LP3-D3.b Progetto concettuale e studio di fattibilità di una apparecchiatura sperimentale per la caratterizzazione del rilascio e migrazione dei prodotti di fissione in un sistema LFR. Specifica di prova

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D.4 Analisi scenari incidentali su sistemi LFR

Scopo dell'attività è individuare ed analizzare, mediante simulazioni numeriche, possibili scenari incidentali sui sistemi LFR, con l'obiettivo di identificare e supportare future attività di ricerca e sviluppo, sperimentazione, qualifica componenti, che nel medio-lungo termine possano poi supportare il relativo processo di licensing di tali sistemi.

A tale scopo si sono individuati preliminarmente i seguenti scenari incidentali.

- *Perdita di integrità del nocciolo (core degradation)*

L'attività ha come obiettivo la verifica di sicurezza di un sistema nucleare veloce refrigerato a piombo a seguito di un evento incidentale che comporti la parziale o completa distruzione del nocciolo. A seguito dell'incidente sarà simulata la perdita di integrità parziale e/o completa del nocciolo, la distruzione degli elementi di combustibile coinvolti, con degradazione della camicia e rilascio dei prodotti di fissione e del combustibile nel sistema primario. Mediante il codice SIMMER III sarà simulata l'interazione metallo liquido – guaina – combustibile nucleare a seguito del transitorio incidentale postulato, e il relativo tasso di rilascio dei prodotti di fissione e combustibile nel sistema primario. I risultati ottenuti saranno utilizzati per simulare, mediante anche codici di fluidodinamica computazionale, la migrazione di tali componenti nell'intero sistema primario, verificando l'insorgenza di eventuali zone di accumulo con interconnessi rischi di re-criticità.

- *Perdita di refrigerazione (flow blockage)*

L'attività si propone di creare e validare un dominio di calcolo semplificato per codici di fluidodinamica computazionale, che analizzi la mutua interazione fra diversi elementi di combustibile a seguito della parziale o completa perdita di portata di refrigerazione attraverso uno di essi. Come geometria di riferimento si valuterà sia un nocciolo realizzato con elementi di combustibile a reticolo quadrato senza scatola (ELSY), sia un nocciolo con elementi di combustibile a reticolo esagonale inscatolati (ALFRED). A seguito del transitorio postulato dovrà essere analizzato il comportamento termo-fluidodinamico dell'elemento di combustibile interessato dalla parziale o completa perdita della portata di refrigerazione, valutando la mutua interazione con gli elementi di combustibile adiacenti. In particolare dovrà essere analizzato l'andamento temporale della temperatura di guaina massima sulle barrette dell'elemento coinvolto, la possibile insorgenza di fessurazioni sulle guaine in funzione dell'entità della perdita di portata, la rilevabilità di tale scenario incidentale e il rispettivo grado di danneggiamento sull'elemento di combustibile coinvolto.

- *Parziale congelamento del sistema primario*

L'attività si propone di creare e validare un dominio di calcolo semplificato per codici di fluidodinamica computazionale che permetta di investigare il comportamento termoidraulico del sistema primario (GV – pompa primaria, nocciolo) di un reattore LFR a seguito di un repentino ed esteso congelamento del metallo liquido fluente attraverso il GV. A seguito del transitorio postulato si dovranno analizzare gli effetti sulla refrigerazione del nocciolo, la capacità del sistema di riportarsi nella sua normale condizione di funzionamento.

Risultati/Deliverable:

- LP3-D4.a Perdita di integrità del nocciolo in un sistema LFR. Modelli e analisi numerica preliminare
- LP3-D4.b Perdita della portata di refrigerazione in un *Fuel Assembly* del core di un reattore LFR. Modelli e analisi numerica preliminare
- LP3-D4.c Parziale congelamento del circuito primario di un reattore LFR. Modelli e analisi numerica preliminare

Principali collaborazioni: CIRTEEN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D.5 Processi di pirometallurgia in sali fusi per trattamento combustibile LFR esausto

Nell'ambito del ritrattamento dei combustibili viene dato un certo rilievo, a livello internazionale, al riprocessamento del combustibile ad ossidi misti uranio-plutonio-attinidi minori (cosiddetto MOX fuel), per il quale è stato sperimentato un processo di elettrorefinazione in ambiente di sali fusi (cloruro di litio contenente ossido di litio), alla temperatura di 650°C. Avendo realizzato ed allestito, nell'ambito del PAR 2008-09, un impianto di elettrorefinazione in sali fusi (Pyrel III), scopo della ricerca proposta sarà quello di verificare, attraverso l'impiego di un "simulante" del combustibile MOX, quale l'ossido di europio, la fattibilità del processo di recupero degli attinidi.

Risultati/Deliverable:

- LP3-D5.1: Valutazione della fattibilità di un processo a sali fusi per il recupero degli attinidi dal combustibile MOX

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

**Progetto 1.3.1 LP 3: Reattori di IV generazione”
Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	TOTALE
A. Progettazione di Sistema									
	A1 Sviluppo e validazione modelli di calcolo per la neutronica e la cinetica di nocciolo LFR	Set 2012	485	34	0	4	0	40	78
	A2 Sviluppo e validazione di codici per la termoidraulica di sistemi LFR	Set 2012	485	34	0	4	0	40	78
	A3 Concettualizzazione del DEMO LFR	Set 2012	485	34	0	4	0	40	78
	A4 Reinterpretazione campagne sperimentali TAPIRO in appoggio alla progettazione dei sistemi LFR	Set 2012	150	10	0	2	0	40	52
B. Materiali strutturali									
	B1 Qualifica materiali strutturali ricoperti	Set 2012	250	17	30	8	45	0	100
	B2 Sviluppo coating in FeAl e TiN	Set 2012	250	17	30	8	0	60	115
	B3 Prove di fabbricabilità per sviluppo elemento di combustibile LFR	Set 2012	130	9	0	4	135	0	148
	B4 Sviluppo tecniche di deposizione per processi di Detonation Spray	Set 2012	250	17	90	4	0	0	111
C. Termoidraulica del refrigerante									
	C1 Implementazione laboratorio termoidraulica dei metalli liquidi	Set 2012	325	23	145	8	0	20	196
	C2 Caratterizzazione pompe centrifughe ad asse verticale per sistemi a piscina	Set 2012	325	23	175	8	0	0	206
	C3 Qualifica sistema DHR per impianti LFR	Set 2012	195	14	0	4	0	20	38
	C4 Prove e calcoli di scambio termico in regime di circolazione mista: up-grade impianto NACIE	Set 2012	325	23	150	14	0	20	207
	C5 Prove e calcoli di scambio termico in regime di circolazione forzata: implementazione impianto HELENA	Set 2012	325	23	175	8	0	0	206
D. Analisi di Sicurezza									
	D1 Controllo della chimica nei sistemi a metallo liquido pesante e qualifica sonde a ossigeno	Set 2012	185	13	50	8	0	0	71
	D2 Fuel – Cladding - Coolant Interaction	Set 2012	325	23	20	4	0	40	87
	D3 Rilascio e migrazione dei prodotti di fissione nei sistemi LFR	Set 2012	325	23	20	4	0	40	87
	D4 Analisi scenari incidentali su sistemi LFR	Set 2012	640	45	0	4	0	40	89
	D5 Processi di pirometallurgia in sali fusi per trattamento combustibile LFR esausto	Set 2012	325	23	30	0	0	0	53
			5780	405	915	100	180	400	2000

a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 135 k€ per attività della partecipata FN)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

Per le varie linee progettuali del progetto 1.3 - “Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare” è prevista ed è inclusa nel budget una specifica attività di comunicazione e diffusione dei principali risultati mediante:

- Pubblicazione di tutti i deliverable e della sintesi dei principali risultati ottenuti sul sito pubblico dell'ENEA;
- Pubblicazioni su riviste scientifiche di settore, nazionali ed internazionali;
- Workshop dedicati aperti ai principali stakeholder italiani, istituzionali, industriali ed accademici, del nucleare da fissione.

I costi di questa attività sono inclusi nei preventivi delle diverse linee progettuali.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

La sicurezza dell'approvvigionamento energetico è diventata una delle maggiori preoccupazioni mondiali, in particolare per l'Europa che oggi importa il 50% della propria energia e che, mantenendo inalterata la propria politica nel settore dell'energia e dei trasporti, finirà per importare il 65% della propria energia nel 2030, con un aumento dal 57% all'84% delle proprie importazioni di gas e dall'82% al 93% di petrolio. Oltre alla forte dipendenza dai combustibili fossili, esiste, dunque, in Europa un rischio crescente di carenza di forniture di energia primaria. Nello stesso tempo, le preoccupazioni ambientali impongono una forte riduzione dei gas serra. Attualmente, l'energia è responsabile dell'80% delle emissioni di gas serra in Europa, e con le attuali politiche nel settore dell'energia e dei trasporti tali emissioni nell'UE aumenterebbero del 5% nel 2012, in chiaro conflitto con l'obiettivo di Kyoto che impone una riduzione dell'8% delle emissioni nello stesso periodo temporale. Anche l'Italia è uno dei Paesi più esposti in Europa ai problemi di sicurezza dell'approvvigionamento energetico e al mancato rispetto degli obiettivi del protocollo di Kyoto.

Si impone dunque un ripensamento del mix energetico ed una delle possibili opzioni investigate in ambito europeo è un progressivo ricorso alla fonte nucleare per la produzione di energia elettrica, con garanzie di competitività economica, sicurezza e sostenibilità.

E' necessario quindi:

- il mantenimento e sviluppo delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie, anche attraverso la partecipazione diretta a grandi progetti di R&S;
- la partecipazione dell'Italia nel contesto internazionale ed europeo in tema di energia nucleare e, in particolare, in iniziative e progetti internazionali di grande respiro;
- una capacità autonoma di analizzare in maniera comparata le attuali opzioni scientifiche e tecnologiche per la produzione di energia nucleare, sotto il profilo della sicurezza, della sostenibilità e della convenienza;
- la risoluzione dei problemi ereditati dal passato, come la messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi e dei materiali nucleari, in una condizione esente da pericoli e libera da timori e preoccupazioni da parte dell'opinione pubblica.

**Attività di ricerca 1.3.1 “Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare”
Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
LP1	Studi sul nuovo nucleare	Set 2012	4385	307	35	163	115	180	800
LP2	Studi di sicurezza sugli impianti nucleari	Set 2012	9030	635	100	145	900	420	2200
LP3	Reattori di IV generazione	Set 2012	5780	405	915	100	180	400	2000
TOTALE			19195	1347	1050	408	1195	1000	5000

a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 150 k€ per attività della partecipata FN)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

La fusione termonucleare controllata è oggi considerata da tutti i paesi più industrializzati una opzione molto concreta come fonte di energia sicura, compatibile con l'ambiente e praticamente inesauribile. A conferma di ciò, 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).

ITER dovrà produrre 500 MW di potenza e dimostrare la possibilità di mantenere la reazione per un tempo sufficientemente lungo. L'impianto consentirà di verificare le tecnologie rilevanti per il reattore e fornirà gli elementi utili per la progettazione di 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 Broader Approach è un accordo di cooperazione internazionale tra Unione Europea (Euratom) e Giappone avente lo scopo di integrare il progetto ITER ed accelerare i tempi per la realizzazione dell'energia da fusione, attraverso attività di R&S relative a tecnologie avanzate per i futuri reattori dimostrativi.

L'accordo, al quale l'Italia ha aderito, consiste in una serie di attività sia di fisica che di tecnologia che prevedono realizzazioni prototipiche di alto contenuto tecnologico.

Il programma Broader Approach rappresenta una opportunità molto importante per sviluppare ricerche di base sulla fisica e la tecnologia della fusione nucleare. Infatti, il BA include una serie di attività finalizzate: alla realizzazione di componenti ad alto contenuto tecnologico; allo sviluppo di conoscenze di fisica di interesse per il reattore a fusione DEMO; 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 materiali e al supercalcolo.

In particolare le attività del BA includono:

- la costruzione di una macchina Tokamak denominata JT60SA: macchina superconduttrice delle dimensioni del JET destinata a studiare scenari operativi rilevanti per DEMO;
- la realizzazione di una facility in cui saranno provati i componenti di IFMIF, complessa struttura di ricerca finalizzata allo studio del danneggiamento dei materiali provocato dal flusso di neutroni di alta energia, quali quelli generati nella reazione di fusione. Si tratta del prototipo del primo stadio dell'acceleratore di ioni di deuterio che dopo essere accelerati fino ad energie di 40 MeV vanno a collidere un bersaglio di litio producendo un flusso di neutroni molto intenso capace di produrre un danneggiamento di 80 dpa/anno;
- la realizzazione di un prototipo del bersaglio per la produzione di neutroni (target) di IFMIF su cui far scorrere a forte velocità il litio liquido e i dispositivi per la sua manutenzione remota;
- la creazione del International Fusion Energy Research Center (IFERC) che include attività per DEMO tra le quali lo sviluppo di materiali avanzati come il SiC/SiC e un centro di supercalcolo.

L'Italia si è impegnata a contribuire allo sviluppo del Programma Broader Approach, ad ENEA sono state affidate le seguenti attività:

Costruzione magneti Tokamak JT60SA

Realizzazione, in collaborazione col CEA francese, del magnete superconduttore di JT60SA, incluse le casse di contenimento e le alimentazioni elettriche.

JT60SA si propone di contribuire al rapido sviluppo dell'energia da fusione attraverso lo studio degli aspetti più importanti della fisica di ITER e DEMO.

JT60SA è un Tokamak superconduttore di raggio maggiore di circa 3 m, in grado di confinare plasma di deuterio con una corrente massima di 5.5 MA, in configurazioni elongate a D, con singolo o doppio nullo. 41 MW di potenza di riscaldamento con iniettori di neutri ed antenne a microonde alla ciclotronica elettronica permettono di operare con alte densità di plasma e significativi valori di flusso di potenza sul divertore.

Il Tokamak superconduttore JT-60SA sarà installato a Naka nella Torus Hall che attualmente ospita il Tokamak JT-60U. L'isolamento termico di JT-60SA sarà assicurato, sotto vuoto, da un criostato metallico.

Delle 18 bobine toroidali che costituiscono il magnete, 9 saranno realizzate dall'ENEA e 9 dal CEA Francese.

La macchina JT60SA sarà il più grande Tokamak superconduttore ad essere costruito prima della macchina ITER. Il magnete toroidale di JT60SA è superconduttore, raffreddato ad elio supercritico alla temperatura di 4.4 gradi Kelvin e termicamente isolato da un criostato. Il conduttore rettangolare (22x26 mm²) in NbTi contenuto in una camicia in AISI di spessore 2 mm è stato ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida (quench) e migliorare la stabilità intrinseca. Ciascun conduttore è attraversato da una corrente di 25.7 kA e refrigerato da una portata in massa di elio di 4 g/s. L'analisi di riscaldamento nucleare e flusso neutronico è stata condotta dall'ENEA utilizzando un codice Monte Carlo MCNP-5 con libreria FENDL-2. È stato usato un modello in 3D di un settore di 20° della macchina; le proprietà dei materiali componenti sono state opportunamente omogeneizzate. La camera da vuoto è riempita, nella doppia parete, di acqua borata per migliorare le prestazioni schermanti ed è stata modellata considerando tre port di cui uno equatoriale e due alla estremità superiore ed inferiore. L'avvolgimento della bobina è segmentato in 36 celle, ciascuno rappresentante due spire in direzione toroidale dei sei doppi pancake. Anche la cassa è stata segmentata in modo accurato per il calcolo del profilo del loro riscaldamento nucleare. Il flusso neutronico di riferimento è 1.5×10^{17} n/s. L'analisi termoidraulica della bobina, considerando anche il calore trasferito dalla cassa, assicura condizioni operative fortemente stabili con un margine di temperatura di 1,2 K.

L'analisi strutturale è stata eseguita con il codice di calcolo agli elementi finiti ANSYS su un modello di bobina toroidale in 3D sollecitata da carichi elettromagnetici, in piano e fuori piano, prodotti durante lo scenario di riferimento. Nell'isolamento di spira si raggiunge un valore di taglio di 18 MPa; la sollecitazione di taglio sull'isolamento verso massa mostra un picco di 10 MPa. Entrambi i valori di taglio sono accettabili. La distribuzione delle sollecitazioni nella parte strutturale della bobina raggiunge un picco di circa 400 MPa nella gamba interna; valore accettabile nel caso di AISI 316. La deformazione della bobina assume una forma ad S e raggiunge un massimo di circa 20 mm nella parte esterna, vicino ai port della camera da vuoto.

Il metodo di inserimento dell'avvolgimento della bobina nella cassa è stato studiato con cura per ottenere un manufatto di elevata precisione meccanica richiesta dagli accoppiamenti per realizzare il complesso del magnete toroidale. Lo sviluppo del modello CAD della bobina e della cassa di contenimento in acciaio austenitico ha consentito lo studio delle interfacce e la definizione dei disegni di massima. Sperimentazioni sono state condotte su campioni di superconduttore per ottimizzare le loro prestazioni elettriche e fluidiche.

Il sistema magnetico di JT-60SA è costituito da 18 bobine toroidali superconduttrici di forma a D avvolte con un cavo in NbTi, raffreddato da un flusso forzato di elio supercritico. Ciascun avvolgimento è formato da 6 doppi pancake collegati in serie da giunti elettrici interni per assicurare la continuità elettrica; giunti esterni garantiscono la connessione elettrica con le bobine contigue mentre dei collettori provvedono alla distribuzione del flusso di elio. Ogni pancake è formato da sei spire, con un isolamento di spira dello spessore di 1 mm. Ciascun doppio pancake è avvolto da isolante con uno spessore di 1 mm; mentre l'intero avvolgimento ha un isolamento verso massa di 3 mm. L'isolamento elettrico è realizzato con tele di vetro e resina epossidica impregnata sotto vuoto. L'intero pacco di avvolgimento della bobina ha dimensioni nominali di 345 mm (toroidalmente) e 150 mm (radialmente). La realizzazione delle 9 bobine richiede lo

sviluppo di impianti ed attrezzature prototipali che rivestono carattere innovativo e di ricerca, sia per lo sviluppo delle soluzioni costruttive, che per la definizione delle procedure realizzative degli elementi componenti la bobina toroidale.

L'Italia deve fornire:

- nove delle 18 bobine superconduttrici di NbTi che costituiscono l'intero magnete e che hanno dimensioni e caratteristiche tali da richiedere una estrapolazione significativa dei processi realizzativi, esse rappresentano un utile banco di prova per la costruzione delle bobine di ITER;
- Le casse di contenimento per tutte le 18 bobine sono componenti in acciaio austenitico che richiedono precisioni molto accurate per garantire il corretto posizionamento delle bobine che devono ospitare;
- Le alimentazioni elettriche di tutto il sistema magnetico di JT60SA, per un totale di 8 alimentatori (SCMPS, Super Conducting Magnet Power Supplies) ad alta tensione e corrente con relativi interruttori, crow-bar e quattro trasformatori. Quattro sistemi di interruzione della corrente continua (SNU, Switching Network Unit) con inserzione di un sistema variabile di resistenza. Tutto ciò richiede una progettazione specifica e le dimensioni e caratteristiche e i contenuti tecnici sono tali per cui vi è un forte interesse da parte della nostra industria. Il ruolo dell'ENEA è di fondamentale importanza perché la progettazione di tutti i componenti in questione richiede un know-how specifico da sviluppare in continuità con quanto fatto finora in questi settori.
- Progettazione, costruzione, collaudo e spedizione a Naka (Centro Ricerche JAEA) del Magnete Toroidale superconduttore della Macchina Tokamak JT60SA completo di casse di contenimento ed alimentazione elettrica.

I processi realizzativi saranno qualificati con lo sviluppo di prototipi a piena scala e mock-up.

L'avvolgimento della bobina è contenuto in una cassa in AISI che costituisce il principale componente strutturale del sistema magnetico ed è caratterizzato da precisioni molto accurate per garantire il corretto accoppiamento con la bobina stessa.

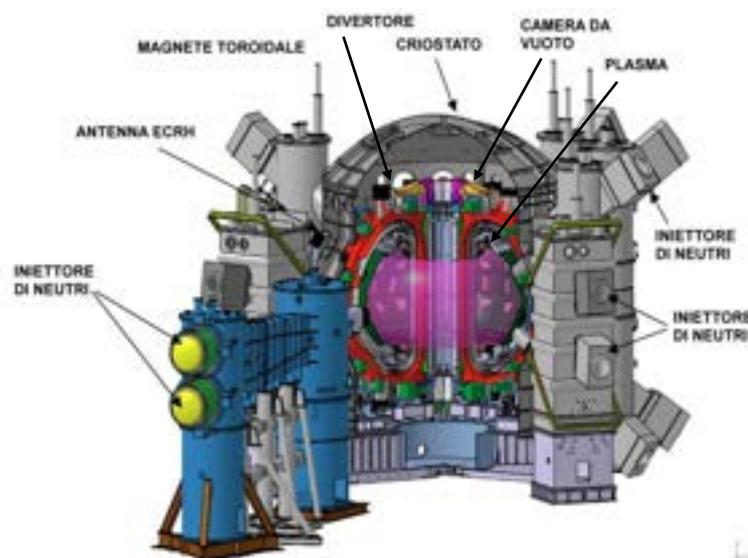


Figura 1. Vista della macchina Tokamak JT60SA

La cassa delle bobine toroidali è una struttura saldata di piastre con spessore nell'intervallo 15-100 mm. Ogni cassa sarà preparata per il suo assemblaggio finale composta da un numero limitato di sottoinsiemi per minimizzare le saldature necessarie alla chiusura della cassa. I supporti meccanici delle bobine poloidali

esterne e del trasformatore centrale saranno saldati. Il sistema magnetico di JT-60SA è supportato attraverso le casse delle bobine toroidali.

Le alimentazioni elettriche di tutto il sistema magnetico di JT60SA, per un totale di 13 alimentatori ad alta tensione e corrente con relativi interruttori più quattro trasformatori, richiedono una progettazione specifica e sono di dimensioni e caratteristiche tali per cui vi è un forte interesse da parte della nostra industria.

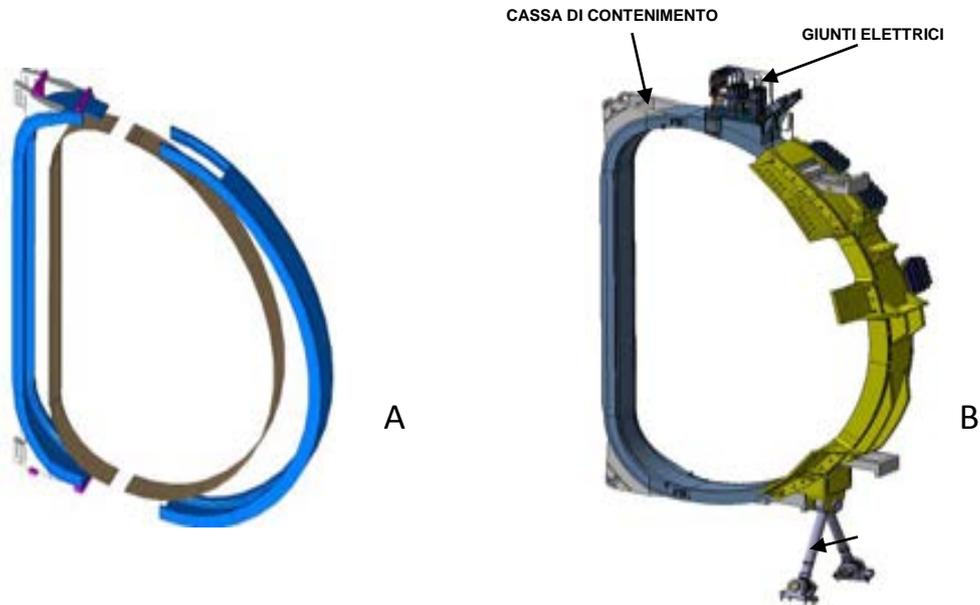


Figura 2. A) Sottoinsiemi della cassa di contenimento; B) Vista assonometrica bobina toroidale

Attività di ricerca e sviluppo per IFMIF-EVEDA e IFERC

Queste attività richiedono lo sviluppo 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). Questi settori sono di grande interesse per le attività programmatiche dell'ENEA che in questi settori è impegnata da tempo. In particolare le attività relative ai metalli liquidi e alla manutenzione remota potranno usufruire degli impianti presenti presso il Centro ENEA del Brasimone e della esperienza nella progettazione di circuiti a metallo liquido e della relativa manutenzione remota. L'attività, infatti, consiste nella progettazione del target di IFMIF, un componente su cui fluisce litio liquido ad alta velocità, e delle attività di sviluppo e caratterizzazione a supporto riguardanti la corrosione/erosione e la purificazione del litio e la dimostrazione delle operazioni di manutenzione remota.

Verranno effettuate sperimentazioni dedicate alla purificazione ed alla verifica della compatibilità chimica del litio con i materiali strutturali al fine di prevedere la durata dei componenti, il trasporto di massa relativo agli elementi principali (Fe, Cr e Ni), la loro deposizione ed il loro contributo di radio attivazione del sistema. Infine verrà effettuata, l'analisi di sicurezza completa del target e del circuito a litio di IFMIF. Il target è un componente su cui fluisce litio liquido ad alta velocità, e pertanto si rendono necessarie le attività di sviluppo e caratterizzazione a supporto riguardanti la corrosione/erosione e la purificazione del litio e la dimostrazione delle operazioni di manutenzione remota. Poiché il target di IFMIF è soggetto ad un elevato danneggiamento neutronico, dell'ordine di 50 dpa/anno, una componente essenziale della progettazione è l'analisi delle sollecitazioni termomeccaniche conseguenti all'esposizione neutronica. Tale analisi deve essere eseguita in modo accurato al fine di predire la vita media delle parti più sollecitate e pianificarne il programma di sostituzione parziale o totale. Tale analisi richiede un significativo impegno in termini di calcolo numerico sia con codici Monte Carlo di neutronica e sia con codici F.E per la termica e la meccanica. In molti aspetti del calcolo è necessario ricorrere ad adattamenti ad hoc in quanto i codici commerciali non sono ancora adeguatamente configurati.

Nel campo dei compositi ceramici, grazie anche alla collaborazione in atto con la società partecipata FN Nuove Tecnologie e Servizi Avanzati, si hanno dotazioni impiantistiche di grande rilievo come il sistema di CVI (Chemical Vacuum Infiltration) per la realizzazione di componenti di carburo di silicio composito (SiC/SiC). Ai compositi ceramici si guarda con grande interesse per l'utilizzo sia come materiale strutturale sia come materiale funzionale per barriere termiche ed elettriche. Queste attività hanno una forte continuità con quanto in atto per lo sviluppo del reattore dimostrativo a fusione ma anche per i reattori a fissione di IV generazione.

Altre attività internazionali di accompagnamento ad Iter: FAST il nuovo esperimento satellite europeo

Obiettivo è la realizzazione di un esperimento di fusione denominato FAST di prestazioni intermedie tra quelle di JET (la macchina tokamak europea in funzione dal 1983 a Culham, Inghilterra) e quelle di ITER (la macchina tokamak che sarà costruita a Cadarache, Francia, frutto di una collaborazione internazionale tra Unione Europea, Cina, Giappone, Federazione Russa, India, Corea, USA). FAST dovrebbe operare a partire dagli ultimi anni della costruzione di ITER. Lo scopo è quello di preparare gli scenari operativi di ITER simulando l'effetto delle particelle alfa mediante ioni accelerati dai sistemi di riscaldamento ausiliario. In questo modo sarà possibile studiare un plasma che brucia senza ricorrere all'uso del trizio. L'uso di soluzioni tecnologiche innovative per i componenti ad alto flusso termico, sviluppate in ENEA, e le scariche di lunga durata consentono di provare componenti in condizioni rilevanti per il funzionamento di ITER e DEMO.

Il progetto riguarda la costruzione della macchina tokamak denominata FAST da installare possibilmente in un sito ENEA e include la realizzazione di impianti per le alimentazioni elettriche, il riscaldamento del plasma con radiofrequenza (40 MW) e predisposta per l'utilizzo di iniezione di neutri, il raffreddamento con fluido criogenico (elio a 30 K) ed acqua. Sono incluse, inoltre, le diagnostiche per le misure dei parametri del plasma ed il sistema di controllo. A seconda del sito scelto, sarà necessario costruire nuovi edifici o adeguare quelli esistenti.

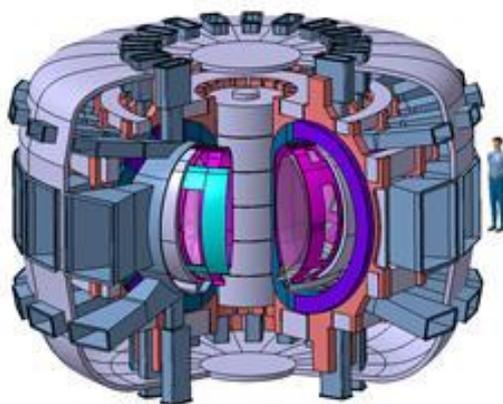


Figura 3. FAST - Vista assometrica

La simulazione di un plasma che brucia nelle condizioni di interesse reattoristico è un aspetto altamente innovativo del progetto. Ad oggi i parametri che caratterizzano questi regimi sono stati studiati singolarmente. Risulterebbe perciò, data l'alta non linearità dei fenomeni associati, un passo molto importante verso la piena comprensione del comportamento del plasma e contribuirebbe a rendere molto più proficua la sperimentazione di ITER. Inoltre, FAST consentirà di sviluppare nuove tecnologie avanzate per il reattore a fusione, quali quelle relative allo smaltimento degli altissimi flussi termici originati dal plasma.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il programma fusione è uno dei campi di eccellenza della ricerca in Italia. Il programma è coordinato a livello europeo dall'Euratom e vede la partecipazione di tutti i paesi UE più la Svizzera. Le attività italiane, sono condotte dall'ENEA, che ha la funzione di coordinatore, dal CNR e da molte Università italiane. ENEA e CNR hanno inoltre costituito con altri partner il Consorzio RFX.

La ricerca sulla fusione, essendo ormai orientata verso la realizzazione del reattore, richiede di sviluppare oltre alle conoscenze di fisica anche le tecnologie relative ai materiali, ai processi di fabbricazione dei componenti ed alla manutenzione remotizzata, che nel caso della fusione presentano caratteristiche che vanno oltre la normale pratica realizzativa. In questo contesto, particolare rilevanza presentano le tecnologie dei magneti superconduttori e dei componenti di grosse dimensioni e alte precisioni, lo sviluppo dei materiali e nello specifico dei composti ceramici. 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.

Parallelamente all'impiego di ITER, la comunità scientifica, sarà impegnata a individuare e provare i materiali strutturali più adatti a rispondere alle differenti richieste di un prototipo dimostrativo di reattore a fusione. La fusione termonucleare pone una doppia sfida agli specialisti di materiali: alte temperature (fino ad 800 °C) ed alti flussi di neutroni da 14 MeV che in un anno inducono danneggiamenti quantificabili in 50 dpa. La conduzione di ricerche appropriate in questa area di sviluppo, che appare fortemente strategica per tutto il settore industriale, richiede la realizzazione e l'impiego della sorgente di neutroni IFMIF. Per tale motivo nell'ambito delle attività tecnologiche di Broader Approach vengono previste le progettare e realizzare la sorgente di neutroni da 14 MeV completa di due acceleratori di deutoni accoppiati in parallelo, circuito per purificazione e pompaggio litio a 20 m/s e tre dispositivi per prove meccaniche sui materiali candidati all'impiego fusionistico.

Lo sviluppo delle tecnologie dei metalli liquidi, inoltre, è un punto di forza delle ricerche in ENEA che applica queste tecnologie non solo nel campo della fusione ma anche per i reattori a fissione di IV Generazione. L'ENEA è tra i leader nel settore e grazie alla sua dotazione strumentale ed impiantistica può accrescere il know how in un campo cruciale per le tecnologie dei futuri reattori nucleari.

Il proposto esperimento FAST è stato ideato in modo tale da essere integrato al progetto di JT60SA e con obiettivi complementari. Di conseguenza, l'integrazione degli esperimenti sulle due macchine potrà garantire lo studio completo dei problemi di fisica ancora aperti in vista di DEMO.

Inoltre, FAST, essendo una macchina compatta ed ad alte performances, potrà garantire informazioni notevoli riguardo il possibile sviluppo della Fusione Nucleare verso reattori Ibridi Fusione-Fissione, in grado di bruciare le scorie nucleari.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Il magnete toroidale di JT60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4,4 K e termicamente isolato da un criostato. Il conduttore in NiTi verrà ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida e migliorare la stabilità intrinseca. L'analisi di riscaldamento nucleare e flusso neutronico verrà condotta dall'ENEA con codice Monte Carlo. Verrà usato un modello in 3D di un settore della macchina e le proprietà dei materiali componenti saranno opportunamente omogeneizzate. L'analisi termica del superconduttore, considerando anche il calore dovuto al flusso neutronico trasferito dalla cassa, assicurerà condizioni operative fortemente stabili con un margine di temperatura di 1,2 K. L'integrità meccanica del magnete verrà studiata con un settore di macchina in 3D sollecitata da carichi elettromagnetici provenienti dallo scenario di riferimento. Il metodo di inserimento dell'avvolgimento bobina nella cassa verrà studiato con attenzione per ottenere un manufatto con la precisione meccanica richiesta dagli accoppiamenti per realizzare il complesso del magnete toroidale. Sperimentazioni sono state già condotte su piccoli campioni per ottimizzare le prestazioni elettriche e fluidiche dei componenti superconduttori. Lo sviluppo del modello CAD della bobina e della cassa di contenimento consentirà lo studio delle interfacce e la definizione dei disegni di massima.

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 ($\sim 20 \text{ MW/m}^2$), ed, inoltre, espandere la sperimentazione, attualmente effettuata in modo limitato col Tokamak FTU, usando metalli liquidi (Litio) per assorbire la potenza uscente dal plasma.

L'impianto IFMIF sarà una facility di ricerca di cospicuo rilievo, con una lunghezza di oltre 200 metri, progettata ad hoc. I suoi componenti principali saranno:

- 1) una sorgente di ioni (tipicamente ioni di deuterio);
- 2) due acceleratori lineari, di grande potenza (complessivamente 10 MW), che accelerano gli ioni di deuterio fino all'elevatissima energia di 40 MeV, facendo convergere i fasci di ioni sullo stesso bersaglio (target);
- 3) un target costituito da litio fuso in circolazione forzata ad alta velocità, su cui gli ioni di deuterio accelerati impattano, sviluppando neutroni di elevata energia mediante opportune reazioni nucleari.

ENEA, in ambito europeo, è responsabile dello sviluppo del target per la produzione di neutroni. Il progetto è basato su un efflusso libero di litio ad alta velocità (20 m/s) che, investito normalmente da un fascio di deutoni, rilascia per la reazione nucleare di stripping, una corrente di neutroni sufficientemente energetici per poter esercitare, sui materiali in prova, lo stesso danneggiamento neutronico che ha luogo in un reattore a Fusione. La proposta progettuale di ENEA comprende anche la intercambiabilità della parete posteriore del componente al fine di consentirne la sostituzione quando il danneggiamento del materiale con cui è realizzato raggiunge livelli inaccettabili.

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.

OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

Il magnete toroidale di JT60SA è superconduttore, raffreddato da elio supercritico alla temperatura di 4,4 K e termicamente isolato da un criostato. Il conduttore in NbTi verrà ottimizzato per ridurre i rischi di transizione rapida e migliorare la stabilità intrinseca. L'analisi di riscaldamento nucleare e flusso neutronico verrà condotta dall'ENEA con codice Monte Carlo. Verrà usato un modello in 3D di un settore della macchina e le proprietà dei materiali componenti saranno opportunamente omogeneizzate. L'analisi termica del superconduttore, considerando anche il calore dovuto al flusso neutronico trasferito dalla cassa, assicurerà condizioni operative fortemente stabili con un margine di temperatura di 1,2 K. L'integrità meccanica del magnete verrà studiata con un settore di macchina in 3D sollecitata da carichi elettromagnetici provenienti dallo scenario di riferimento. Il metodo di inserimento dell'avvolgimento bobina nella cassa verrà studiato con attenzione per ottenere un manufatto con la precisione meccanica richiesta dagli accoppiamenti per realizzare il complesso del magnete toroidale. Sperimentazioni sono state già condotte su piccoli campioni per ottimizzare le prestazioni elettriche e fluidiche dei componenti superconduttori. Lo sviluppo del modello CAD della bobina e della cassa di contenimento consentirà lo studio delle interfacce e la definizione dei disegni di massima.

L'impianto IFMIF sarà una facility di ricerca di cospicuo rilievo, con una lunghezza di oltre 200 metri, progettata ad hoc. I suoi componenti principali saranno:

- 1) una sorgente di ioni (tipicamente ioni di deuterio);
- 2) due acceleratori lineari, di grande potenza (complessivamente 10 MW), che accelerano gli ioni di deuterio fino all'elevatissima energia di 40 MeV, facendo convergere i fasci di ioni sullo stesso bersaglio (target);
- 3) un target costituito da litio fuso in circolazione forzata ad alta velocità, su cui gli ioni di deuterio accelerati impattano, sviluppando neutroni di elevata energia mediante opportune reazioni nucleari.

ENEA, in ambito europeo, è responsabile dello sviluppo del target per la produzione di neutroni. Il progetto è basato su un efflusso libero di litio ad alta velocità (20 m/s) che, investito normalmente da un fascio di deutoni, rilascia per la reazione nucleare di stripping, una corrente di neutroni sufficientemente energetici

per poter esercitare, sui materiali in prova, lo stesso danneggiamento neutronico che ha luogo in un reattore a fusione. La proposta progettuale di ENEA comprende anche la intercambiabilità della parete posteriore del componente al fine di consentirne la sostituzione quando il danneggiamento del materiale con cui è realizzato raggiunge livelli inaccettabili.

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.

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.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Il progetto riguarda le attività sulla fusione di cui ENEA ha la responsabilità, nell'ambito della collaborazione internazionali.

Il programma "Broader Approach", che si svolgerà nell'arco di sei anni, prevede:

- studio e progettazione del magnete di JT60SA (bobine superconduttrici e strutture di contenimento), redazione delle specifiche, emissione di ordini per acquisti di materiali, impianti e attrezzature per la realizzazione delle bobine;
- studio e progettazione delle alimentazioni elettriche degli avvolgimenti di JT60SA, redazione specifiche tecniche, procedure di gara ed aggiudicazione, revisione del progetto e inizio della realizzazione di 6 alimentatori degli avvolgimenti di campo poloidale e 2 alimentatori degli avvolgimenti di controllo della posizione del plasma tutti con i loro sistemi di crow-bar e i loro relativi 4 trasformatori;
- progettazione redazione delle specifiche tecniche, procedure di gara ed aggiudicazione, revisione del progetto e inizio della realizzazione di 4 sistemi di switching per la generazioni di impulsi di alte tensioni negative;
- studio e progettazione delle alimentazioni elettriche del magnete di JT60SA, redazione specifiche tecniche e realizzazione di parte dei 13 alimentatori degli avvolgimenti di campo poloidale e verticale con relativi interruttori e trasformatori;
- studi, progettazione e costruzione di un prototipo del target per prove fluidodinamiche, realizzazione e fornitura di sensori di misura, prove di corrosione/erosione e di purificazione nell'impianto a litio liquido LiFus 3 del Brasimone;
- progettazione d'assieme completa del target di IFMIF; realizzazione del sistema di manutenzione remota e prove prototipiche di manutenzione in piattaforma di prova;
- analisi di sicurezza ed incidentale del target e del circuito a litio di IFMIF;
- misure delle caratteristiche fisiche di componenti in SiC/SiC. Sviluppo di modelli reologici per simulare il comportamento dei compositi ceramici
- progettazione e realizzazione di un dispositivo per prove di erosione/corrosione di target di SiC/SiC in movimento in litio liquido ad alta temperatura.

Nell'ambito del programma FAST si prevede.

- progettazione delle proprietà strutturali del sistema magnetico (toroidale più poloidale), della camera da vuoto, dei ports e del criostato di FAST;
- progettazione del sistema di raffreddamento per la macchina FAST;
- analisi del problema del Remote Handling, con particolare riguardo alla prima parete;

Le attività del progetto, iniziate con il PAR 2010, sono in fase di completamento.. Nel seguito si fornisce una breve sintesi del lavoro fin qui svolto.

Progettazione del magnete toroidale della macchina JT-60SA

Le attività di progettazione del magnete toroidale della macchina JT-60SA si sono concluse, con:

- l'analisi di riscaldamento nucleare, flusso neutronico e dosi all'isolante è stata condotta utilizzando un modello in 3D di un settore di 20° della macchina.
- l'analisi termoidraulica della bobina toroidale ha permesso di verificare l'esistenza di un margine di temperatura di 1,2 gradi Kelvin rispetto alle condizioni di transizione del superconduttore.
- un'analisi, condotta con il codice Gandalf, ha permesso di predire il comportamento delle bobine nei transitori rapidi (quench) indotti durante i test a freddo.
- l'analisi strutturale su un modello di bobina toroidale in 3D sollecitata da carichi elettromagnetici, in piano e fuori piano, prodotti durante lo scenario di riferimento. La distribuzione delle sollecitazioni nella parte strutturale (cassa di contenimento) della bobina raggiunge un picco di circa 400 MPa nella gamba interna; valore accettabile nel caso di AISI 316.

E' stata sviluppata la documentazione tecnica necessaria alla realizzazione delle attrezzature di avvolgimento dei doppi Pancake costituenti la bobina e le prescrizioni relative alle successive fasi fabbricative per l'incassamento e le prove di accettazione della bobina toroidale. In aggiunta un documento gestionale fornisce indicazioni per un programma di garanzia e controllo di qualità incluso un programma di qualifica relativo alle procedure di messa a punto dei processi di manifattura e realizzazione di prototipi.

La documentazione è stata completata con i disegni costruttivi della bobina, corredati di tutti i particolari (doppi pancake della bobina, ingresso di elio di refrigerazione, giunti elettrici intermedi e terminazione riempitivi necessari all'avvolgimento della bobina).

La documentazione tecnica ha consentito la finalizzazione di un contratto di fornitura per la realizzazione delle 9 bobine toroidali e relativo programma temporale.

È stata inoltre elaborata la documentazione tecnica e gestionale per le casse di contenimento completa di relativo programma temporale.

Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF

Nell'ambito dell'accordo internazionale sulla fusione nucleare il progetto IFMIF ha come obiettivo lo studio dei materiali che saranno impiegati nei futuri reattori nucleari a fusione. L'ENEA ha la responsabilità della progettazione del bersaglio per la produzione dei neutroni ad alta energia, dello studio dei fenomeni di corrosione ed erosione dei metalli in presenza di litio, delle attività di manutenzione remotizzata del bersaglio e della progettazione e validazione dei sistemi di purificazione per il litio. Inoltre, l'ENEA partecipa alle attività sperimentali dell'impianto a litio di Oarai in Giappone.

Progettazione del target di IFMIF

L'attività di progettazione preliminare del bersaglio di IFMIF è stata completata, mentre stanno per essere ultimate quelle relative al corpo del target. Su tali modelli sono anche previste le analisi termo meccaniche preliminari, sia in condizioni stazionarie che transitorie, e quelle di fluido dinamica. Quest'ultime attività inizieranno in settembre 2011 e saranno indirizzate principalmente allo studio degli stress termici a cui è sottoposta la struttura del target e allo studio della stabilità del flusso di litio. Su tale modello di bersaglio sono state inoltre eseguite le analisi neutroniche per la valutazione del danneggiamento prodotto dai neutroni (dpa/anno) e per la valutazione dei ratei di produzione di elio ed idrogeno ai fini della determinazione della massima variazione volumetrica ammissibile ($\Delta V/V\%$) nell'area dei sistemi di bloccaggio del bersaglio stesso.

Studio dei fenomeni di corrosione ed erosione

Sono state ultimate tutte le attività previste con il vecchio impianto LiFus3: prove di circolazione del litio nel circuito principale e la misura dell'efficienza dei sistemi di purificazione. Attualmente è in corso la progettazione un nuovo impianto a litio per l'esecuzione delle prove finali dei fenomeni di erosione e corrosione.

Sistemi di purificazione per litio

Il progetto del sistema di purificazione (H,C,O ed N) è stato validato durante le prove eseguite in LiFus 3 nel periodo Gennaio-Marzo 2011. Durante tale periodo sono state anche eseguite alcune delle attività previste per la calibrazione dei sistemi di monitoraggio per la misura delle concentrazioni delle impurezze presenti nel litio durante la fase di circolazione. Il completamento delle attività richiede ancora l'esecuzione delle analisi dei campioni di litio prelevati all'inizio ed alla fine della campagna sperimentale.

Manutenzione remotizzata per il target di IFMIF

Le attività per la manutenzione del target di IFMIF si sono concentrate nella definizione delle procedure preliminari e delle specifiche tecniche dei dispositivi idonei per l'esecuzione di tali operazioni di manutenzione remotizzata. Sono inoltre in corso le attività per l'aggiornamento del laboratorio in cui queste attività di manutenzione saranno svolte. Il progetto del prototipo del target e della sezione della test cell di IFMIF, da utilizzare per i test di validazione delle operazioni di manutenzione su menzionate, sono in fase di ultimazione.

E' stata già preparata la specifica tecnica per la finalizzazione di un contratto per lo studio dei sistemi per la connessione rapida delle tubazioni, conosciute sul mercato come Quick Disconnecting System (QDS), che integra specifiche modifiche per consentirne l'uso in ambito IFMIF.

Partecipazione alle attività sperimentali sull'impianto Elite loop di Oarai in Giappone

L'ENEA fornirà alcuni sistemi di misura per l'impianto a litio che è stato costruito presso il centro ricerche di Oarai. Di tale fornitura fanno parte: i sistemi per il monitoraggio del fenomeno della cavitazione ed il sistema per il monitoraggio del contenuto di azoto disciolto in litio. Tutti i componenti sono già stati assemblati e sono pronti per la spedizione. La spedizione dei componenti è prevista in Ottobre 2011.

Attività IFERC

Lo studio di compositi di SiC/SiC è una delle cinque attività di ricerca e sviluppo di DEMO condotte nell'ambito del progetto IFERC. 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. Inoltre, l'ENEA realizzerà un apparato per prove di erosione-corrosione di SiC/SiC in litio piombo da condurre ad alta temperatura.

Caratterizzazione proprietà fisiche composito ceramico SiC/SiC

Sono in corso attività relative alla caratterizzazione fisico/meccanica del composito ceramico SiC/SiC realizzato in collaborazione con FN. Sono state condotte misure di conducibilità termica su campioni di SiC/SiC in configurazione 2D e 3D e prove meccaniche su campioni di SiC/SiC in configurazione 2D.

Le attività di modellazione dei materiali compositi è finalizzata allo sviluppo di tecniche computazionali che partendo dalle proprietà meccaniche e di resistenza dei materiali costituenti il materiale composito siano in grado di caratterizzare le corrispondenti proprietà del manufatto finale. L'attività di modellazione ha portato alla realizzazione di una subroutine in grado di implementare nel codice agli elementi finiti ABAQUS il modello costitutivo di un materiale composito con tessitura plain weave partendo dalle caratteristiche meccaniche della fibra e della matrice. Nel codice di simulazione numerica è stato anche implementato un meccanismo di rottura del materiale composito basato sul criterio quadratico di Tsai-Wu nello spazio delle deformazioni.

L'attività di verifica del codice è stata eseguita confrontando i risultati del modello con quelli ottenuti sperimentalmente su materiali ceramici SiC/SiC con architettura plane weave. Tale lavoro ha avuto lo scopo di affinare l'algoritmo che simula il danneggiamento e di evidenziare ulteriori parametri sperimentali necessari come dati di input per il codice.

Caratterizzazione del composito ceramico SiC/SiC in litio liquido

Scopo di questa attività è la costruzione di un apparato per prove ad alta temperatura (1200 °C) di campioni di SiC/SiC rotanti ad alta velocità in litio-piombo al fine di caratterizzarne i fenomeni di erosione-corrosione.

Queste attività hanno visto la costruzione di componenti (sistema di rotazione e sollevamenti dei campioni, sistema di riscaldamento e coibentazione, etc.) del forno per le prove ad alta temperatura.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

A. Macchina JT60SA

L'obiettivo prevede lo sviluppo di processi realizzativi qualificati con lo sviluppo di prototipi a piena scala e mock-up, acquisto materiali per la realizzazione delle 9 bobine; realizzazione di 2 doppi pancake di bobina e prove finali.

L'attività è suddivisa in 4 task principali:

A1 Acquisizione dei materiali costituenti la bobina, qualifica dei processi speciali con lo sviluppo di mock-up e di prototipi a piena scala, realizzazione di 2 doppi pancake dell'avvolgimento della bobina completi di collaudo finale

L'ENEA dovrà fornire, alla fine del programma 9 bobine superconduttrici. Nel secondo anno (PAR 2011) dovranno essere eseguite tutte le azioni preparatorie alla costruzione delle 9 bobine toroidali ed in particolare:

- emissione specifiche tecniche e procedure costruttive, disegni costruttivi d'officina, emissione procedure di prova e corrispondente supervisione;
- acquisizione dei materiali necessari alle varie fasi costruttive della bobina come nel seguito indicato:
 - nastri per l'isolamento elettrico dei conduttori della bobina; segmenti di riempitivo G10 per il salto di strato e la zona delle terminazioni elettriche; resina per impregnazione della bobina e della bobina nella cassa;
 - lega brasante, prodotti chimici, materiale e lavorazione meccanica per la realizzazione delle giunzioni elettriche intermedie e di estremità di ciascuna bobina; materiale d'apporto per la saldatura finale della cassa di contenimento della bobina;
 - realizzazione del sistema di tubazioni dell'impianto fluidico completo di supporto meccanico per l'ingresso e l'uscita di elio di refrigerazione dalla bobina; tratti di tubo dotato di isolatori elettrici;
 - strumentazione varia fra cui cavi per presa tensione, sensori di temperatura con accessori completa di cablaggi sulla cassa della bobina; materiale di consumo per lavorazioni meccaniche (bombole Argon, Elio e Azoto, detersivo per lavaggio cavo);
- qualifica dei processi speciali realizzativi con lo sviluppo di mock-up e di prototipi a piena scala, quali:
 - doppio pancake prototipo con conduttore in superconduttore completo di impregnazione
 - giunzioni elettriche realizzate con superconduttore e provate a temperatura criogenica
 - boccaglio di ingresso di elio. La qualifica della saldatura richiede anche il controllo della temperatura dei fili del superconduttore per evitarne il danneggiamento
 - saldatura di giunzione fra i sottoinsiemi della cassa e del coperchio della cassa
 - impregnazione della bobina e della bobina nella cassa utilizzando un tratto lineare con la sezione a piena scala della cassa;
- realizzazione di 2 doppi pancake dell'avvolgimento della bobina completi di isolamento fra spire e verso massa ed impregnati per formare un corpo monolite. Le bobine saranno sottoposte a prove di collaudo finale di tipo: visivo, dimensionale, fluidico ed elettrico.

Durante l'espletamento di tali operazioni, si procederà alle seguenti attività:

- definizione della disposizione di attrezzature ed impianti costruttivi.
- predisposizione delle zone di lavoro confinando con particolare cura le aree in cui la pulizia deve essere garantita per assicurare l'assenza di materiali contaminanti, definizione delle procedure di ingresso del personale e di protezione dei componenti.
- prove di accettazione del conduttore superconduttore in NbTi
- emissione specifiche tecniche e procedure costruttive; disegni costruttivi d'officina; emissione procedure di prova e corrispondente supervisione.

Risultati/Deliverable:

- sviluppo processi realizzativi qualificati con lo sviluppo di prototipi a piena scala e mock-up

- acquisto materiali per la realizzazione delle 9 bobine
- realizzazione di 2 doppi pancake di bobina e prove finali

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

A.2 Progettazione strutture di contenimento bobine toroidali JT60SA

Acquisto del materiale ed emissione delle specifiche per l'ottenimento dei semilavorati finali. Definizione dei criteri di accettazione ed esecuzione delle prove di accettazione dei materiali. Sviluppo dei disegni di officina completi della definizione della segmentazione dei sottoinsiemi della cassa di contenimento da realizzare. Emissione dei disegni delle attrezzature di lavorazione e di trasporto dal sito di fornitura alla Ditta per l'integrazione della cassa di contenimento con l'avvolgimento della bobina. Predisposizione delle zone di lavoro meccanico e di saldatura confinando le aree in cui la pulizia deve essere garantita per assicurare la protezione dei componenti da materiali contaminanti. Definizioni del metodo di saldature e del relativo cianfrino. Qualifica del processo di saldatura e dei relativi controlli.

In particolare Il secondo anno vedrà l'acquisizione del materiale costituente le casse di contenimento e l'esecuzione dei processi speciali. In particolare:

- costruzione di mock-up a piena scala per la validazione della tecnologia di saldatura.
- sviluppo dei disegni di officina ed emissione dei disegni delle attrezzature di lavorazione e di trasporto dal sito di fornitura alla Ditta per l'integrazione della cassa di contenimento con l'avvolgimento della bobina.
- predisposizione delle zone di lavoro meccanico e di saldatura.
- acquisizione del primo lotto di materiali ed esecuzione delle prove di accettazione con particolare riferimento alla analisi dei materiali ed alle sue proprietà meccaniche e magnetiche.
- esecuzione delle qualifiche delle saldature, specifiche sui controlli delle saldature e controlli intermedi e finali.

Risultati/Deliverable:

- Acquisizione del primo lotto di materiali costruttivi e qualifica processi speciali

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

A.3 Progettazione degli "switch network unit"

Aggiudicazione per la realizzazione di quattro sistemi di switching per l'ottenimento di impulsi di alta tensione sugli avvolgimenti della Macchina JT60SA. In dettaglio si prevede l'espletamento di tutte le azioni per la gara e l'aggiudicazione della fornitura e l'avvio della revisione della progettazione prodotta dalla ditta aggiudicataria.

Risultati/Deliverable:

- Documentazione della Detail desing review

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

A.4 Progettazione alimentatori dei magneti poloidali e toroidali di JT60SA

Aggiudicazione per la realizzazione di otto alimentatori AC/DC e relativi quattro trasformatori, per gli avvolgimenti poloidali e di controllo della Macchina JT60SA. In dettaglio si prevede l'espletamento di tutte le azioni per la gara e l'aggiudicazione della fornitura e l'avvio della revisione della progettazione prodotta dalla ditta aggiudicataria.

Risultati/Deliverable:

- Documentazione della Detail desing review

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility)

L'attività ha come obiettivo lo sviluppo progettuale del target rimovibile per IFMIF, del suo sistema di sostituzione e del dispositivo di purificazione continua da azoto del litio. L'attività è suddivisa in cinque task principali che coprono tutte le fasi inerenti la progettazione costruttiva, la qualifica sperimentale, le procedure operative, i processi fabbricativi e l'applicabilità dei materiali.

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

La partecipazione di ENEA alle attività sperimentali presso l'impianto a litio EVEDA-Loop consiste nella fornitura di prototipi da implementare nella realizzazione e nella partecipazione alle attività sperimentali. In particolare:

- progettazione e realizzazione del prototipo del target IFMIF per verifiche sperimentali di fluidodinamica
- realizzazione e fornitura di misuratore di resistività del litio per misure di impurezze contenute
- realizzazione e fornitura di misuratore di cavitazione
- sperimentazione presso l'impianto EVEDA Loop.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sull'installazione e commissioning dei componenti presso l'impianto EVEDA

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B.2 Forniture ed implementazioni comuni per sperimentazioni della corrosione/erosione per IFMIF

Scopo dell'attività è la caratterizzazione, in termini di perdita di peso e di modificazione metallografica di alcuni acciai strutturali di interesse IFMIF, dopo esposizione in litio fluente ad alta velocità (20 m/s) per tempi significativi. L'attività verrà svolta nel nuovo impianto a litio del Brasimone, dopo la messa a punto dell'apparato sperimentale saranno avviate le sperimentazioni di differenti durate e condizioni.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sui test di corrosione/erosione di breve durata

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

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

Scopo dell'attività è la qualifica sperimentale del sistema di purificazione del litio, dalle principali impurezze, basato su tre diversi getters solidi. La sperimentazione inizierà sull'impianto LiFus 3 del Brasimone. Dopo la messa a punto del sistema di purificazione saranno effettuate le prove atte a quantificare l'efficienza della rimozione delle impurezze da litio in diverse condizioni operative.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sulla realizzazione del nuovo sistema di purificazione e risultati dei test di breve durata

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

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

Il contributo ENEA consiste in tutte le fasi di sviluppo necessarie a pervenire alla progettazione e qualificazione sperimentale del sistema di rimozione e ripristino della piastra posteriore del target per via remota. In particolare le azioni previste sono:

- progettazione del sistema di manipolazione remotizzata;
- progettazione del mock-up di target per effettuare le esperienze di qualificazione
- prove tecnologiche per qualificare il corretto impiego dei materiali;
- adeguamento dell'area sperimentale
- acquisizione di componentistica già industrializzata (braccio mobile, dispositivo di avvvitamento/svitamento).

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sulla realizzazione dei dispositivi di remote handling
- Rapporto sull'adeguamento dell'area sperimentale destinata alle sperimentazioni full scale in condizioni rappresentative del target IFMIF
- Rapporto sulla progettazione delle procedure di remote handling e dei test preliminari di manutenzione remotizzata per il Target di IFMIF

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B.5 Forniture ed implementazioni comuni per progettazione completa di target a litio per IFMIF e di dispositivo di purificazione litio dall'impurezza azoto.

Scopo dell'attività è la progettazione d'assieme completa del target di IFMIF e del componente di purificazione del litio da azoto. I progetti saranno comprensivi di calcoli termo meccanici, neutronici e termoidraulici in condizioni operative (stazionarie e transitorie) ed incidentali. Le scelte progettuali saranno tutte accompagnate da giustificazioni fondate su qualifiche teoriche o sperimentali. In particolare le azioni previste sono:

- progetto del target assembly
- verifiche termo-meccaniche in condizioni stazionarie
- analisi neutronica e di danneggiamento
- analisi di funzionalità e di interfaccia
- analisi di sicurezza del target e del circuito a litio di IFMIF.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto preliminare del progetto del target di IFMIF comprensivo di disegni, analisi numeriche e valutazione dei costi

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

Le attività di sviluppo di IFMIF, verranno svolte in collaborazione con il Consorzio RFX

C. Attività per IFERC (International Fusion Energy Research Center)

L'obiettivo prevede lo sviluppo e la caratterizzazione di materiali composti ceramici in matrice e fibra di silicio ed è suddiviso in due task principali:

C.1 Caratterizzazione proprietà fisiche composito ceramico SiC/SiC

Scopo dell'attività è la misura della conducibilità termica di un composito ceramico SiC/SiC al fine di caratterizzare termicamente il materiale per l'utilizzo in ambito fusionistico.

Scopo dell'attività di modellazione dei materiali compositi è quella di sviluppare tecniche computazionali che partendo dalle proprietà meccaniche e di resistenza dei materiali costituenti il materiale composito siano in grado di caratterizzare le corrispondenti proprietà del manufatto finale.

Le azioni previste sono:

- completamento della integrazione, in un codice commerciale agli elementi finiti, di programmi in grado di definire il comportamento meccanico dei materiali compositi;
- esecuzione di prove meccaniche sui materiali compositi ceramici per ottenere i dati di ingresso per i codici di calcolo sviluppati.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sui risultati delle misure della conducibilità termica su una ulteriore serie di campioni
- Rapporto sui risultati del codice di modellazione dei materiali compositi e dei risultati delle prove meccaniche sui materiali compositi ceramici su una ulteriore serie di campioni

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.2 Caratterizzazione del composito ceramico SiC/SiC in litio liquido

Scopo dell'attività è la realizzazione di un apparato per prove ad alta temperatura (1200 °C) di un target rotante di SiC/SiC in litio-piombo al fine di caratterizzare i fenomeni di erosione-corrosione. Le azioni sono:

- esecuzione di una campagna di prove di erosione-corrosione di lunga durata su diversi campioni di materiale composito SiC/SiC in litio liquido fluente ad alta temperatura
- esecuzione di una campagna di prove preliminari di erosione-corrosione di compositi SiC/SiC il litio-piombo.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sui risultati delle prove di erosione-corrosione

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

Il materiale per le attività dei Task C.1 e C.2 verrà fornito dalla Società FN, unica società in Italia attrezzata per fornire SiC/SiC nelle forme e dimensioni richieste utilizzando il procedimento di Chemical Vapor Infiltration (CVI).

D. Altre attività internazionali di accompagnamento ad ITER: FAST il nuovo esperimento satellite europeo

D.1 Calcoli strutturali per il sistema magnetico, la camera da vuoto ed il criostato di FAST e analisi del sistema di raffreddamento della macchina FAST

Scopo dell'attività è la progettazione, con relative verifiche strutturali nelle varie configurazioni magnetiche, di alcune delle parti più importanti della macchina FAST.

Risultato/Deliverable:

- valutazione, nella reale geometria 3D dei carichi dovuti alle correnti indotte negli scenari operativi più significativi
- Valutazione delle proprietà strutturali dei componenti sopracitati, quando sottoposti alle correnti indotte di cui sopra
- Progetto del sistema di raffreddamento, ivi incluse le parti esterne del criostato

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D.2 Analisi del sistema di Remote Handling (RH)

Scopo dell'attività è, nel proseguo delle attività già in corso per studiare il sistema di RH del divertore, il conseguimento di una prima ipotesi concettuale per il sistema di RH della prima parete.

Risultato/Deliverable:

- Analisi delle varie possibilità di RH della prima parete, valutazione dei pro e dei contro delle varie soluzioni, e progetto concettuale della soluzione scelta

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

L'attività di comunicazione e diffusione dei principali risultati sia alla comunità scientifica che al largo pubblico generalmente interessato al tema avverrà mediante.

- workshop tematici nazionali ed internazionali;
- pubblicazioni di articoli e saggi divulgativi sulle principali riviste scientifiche internazionali del settore;
- divulgazione e condivisione dei risultati scientifici ottenuti anche attraverso l'utilizzo dei nuova media, ad iniziare da internet;
- Informazioni at a glance all'interno dei notiziari informatici più diffusi nella comunità scientifica internazionale del settore, tra i quali le newsletter dell'ENEA, di F4E e della JAEA.

Potranno essere adottate anche altre forme di comunicazione e diffusione dei risultati a seconda delle esigenze specifiche che potranno presentarsi, utilizzando un approccio comunicativo flessibile in grado di assicurare la migliore copertura possibile dell'audience identificato e la pervicacia del messaggio comunicato.

I costi di queste attività sono inclusi nei preventivi dei diversi obiettivi progettuali.

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.

Progetto 1.3.2 "Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER"
Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A. Macchina JT60SA									
A1	Acquisizione dei materiali costituenti la bobina, qualifica dei processi speciali con lo sviluppo di mock-up e rototipi a piena scala, realizzazione di 2 doppi Pancake dell'avvolgimento della bobina completi di collaudo finale	Set 2012	2860	200	3100	0	0	0	3300
A2	Progettazione strutture di contenimento bobine toroidali JT60SA	Set 2012	2860	200	1873	0	0	0	2073
A3	Progettazione degli 'switch network unit	Set 2012	1430	100	700	0	0	0	800
A4	Progettazione alimentatori dei magneti poloidali e toroidali di JT60SA	Set 2012	1430	100	1475	0	0	0	1575
B. Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF									
B1	Forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianto a litio EVEDA Loop per IFMIF.	Set 2012	400	28	15	7	300	0	350
B2	Forniture ed implementazioni comuni per sperimentazioni di corrosione/erosione per IFMIF.	Set 2012	400	28	15	3	20	0	66
B3	Forniture ed implementazioni comuni per la qualifica sperimentale del sistema di purificazione litio per IFMIF.	Set 2012	300	21	5	2		0	28
B4	Forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e qualifica di sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF.	Set 2012	600	42	90	5	20	0	157
B5	Forniture ed implementazioni comuni per progettazione completa di target a litio per IFMIF e di dispositivo di purificazione litio dall'impurezza azoto.	Set 2012	700	49	0	5	50	0	104
C. Attività IFERC (International Fusion Energy Research Center)									
C1	Caratterizzazione proprietà fisiche composito ceramico SiC/SiC	Set 2012	600	42	15	0	200	0	257
C2	Caratterizzazione del composito ceramico SiC/SiC in litio liquido.	Set 2012	600	42	15	0	0	0	57
D. Satellite (FAST)									
D1	Calcoli strutturali per il sistema magnetico, la camera da vuoto ed il criostato di FAST e analisi del sistema di raffreddamento	Set. 2012	715	50	0	0	80	0	130
D2	Analisi del sistema di Remote Handling	Set. 2012	540	38	0	0	65	0	103
TOTALE			13435	940	7303	22	735	0	9000

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 200 € per attività della partecipata FN)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
Tematica di Ricerca	SVILUPPO E DIFFUSIONE DELL'USO DELLE FONTI RINNOVABILI: ENERGIA ELETTRICA DA BIOMASSE
Progetto 2.1.2	STUDI SULLA PRODUZIONE ELETTRICA LOCALE DA BIOMASSE E SCARTI

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

La valorizzazione energetica di biomasse e residui di lavorazioni agricole o industriali e dei rifiuti, disponibili localmente in quantitativi contenuti, può essere ottenuta attraverso la produzione di biogas, mediante digestione anaerobica (DA) delle biomasse fermentescibili, e di syngas, mediante gassificazione delle biomasse ligno-cellulosiche; il biogas prodotto può essere immesso nella rete gas nazionale, dopo opportuna purificazione ed upgrading, oppure il biogas e il syngas possono essere utilizzati in sistemi di piccola taglia distribuiti sul territorio (da qualche decina di kW al MW) per generazione di elettricità e calore in cicli termici (motogeneratori, turbogeneratori, moduli ORC) o in cicli elettrochimici (celle a combustibile ad alta temperatura).

La produzione di biometano da immettere nella rete richiede, da un lato, l'ottimizzazione dei processi di digestione anaerobica, per aumentare la resa e la quota di metano prodotta, dall'altro lo sviluppo di sistemi di depurazione che consentano di ottenere il gas della qualità necessaria.

La diffusione di sistemi di generazione di piccola taglia richiede invece la disponibilità di impianti affidabili, di facile gestione e competitivi, da sviluppare attraverso l'ottimizzazione dei processi di produzione e purificazione del gas e l'integrazione tra i vari sottosistemi.

L'attività proposta per il triennio 2009-2011 intende esplorare tali opportunità partendo da quanto già realizzato nella prima e seconda annualità del triennio 2006-2008 e dai risultati sin qui ottenuti. È quindi in parte il completamento di alcune linee di ricerca del precedente triennio con la realizzazione di prototipi da laboratorio in scala significativa e l'avvio di nuove attività sperimentali in laboratorio.

In particolare, l'ottimizzazione dei sistemi di produzione di biogas verrà perseguita attraverso lo studio e lo sviluppo dei processi di pretrattamento per ampliare la tipologia di biomasse alimentabili e ridurre i tempi di permanenza nei reattori biologici velocizzando i processi fermentativi e attraverso lo sviluppo di sistemi biologici in grado di incrementare la resa di metano (fino al 75%), partendo da diverse tipologie di biomasse/rifiuti opportunamente miscelati (co-digestione). Saranno esplorate nuove tipologie di miscele che da un lato siano rappresentative della reale distribuzione delle biomasse in Italia, così come emerge anche dall'Atlante delle Biomasse realizzato dall'ENEA nel primo anno dell'AdP 2006-2008, dall'altro siano più promettenti dal punto di vista della semplicità di reperimento e gestione e dal punto di vista della resa energetica, quali ad esempio rifiuti o materiali di scarto (FORSU, deiezioni animali, glicerolo, rifiuti agro-alimentari) e colture energetiche dedicate, annuali e poliennali (ad es. topinambur, sorgo, ecc).

Il tema della produzione di biometano di qualità adatta all'immissione in rete verrà affrontato potenziando le attività sullo sviluppo di sistemi di depurazione (clean up) per abbattere i contaminanti ed avviando nuove attività sui processi di separazione della CO₂ (fuel upgrading) contenuta nel biogas. Proseguiranno, da un lato, gli studi sul clean up iniziati nel secondo anno dell'AdP 2006-2008, con la messa a punto di nuovi materiali sia per i processi di semplice assorbimento che per quelli di conversione chimica (catalizzatori strutturati), dall'altro si affronteranno le problematiche aperte per la separazione della CO₂, con l'obiettivo di realizzare sistemi efficienti ed efficaci, anche per quantità di gas da trattare relativamente basse. In particolare, verrà approfondito il campo dei sistemi di separazione della CO₂ basati sull'impiego delle membrane, sia polimeriche che ceramiche, al fine di poter disporre di dati sperimentali che consentano di

fare un'analisi costi-benefici delle possibili soluzioni, individuando anche i margini di miglioramento delle stesse.

Le attività di ricerca sulla digestione anaerobica e sulla purificazione del biogas porteranno alla realizzazione di prototipi di scala significativa, che consentiranno di verificare i processi e i sistemi messi a punto e la scalabilità degli stessi.

In parallelo, verranno studiati processi di gassificazione innovativi per materiali ligneo-cellulosici (ad es. gassificazione con acqua in condizioni supercritiche) e verrà anche valutata la possibilità e la convenienza della produzione di metano a partire dal gas di sintesi ottenuto dagli impianti di gassificazione già disponibili presso l'ENEA.

Lo sviluppo di sistemi di generazione di piccola taglia riguarderà in una prima fase lo studio, anche attraverso impianti sperimentali, dell'alimentazione di sistemi cogenerativi con biogas o syngas da gassificazione delle biomasse e procederà poi con l'utilizzo di modelli e software, sviluppati negli anni precedenti, per l'analisi delle soluzioni impiantistiche più promettenti per massimizzare la produzione ed il recupero di energia nelle diverse situazioni geografiche, ricavando i dati territoriali direttamente dall'Atlante delle Biomasse.

Il prodotto finale dell'attività sarà quindi costituito da un insieme di tecnologie e processi innovativi, da impiegare sia per produzione, clean up ed upgrading del biogas, che per il suo impiego diretto sia per poterlo immettere in rete sia per utilizzarlo in sistemi cogenerativi ad alta efficienza.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

I processi di DA e le successive fasi di clean up e upgrading (separazione CO₂) sono oggetto di crescente attenzione per i vantaggi che il loro impiego potrebbe presentare:

- in una gestione ottimale dei rifiuti e dei residui organici: la loro trasformazione in energia tramuta un costo (lo smaltimento) in un possibile guadagno (la vendita e/o lo sfruttamento diretto dell'energia ricavata);
- una soluzione integrativa ed alternativa per il settore imprenditoriale agricolo ed agroindustriale, con la possibilità di diversificare ed incrementare il reddito agricolo consentendo di ampliare le coltivazioni anche in quei terreni che, per scarsa remuneratività e difficoltà di accesso, sono stati marginalizzati o abbandonati, senza depauperarne la loro capacità produttiva ed il loro valore agronomico;
- come possibile contributo al raggiungimento degli obiettivi comunitari relativamente all'aumento dell'impiego delle fonti rinnovabili, alla diminuzione delle emissioni di CO₂ e della dipendenza dai combustibili fossili.

In questa direzione va lo sforzo nel campo della microbiologia per lo studio di sistemi di DA ottimizzati in termini di resa di biogas, di presenza di inquinanti, di possibili miscele per co-digestione. Quest'ultima linea è quella oggetto di maggiore attenzione soprattutto dove, come è il caso dell'Italia, non c'è un'alta concentrazione di biomassa e soprattutto dove c'è un'alta differenziazione locale e stagionale delle biomasse utilizzabili ai fini della digestione anaerobica. La codigestione diventa una scelta obbligata: da qui discende la necessità di investigare le possibili miscele in termini di rapporto tra le differenti biomasse e di condizioni di esercizio (miscelazione, temperatura, acidità, tempi di ritenzione).

Altro fattore importante è la qualità del biogas in termini di percentuale di metano, che attualmente arriva al massimo a valori intorno al 65%.

La presenza di contaminanti, in particolare dei composti dello zolfo, è critica sia per l'immissione in rete che per l'utilizzo in sistemi di cogenerazione. Sono allo studio metodologie che inibiscono la formazione dei composti di zolfo allo stato gassoso, che in combinazione con sistemi di abbattimento biologico (batteri solfatigeni) potrebbero portare a livelli di contaminazione sufficientemente bassi da semplificare significativamente la fase di clean up, rendendola più semplice, efficace ed efficiente. Accanto alla diminuzione dei contaminanti a monte, cioè nella fase di digestione, notevoli sforzi vengono rivolti ai metodi di abbattimento chimico fisico a valle del digestore e prima dell'impiego del gas.

L'aumento della percentuale di metano nel biogas attraverso la separazione della CO₂ viene già praticato in diversi paesi, dove il biogas e/o il gas da discarica vengono utilizzati per essere immessi in rete o per essere

utilizzati nel trasporto. Le metodologie sono tipicamente chimico-fisiche (per assorbimento e/o adsorbimento). Relativamente recente è lo sviluppo di metodologie di separazione che applicano sistemi con membrane sia polimeriche che ceramiche. Diverse Università e laboratori di ricerca sono attivi in questo campo.

L'ENEA opera da tempo in tutti i campi menzionati nei punti precedenti ed ha prodotto risultati promettenti nell'ambito delle precedenti annualità della Ricerca di Sistema Elettrico.

In particolare per il settore che riguarda la valorizzazione energetica dei rifiuti e delle biomasse l'ENEA vanta una vasta esperienza, che va dallo studio e messa a punto di sistemi di gassificazione e pirolisi, alla "steam explosion" di biomasse agricole residuali e non per la produzione di bioetanolo, dallo studio della digestione anaerobica alla codigestione, sino ad arrivare alla realizzazione di impianti pilota e/o sperimentali, anche a sostegno di pubbliche amministrazioni per la gestione/realizzazione di impianti di valorizzazione energetica dei rifiuti.

Anche per quanto attiene il clean up del gas l'ENEA è da tempo impegnata nel settore all'interno di progetti nazionali, tra cui lo stesso AdP, ed internazionali (tipicamente progetti UE).

Per quanto infine riguarda l'impiego di biogas o syngas in sistemi di generazione/cogenerazione, l'ENEA conduce da tempo attività sperimentali sulle diverse tecnologie di utilizzo.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

È indubbio che nel settore della digestione anaerobica l'industria sia presente con prodotti maturi ed affidabili, tuttavia è altrettanto indubbio che la ricerca in questo campo è in pieno fermento poiché sono tante le sfide da affrontare, soprattutto in Italia.

Sono necessari digestori anaerobici (DA) di piccola-media taglia (qualche centinaio di kW), che si adattino al panorama italiano, dove le aziende agricole, zootecniche o agro alimentari e i sistemi di trattamento delle acque reflue, così come la raccolta di rifiuti, generano correnti di materiale fermentescibile piuttosto modeste e poco concentrate. Questo significa che vanno sviluppati sistemi ad alta resa energetica, possibilmente robusti ed automatizzati in maniera tale da rendere remunerativo l'investimento di capitali necessario per la loro realizzazione.

Un discorso analogo vale, forse in maniera maggiore, per i gassificatori di biomasse lignocellulosiche, che sono una tecnologia ancora non sufficientemente matura sia per i sistemi di piccola che di taglia superiore.

L'altro problema da affrontare è la presenza di contaminanti e la necessità di avere gas con maggiore concentrazione di metano. Anche in questo caso le tecnologie di purificazione e di concentrazione sono ampiamente note e sfruttate in ambito industriale. La sfida da affrontare è la realizzazione di sistemi di taglia medio-piccola con un livello di affidabilità adeguato e con un grado di automazione che riduca l'impegno di personale, arrivando anche alla possibilità di poter essere gestito con un livello di qualificazione professionale compatibile con la realtà nazionale, senza perdere in efficienza e limitando il costo di trattamento e l'investimento necessario. È per questa ragione che si stanno esplorando nuove frontiere: nuovi materiali assorbenti e/o nuovi catalizzatori per l'abbattimento dei contaminanti, membrane polimeriche e/o ceramiche per la separazione della CO₂ dal biogas. È su questi punti che l'ENEA dedicherà uno sforzo particolare nell'ambito del presente Accordo di Programma.

Per quanto riguarda l'impiego di biogas o syngas da biomasse in sistemi di generazione elettrica e cogenerazione di piccola/media taglia, l'individuazione delle tecnologie più adatte alle diverse situazioni e la integrazione delle stesse con il sistema di produzione/purificazione del gas richiedono ancora un notevole impegno di sviluppo e ottimizzazione.

Problemi per molti versi analoghi si presentano anche per le tecnologie più convenzionali, basate sulla combustione delle biomasse in impianti termici e/o cogenerativi di piccola-media taglia, in particolare sulle emissioni di particolato, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e composti organici volatili (COV), per cui è necessario procedere sia agendo sui sistemi di combustione che sviluppando nuovi dispositivi di abbattimento.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo finale è quello di contribuire, alla messa a punto di sistemi di valorizzazione energetica dei rifiuti organici e/o delle biomasse sia mediante la produzione, il clean up e l'upgrading del biogas, per poterlo inviare direttamente agli usi finali quali l'immissione in rete o l'autotrasporto, sia attraverso lo sviluppo di sistemi di cogenerazione precommerciabili nei quali poter impiegare tale biogas, o syngas da gassificazione delle biomasse lignocellulosiche, in maniera ottimale per produrre elettricità e calore. Si vuole inoltre cercare di ridurre i livelli di emissioni gassose relative a particolati, IPA e COV di impianti di combustione di biomasse solide di piccola-media taglia sia migliorando i processi di combustione sia individuando nuovi sistemi di abbattimento basati su processi di rimozione catalitici. Un ulteriore obiettivo è quello di fornire alla PA il supporto necessario per la definizione di una *roadmap* nazionale nel settore e per una partecipazione più efficace alle collaborazioni internazionali.

Le attività in questo campo sono iniziate nel primo triennio con una enfasi maggiore sulla ricerca e sviluppo per l'impiego di biogas e syngas in celle a combustibile, con un graduale spostamento dell'attenzione sulla produzione, clean up ed upgrading dei gas derivanti da biomasse o rifiuti organici in sistemi avanzati, sia per migliorare il livello di affidabilità e di compatibilità ambientale di sistemi di conversione esistenti, sia per ampliare e diversificare gli usi finali (sistemi di generazione avanzati, immissioni in pipeline, ecc.), in linea con le indicazioni del Piano Triennale 2009-2011 della Ricerca di Sistema Elettrico.

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

- ottimizzare i processi di digestione anaerobica, con miglioramento della qualità del gas prodotto (maggiore contenuto di metano, minori impurezze) e con definizione dei parametri ottimali dei processi di co-digestione per diverse tipologie di biomasse e rifiuti;
- migliorare prestazioni e affidabilità dei sistemi di gassificazione delle biomasse disponibili e sviluppare processi di gassificazione innovativi;
- sviluppare processi e sistemi per l'arricchimento in metano del biogas e per la purificazione dello stesso, fino a livelli qualitativi tali da consentirne l'immissione nella rete di distribuzione ($\text{CO}_2 < 3\% \text{mol}$, $\text{H}_2\text{S} < 6,6 \text{ mg/Sm}^3$ e zolfo totale inferiore a 150 mg/Sm^3);
- sviluppare tecnologie e processi innovativi da impiegare in sistemi cogenerativi ad alta efficienza e limitato impatto ambientale, attraverso la realizzazione di prototipi da laboratorio in scala significativa di sistemi per la produzione di biogas e syngas;
- sviluppare processi per la riduzione delle emissioni gassose da impianti termici e cogenerativi alimentati con biomasse solide mediante miglioramento della combustione e individuazione di sistemi di abbattimento innovativi catalitici.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Lo sviluppo delle attività nell'arco temporale del presente Accordo relativamente alle singole linee di attività è il seguente:

Sviluppo dei sistemi di produzione del biogas

- sviluppo di processi di digestione e co-digestione anaerobica (a partire da residui agro-alimentari, deiezioni animali, colture energetiche, FORSU, ecc.), ottimizzati in termini di resa in percentuale di metano nel biogas e di limitazione dei contaminanti;
- studio di processi di digestione anaerobica innovativi in grado di utilizzare biomasse lignocellulosiche;
- realizzazione di un impianto pilota in scala significativa, integrabile anche con altri dispositivi e apparati sperimentali, sia per prove di validazione dei dati di laboratorio per lo sviluppo di nuovi processi, sia per eventuali prove sul campo a supporto della progettazione di impianti industriali.

Sviluppo di sistemi di abbattimento dei contaminanti nel biogas

- studio e sviluppo di metodologie per la riduzione degli inquinanti a livello di digestore, sia all'origine (inibendo i batteri che ne sono i produttori o facendo precipitare i contaminanti in fase solida mediante l'aggiunta di additivi chimici che non vadano a ridurre l'efficienza dell'intero processo di DA), che sul gas prodotto, inserendo microorganismi specializzati, opportunamente selezionati, per la trasformazione dei composti dello zolfo in condizioni anaerobiche;
- sviluppo di processi chimici o chimico-fisici per la purificazione del biogas a valle del digestore, a partire dai risultati già ottenuti e dai materiali selezionati e/o sintetizzati nella prima fase delle attività, attraverso lo studio del comportamento degli stessi in diverse condizioni operative e la messa a punto di un sistema in grado di ridurre il livello di inquinanti a pochi ppm.

Sviluppo di sistemi per la separazione della CO₂ dal biogas

- analisi dei diversi sistemi utilizzabili per la separazione della CO₂ dal biogas e individuazione di quelli più promettenti per le tipologie di impianti disponibili o realizzabili in Italia;
- sviluppo di membrane ceramiche, con individuazione dei materiali da utilizzare e dei possibili processi di produzione e caratterizzazione delle prestazioni dei campioni ottenuti in termini di capacità di separazione, durata, robustezza ed affidabilità;
- sviluppo e realizzazione di un sistema in membrane polimeriche per la purificazione del biogas da CO₂ e H₂S, con definizione della configurazione e dei parametri ottimali di funzionamento del sistema.

Sviluppo di processi innovativi per la produzione di biogas da DA e di syngas mediante gassificazione con acqua supercritica delle biomasse lignocellulosiche per utilizzo in sistemi cogenerativi

- utilizzo e validazione di un software sviluppato ad hoc e messo a disposizione sul sito dell'ENEA che, anche mediante i dati riportati sull'Atlante delle Biomasse, consente di effettuare analisi tecnico-economiche territoriali per individuare i sistemi di conversione energetica più promettenti nelle diverse applicazioni;
- sviluppo e sperimentazione di processi di gassificazione innovativi in impianti scala laboratorio in grado di utilizzare biomasse lignocellulosiche ad elevato contenuto acquoso (>55% in peso sul tale quale), caratterizzazione dei syngas prodotti e comparazione con i risultati ottenuti con i modelli matematici.

Sviluppo di sistemi per la depurazione dei fumi da impianti di combustione di biomasse solide

- miglioramento della combustione della biomassa solida in impianti di taglia medio-piccola, con controllo integrato del processo e analisi dei dati di esercizio;
- sviluppo componenti per la depurazione dei fumi, con attenzione specifica verso i sistemi che utilizzano dispositivi catalitici a base ceramica in modo da consentire l'eliminazione del particolato stesso ed anche di altri componenti gassosi quali idrocarburi policiclici aromatici (IPA) ed i composti organici volatili (COV) mediante l'inserimento di opportuni gruppi metallici ad azione catalitica sulla superficie del supporto poroso;
- valutazione tecnico-economiche dei sistemi individuati, in riferimento alle diverse tipologie, utilizzi e configurazioni impiantistiche, come ad esempio caldaie per uso termico, impianti di teleriscaldamento, cogeneratori, ecc.

Nelle precedenti annualità dell'Accordo di Programma, le attività hanno riguardato la sperimentazione per la ottimizzazione dei processi di digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti urbani e dei reflui zootecnici ed hanno portato, a livello di laboratorio, a rese del 75 % di metano e a contenuti di zolfo nel biogas prodotto nell'ordine di 50 ppm. I risultati ottenuti sono stati validati successivamente sia con processi di digestione anaerobica in batterie di reattori batch sia in configurazione semicontinua scala banco e sono stati poi utilizzati per progettare e realizzare un impianto pilota di taglia significativa (5 m³ circa di volume totale), con il quale verranno sperimentati processi di digestione anaerobica innovativi. In parallelo, è stato ampliato lo studio in laboratorio dei rifiuti e biomasse da sottoporre a digestione.

Per quanto concerne il clean up, sulla base di un'approfondita analisi dello stato dell'arte, sono stati individuati i processi di adsorbimento e di rimozione mediante ossidazione selettiva dell'H₂S più promettenti e su di essi sono state condotte campagne sperimentali di valutazione delle prestazioni in termini di capacità ed efficienza di abbattimento, tempi di saturazione, modalità e tempi di rigenerazione. E' stato progettato e realizzato un prototipo da laboratorio, che verrà utilizzato per un'ulteriore messa a punto del processo e sarà poi accoppiato con l'impianto pilota di digestione.

Per la separazione della CO₂ dal biogas è stata avviata un'analisi dei sistemi a membrana, esplorando, da un lato, la possibilità di sviluppare membrane ceramiche e realizzando, dall'altro, un impianto sperimentale per prova e caratterizzazione di membrane polimeriche, sia commerciali che sviluppate ad hoc.

È stata progettata e realizzata una linea pilota per la produzione di matrici per celle a carbonati fusi con tecnologie di formatura utilizzate nel campo delle materie plastiche, come alternativa più economica e a minore impatto ambientale della colatura su *nastro*, ed è stata verificata la scalabilità del processo. E' stata inoltre valutata la possibilità di impiegare processi di formatura analoghi per la produzione degli elettrodi.

Sono stati studiati i meccanismi di avvelenamento delle celle da parte dei composti solforati contenuti nel biogas e individuate possibili soluzioni per affrontare il problema. E' infine in fase di completamento il collegamento di uno stack di celle da 125 kW ad un gassificatore di biomasse.

E' stato messo a punto un software per l'analisi dei sistemi di generazione/cogenerazione che, utilizzando i dati dell'Atlante delle Biomasse, consentirà di individuare le soluzioni più convenienti da utilizzare per la valorizzazione energetica delle biomasse e dei rifiuti disponibili nelle diverse aree geografiche

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Nell'ambito del Progetto 2.1.2 "Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti" esistono attività condotte sia presso il CNR che presso RSE. In particolare due sono le tematiche che hanno più punti in comune:

- a) uso delle celle a combustibile per la valorizzazione energetica del biogas da DA e del syngas da gassificazione (ENEA, RSE e CNR);
- b) analisi tecnico-economiche dei sistemi relativi alla catena "Waste to Energy" (RSE, ENEA, CNR solo marginalmente).

Per quanto concerne le attività inerenti alle celle a combustibile, come già approfondito nel gruppo di lavoro ad hoc del coordinamento formalizzato dal Ministero nel corso del 2010, non ci sono sostanziali sovrapposizioni tra le attività rispettivamente di RSE, ENEA e CNR, anzi è stata evidenziata la possibilità di collaborare per stabilire delle procedure di prova comuni in maniera tale da rendere immediatamente confrontabili i dati sperimentali prodotti da ciascun ente. Il lavoro di omogeneizzazione delle procedure, già in atto, è stato facilitato dalla circostanza che i tre enti avevano già di fatto applicato nella maggior parte dei casi le procedure standard prodotte da un progetto europeo denominato "FCATESQA" di cui l'ENEA è stato il coordinatore e RSE è stato uno dei partner. E' in corso la definizione di procedure comuni da applicare per gli studi sull'avvelenamento da inquinanti, principalmente composti dello zolfo.

Per quanto riguarda il punto b) è emerso che ENEA ed RSE sono gli enti che hanno più attività in comune, mentre poco hanno in comune con il CNR, che è principalmente concentrato sulla produzione di biocarburanti da rifiuti/biomasse (alcool etilico/metanolo).

In particolare ENEA ed RSE lavorano entrambi sulla digestione anaerobica dei rifiuti fermentescibili. Le attività sono sicuramente complementari e non sovrapposte. L'ENEA ha concentrato i suoi sforzi sull'ottimizzazione dell'intero processo di digestione anaerobica studiando in dettaglio le varie fasi a partire dalle matrici, dalla loro combinazione ottimale (processi di co-digestione) studiando e variando i parametri di processo (temperatura, tempi di ritenzione, acidità), analizzando le problematiche poste dal digestato e quelle poste dalla presenza degli inquinanti con l'obiettivo di arrivare a processi di digestione anaerobica a più alta resa di metano e a bassissimo tenore di inquinanti nel biogas in uscita dal digestore (qualche decina di ppm), mentre RSE ha centrato la sua attività principalmente sulla ricerca di sistemi di rimozione di H₂S, anche attraverso sistemi biologici esterni al reattore di DA.

Le attività di studio, di messa a punto e di ottimizzazione dei processi condotte in ENEA hanno come punto di arrivo la realizzazione di un sistema sperimentale integrato di piccola taglia (qualche m³ di volume del reattore di digestione anaerobica) mentre RSE opera su un digestore esistente, accoppiato a altre tecnologie di cella (celle a membrana polimerica ad alta temperatura, HTPEM).

Un'altra attività comune è quella relativa agli inquinanti, anche qui non c'è sovrapposizione né nella parte a monte, cioè il clean up, né nella parte a valle, cioè l'impatto sulle celle.

Infatti ENEA ha affrontato il problema degli inquinanti a tre differenti livelli, per convergere in maniera sinergica verso un impianto che potrebbe vedere un clean up estremamente semplificato o, nel caso più ottimistico, completamente assente. L'ENEA agisce a livello di:

- DA, sia per impedire la formazione di inquinanti gassosi (inibizione dei batteri solfatigeni, aggiunta di solfato riduttori) sia per abbattere biologicamente gli inquinanti gassosi prima che il biogas lasci il DA;
- clean up, selezionando nuovi processi e/o nuovi materiali per renderlo più efficace ed energeticamente/economicamente sostenibile.

RSE è più focalizzato su abbinamento biogas-celle a combustibile (celle a carbonati fusi e celle a membrana polimerica ad alta temperatura) per lo studio dell'impatto degli inquinati e per l'individuazione dei meccanismi di avvelenamento.

ENEA ha anche un'attività che riguarda la rimozione della CO₂ dal biogas (fuel upgrading) con l'intento di ottenere biometano da immettere in rete. In tale ambito non ci sono sovrapposizioni in quanto RSE è interessato, in relazione allo studio del processo di reforming del biogas, alle sole problematiche inerenti l'avvelenamento da zolfo o da altri gas acidi, mentre ENEA è più interessato all'impatto della concentrazione di CO₂ nel biogas.

Infine, sempre in relazione al punto b) ENEA e RSE hanno in comune lo studio delle potenzialità della catena "*Waste to Energy*", tuttavia non ci sono sovrapposizioni, ma solo possibili sinergie che sono già in atto e verranno ulteriormente approfondite nel prosieguo delle attività.

Come è noto l'ENEA ha realizzato nell'ambito della Ricerca di Sistema un Atlante delle Biomasse che è stato messo a disposizione del pubblico ed in particolare è stato utilizzato dalla stessa RSE per le sue analisi.

Oltre all'Atlante l'ENEA sta realizzando un approfondito studio riguardo il censimento del potenziale energetico nazionale delle biomasse e l'implementazione di una piattaforma software interattiva, operante in modalità GIS, da utilizzare come supporto alle decisioni per la scelta e localizzazione ottimale di impianti di produzione energetica da biomasse. L'attività in corso presso ENEA è volta a individuare tipologia e quantitativi annuali di biomassa disponibile nelle province italiane e a costituire un sistema informativo geografico (GIS), consultabile su web, che consenta di accedere a tavole e mappe tematiche su potenzialità e distribuzione delle biomasse.

Le attività RSE sono concentrate sostanzialmente sullo sviluppo di casi studio per l'ottimizzazione del concetto della "filiera corta" contestualizzandola in ambiti territoriali definiti e mettendola a confronto con altre possibili alternative legate anche queste alle peculiari condizioni del territorio prescelto (es. possibilità di fare teleriscaldamento, vicinanza di insediamenti industriali, ecc.).

L'attività di RSE non è, quindi, in sovrapposizione con quella ENEA, anzi sarà di grande utilità poterla inglobare nell'attività ENEA sia per dimostrare le potenzialità del software sviluppato sia per usare tali casi studio come "strumento didattico" per diffondere il software e quindi aumentare il numero dei possibili utilizzatori dello stesso.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

A. Ottimizzazione del processo di digestione anaerobica

Le attività riguarderanno l'intero processo di digestione anaerobica di diverse tipologie di biomasse e rifiuti, curando sia la fase di digestione vera e propria per aumentare la resa in metano e ridurre il contenuto di inquinanti che la fase di gestione del digestato. Le attività stesse verranno condotte sia attraverso studi in laboratorio che mediante la sperimentazione di un prototipo di taglia significativa.

A.1 Sperimentazione di processi di co-digestione in un impianto pilota

I risultati ottenuti dalle prove di laboratorio degli anni precedenti sono stati utilizzati per il dimensionamento preliminare, la progettazione e la realizzazione di un impianto pilota mobile di taglia significativa (5 m³ circa di volume totale del reattore), utilizzabile anche per eventuali prove in campo a supporto di impianti reali.

L'impianto pilota è in grado di alimentare in continuo una sezione di trattamento biogas (clean up e upgrading a biometano) ed un'eventuale successiva sezione per la sua valorizzazione energetica.

Nell'ambito del PAR 2011 sono previste le seguenti attività:

- Installazione, collaudo e avviamento dell'impianto pilota presso un'area sperimentale attrezzata ed avvio di una campagna preliminare di prove con un mix di alimentazione e condizioni operative predefinite, da individuare fra quelli già testati precedentemente a livello di laboratorio, allo scopo di verificare le eventuali differenze di risultati dovute al passaggio di scala;
- pianificazione e conduzione di una prima fase di campagne sperimentali mirate per valutare la produzione di biogas a partire da miscele innovative, previamente testate in laboratorio, e costituite prevalentemente da scarti e rifiuti agroindustriali (sanse, pollina ecc.) e/o colture dedicate provenienti da terreni marginali e/o degradati, con l'obiettivo di verificare la fattibilità tecnica ed economica di nuove filiere per la produzione di energia elettrica rinnovabile in ambito agricolo ed agroindustriale.

La produzione di biogas da parte dell'impianto pilota sarà costantemente monitorata per quel che riguarda i volumi e la composizione del gas. Ad intervalli periodici, saranno prelevati e analizzati campioni del residuo del processo di digestione anaerobica per valutare l'efficienza di trasformazione della sostanza organica in biogas. Alla fine di ciascuna campagna sperimentale, si procederà ad una valutazione approfondita delle proprietà del digestato ai fini di una eventuale valorizzazione agronomica.

A.2 Studi e sperimentazioni in laboratorio per il miglioramento dei processi di digestione e co-digestione di biomasse e rifiuti organici diversi

Le attività svolte in laboratorio saranno indirizzate, da un lato, a fornire il necessario supporto alle campagne sperimentali condotte sull'impianto prototipo, dall'altro ad esplorare soluzioni diverse in grado di migliorare la qualità del biogas prodotto e ad utilizzare una più ampia gamma di materiali di partenza.

In particolare:

- verrà approfondito lo studio del processo di co-digestione delle matrici utilizzate negli anni precedenti, con particolare riferimento alla possibile separazione delle fasi di idrolisi-acidogenesi e metanogenesi per aumentare la velocità e la resa energetica del processo. Parallelamente si procederà allo studio dei meccanismi di produzione dell'H₂S, al fine di individuare un mix di microrganismi specializzati per ridurre la presenza di composti solforati nel biogas;
- verrà studiata e sperimentata la riduzione dei composti solforati in uscita dal digestore tramite l'abbinamento del clean up convenzionale di tipo biologico sul biogas con l'abbattimento dello zolfo all'interno del digestore mediante l'aggiunta di agenti chimici nel substrato, che fanno precipitare lo zolfo in fase solida senza influenzare i processi fermentativi;
- verranno proseguite le attività su altre possibili matrici per aumentare la conoscenza sui processi di co-digestione e, di conseguenza, la gamma di materiale organico (da rifiuti e/o da colture energetiche dedicate) da poter utilizzare nei processi di digestione anaerobica (deiezioni animali, glicerolo, rifiuti agro-alimentari, topinambur, FORSU, ecc.); in tale ambito, verranno anche valutate e confrontate diverse configurazioni del digestore (a singolo e a doppio stadio), al fine di individuare le soluzioni migliori in termini di efficienza e velocità del processo;
- verranno sperimentati i risultati dello studio, avviato l'anno precedente, sui processi di digestione anaerobica innovativi in grado di utilizzare anche biomasse lignocellulosiche, valutando la capacità di microrganismi di idrolizzare la lignina, anche a valle di eventuali pretrattamenti termici e/o meccanici.

Risultati/deliverable:

- Installazione e avvio della sperimentazione dell'impianto pilota di digestione anaerobica, con validazione del processo di co-digestione di miscele di deiezioni animali con frazioni organiche da rifiuti urbani messo a punto in precedenza in laboratorio
- Identificazione dei principali parametri di esercizio di nuovi processi fermentativi basati su miscele diverse da quella precedente
- Validazione in scala laboratorio dei processi di abbattimento dello zolfo all'interno del digestore anaerobico
- Identificazione di microrganismi in grado di idrolizzare la lignina

Principali collaborazioni: Università La Sapienza di Roma, Università di Viterbo

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Ottimizzazione di processi chimico-fisici di abbattimento degli inquinanti e di upgrading del biogas a biometano

B.1 Sperimentazione di un prototipo per il clean up del biogas a valle del digestore

Gli studi bibliografici e sperimentali condotti negli anni precedenti sui sistemi di clean up del biogas hanno portato alla realizzazione di un prototipo scala banco, di taglia adatta alla successiva integrazione nell'impianto pilota di digestione anaerobica (obiettivo A1). L'attività del PAR 2011 consisterà nella sperimentazione, attraverso l'utilizzo di tale prototipo, dei materiali e dei processi individuati come più promettenti in precedenza, caratterizzando ed ottimizzando i relativi parametri operativi di funzionamento mediante test sperimentali condotti con miscele simulanti una composizione tipica di biogas.

B.2 Studio dei processi di rimozione della CO₂ da biogas per upgrading a biometano

Sulla base dell'analisi bibliografica e della comparazione tecnica ed economica dei diversi sistemi per la separazione della CO₂ dal biogas (sia convenzionali che a membrana), effettuate nel corso dello scorso PAR, si individueranno una o più tecnologie promettenti per il raggiungimento delle specifiche richieste per l'immissione del gas in rete.

Per tali tecnologie si procederà ad un'analisi ed interpretazione dei dati disponibili (sia sperimentali che da letteratura) procedendo ad una loro comparazione che tenga conto anche della convenienza della loro applicabilità alle taglie degli impianti a biogas disponibili o realizzabili in Italia ed alle portate in gioco negli stessi.

B.3 Sviluppo e caratterizzazione di membrane ceramiche

Sulla base dei risultati ottenuti durante il primo anno di attività si procederà con lo sviluppo di membrane ceramiche per la separazione della CO₂ sia piane che tubolari, ottimizzando le informazioni preliminari derivanti dagli studi e dalle sperimentazioni condotte su questo tema. Verrà messo a punto il processo per la formatura tramite colatura su nastro (tape casting) o eventualmente estrusione e successivo trattamento CVD (Chemical Vapour Deposition) di supporti ceramici microporosi. Tali supporti verranno rivestiti con il film di membrana inorganica selettiva e sottoposti a test sperimentali per la valutazione delle performance. In parallelo si procederà a test su membrane ceramiche commerciali modificate.

B.4 Test di membrane polimeriche commerciali e sviluppo di membrane innovative

L'impianto sperimentale per la separazione della CO₂ e H₂S dal biogas mediante l'utilizzo di moduli commerciali a membrane polimeriche, realizzato durante l'anno precedente, verrà utilizzato per:

- testare membrane commerciali secondo la configurazione impiantistica ritenuta maggiormente performante sia in termini di purezza che di recupero in metano; i test sperimentali saranno condotti a partire da miscele di gas tecnici simulati con diversi tenori in metano, secondo le composizioni tipiche del biogas proveniente dalla fermentazione anaerobica di biomasse fermentescibili, e con gas prelevato da impianto pilota di gassificazione;

- valutare, con prove con miscele di biogas simulato contenente diversi tenori di H₂S e con biogas prelevato da impianto pilota, l'effetto della presenza di H₂S all'interno della miscela di biogas simulato al fine di ottenere biogas con tenore di CO₂ inferiore al 3% ed acido solfidrico con tenore inferiore a quello previsto dal codice rete gas.

In parallelo, ed utilizzando i primi risultati sperimentali ottenuti con membrane polimeriche commerciali e gas puri, l'attività sperimentale proseguirà introducendo materiali compositi innovativi, che verranno provati sia con miscele CO₂ e CH₄ sia con miscele simulanti un biogas, al fine di valutare anche l'effetto di contaminanti quali l'H₂S e di sottoprodotti come l'H₂O. Tali test, condotti su scala da laboratorio, saranno utili anche per individuare le condizioni operative ottimali sia per massimizzare l'efficienza di abbattimento che l'affidabilità nel tempo del sistema in esame.

B.5 Studio delle emissioni di inquinanti da impianti di combustione alimentati a biomasse solide

Sulla base dei risultati ottenuti dallo studio della normativa ambientale di settore e sullo stato dell'arte dei processi e delle tecnologie di rimozione degli inquinanti presenti nei fumi degli impianti termici a biomassa solida, saranno individuate le possibili configurazioni per realizzare un prototipo di dispositivo catalitico in grado di abbattere efficacemente il particolato fine emesso dai combustori/cogeneratori. Sarà, quindi, effettuata una sperimentazione per valutare la possibilità di rimuovere il particolato mediante un dispositivo catalitico a base ceramica, in grado di eliminare anche altri inquinanti quali idrocarburi policiclici aromatici (IPA) ed i composti organici volatili (COV).

Tale dispositivo sarà costituito da elementi ceramici o metallici microporosi che, opportunamente modificati con l'introduzione di un catalizzatore, permetteranno di realizzare un prototipo da testare nella stazione di prova ENEA. Tale elemento sarà realizzato da FN utilizzando tecniche di formatura (come ad esempio la colatura su nastro o la formatura in plastica) e di sinterizzazione che permettano di ottenere un supporto a porosità controllata di geometria e dimensioni volute. Il supporto sarà funzionalizzato con l'inserimento di differenti tipologie di metalli ad azione catalitica, reperiti in commercio e depositati sui supporti ceramici, caratterizzandoli al variare dei contenuti di particolato, IPA e COV. I test saranno svolti con bruciatori alimentati con biocombustibili solidi di diversa tipologia al fine di valutarne la funzionalità e l'efficienza sia in termini di combustione che di riduzione delle emissioni.

Parallelamente, verranno valutati possibili interventi ingegneristici in grado di migliorare il processo di combustione, anche mediante una migliore gestione operativa degli impianti.

Saranno effettuate caratterizzazioni di impianto mediante l'acquisizione online di temperatura, depressione tra ambiente e canna fumaria, pressione barometrica, umidità composizione dei fumi in uscita e perdite chimiche. Tali risultati saranno messi a sistema per l'identificazione della variabilità dei rendimenti con le diverse tipologie di biomasse, pezzature e grado di umidità.

Risultati/deliverable:

- Rapporto sulle prove sperimentali di clean up del biogas condotte su prototipo da banco, con individuazione delle migliori condizioni operative e selezione del processo che sarà integrato nell'impianto pilota di digestione anaerobica
- Rapporto sul confronto tecnico-economico delle diverse tecnologie di separazione della CO₂ dal biogas
- Messa a punto di un processo per la formatura di supporti ceramici microporosi e di una metodologia di rivestimento di tali supporti con un film di membrana inorganica selettiva
- Rapporto tecnico contenente i risultati delle prove sperimentali di un sistema a membrane polimeriche per l'up-grading del biogas, ottenuti con miscele di biogas simulato nei diversi range di composizione e per diversi tenori in H₂S
- Stato dell'arte sulle tecnologie di abbattimento del particolato su impianti di combustione biomasse.
- Test sperimentali di combustione condotte con l'impianto pilota al variare della qualità e delle condizioni iniziali della biomassa
- Prove di caratterizzazione di differenti tipologie di metalli ad azione catalitica depositati e messa a punto su supporti porosi inorganici al variare i contenuti di VOC e IPA

Principali collaborazioni: Università di Salerno, Università di Roma La Sapienza, Università della Calabria, Università di Bologna, FN

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C. Analisi di sistemi di generazione/cogenerazione basati su biomasse

L'analisi dei sistemi di generazione/cogenerazione di piccola taglia alimentati a biogas o syngas derivante da biomasse proseguirà con attività relative allo sviluppo ed utilizzo di modelli e software in grado di effettuare analisi costi benefici e di impatto ambientale ricavando i dati territoriali direttamente dall'Atlante delle Biomasse.

In particolare, a partire dalle informazioni derivanti da tale Atlante e dai modelli dei diversi sistemi di generazione a biogas/syngas messi a punto negli anni precedenti, sarà possibile effettuare analisi dettagliate (anche geo referenziate) in grado di dare un'idea delle potenzialità di un determinato territorio in termini di taglia, numero e tipologia di impianti, di economicità delle soluzioni proposte e di contributo all'abbattimento della CO₂ e al risparmio energetico.

Tale software, una volta validato, verrà messo a disposizione di operatori del settore, di amministratori pubblici e di investitori per effettuare analisi dettagliate territoriali.

Risultati/deliverable:

- Software validato e messo sul sito ENEA a disposizione degli utenti

Principali collaborazioni: Università di Napoli

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Sviluppo di processi di gassificazione innovativi

D.1 Sviluppo di processi ad elevata efficienza per la valorizzazione energetica di biomasse mediante gassificazione con acqua in condizioni supercritiche

Nell'ambito di questo obiettivo sarà valutata la potenzialità del processo di gassificazione delle biomasse tal quali, con acqua in condizioni supercritiche. La presenza dell'acqua, anche se in forma supercritica, promuove le reazioni di idrolisi e questo agevola la possibilità di attaccare le strutture polimeriche della biomassa (es. lignina) riducendo il tutto ad oligomeri più semplicemente processabili.

L'attività sarà condotta mediante simulazioni numeriche con modelli matematici predittivi del processo in condizioni di equilibrio termodinamico, seguite dalla sperimentazione in reattore semi-batch utilizzando sistemi modello costituiti da glucosio e/o cellulosa. Sarà oggetto d'indagine sperimentale l'influenza della presenza di acqua in condizioni supercritiche nei confronti della formazione dei composti organici (tars) contenuti nel syngas per il processo di gassificazione e dell'influenza della reazione di CO-shift nelle condizioni operative d'indagine.

Le fasi dell'attività saranno quindi:

- lo sviluppo di un modello matematico predittivo delle condizioni di equilibrio termodinamico al variare delle condizioni operative, a partire da sistemi modello costituite da glucosio e cellulosa;
- la sperimentazione su impianto pilota utilizzando matrici semplici (glucosio e cellulosa) e composte (biomasse lignocellulosiche) e fitting dei dati sperimentali con i risultati del modello matematico.

D.2 Produzione di gas naturale sintetico SNG mediante processo di gassificazione di biomasse con tecnologia a doppio letto fluido ricircolante

Scopo della presente attività è quello di valutare la possibilità di produrre gas naturale sintetico mediante tecnologia di gassificazione delle biomasse a doppio letto fluido ricircolante. Tale tecnologia impiantistica consente di ottenere un syngas ad elevato potere calorifico e basso tenore in azoto e con discreto contenuto in metano, che si intende aumentare ottimizzando i parametri di funzionamento (temperatura,

rapporto ossigeno/vapore, catalizzatori interni ecc.). Implementando il processo con una sezione di metanazione e successivo upgrading è possibile ottenere un gas con un indice di Wobbe idoneo all'immissione nella rete di distribuzione.

Sulla base delle esperienze sperimentali in ambito gassificazione delle biomasse e delle problematiche connesse al cleaning del syngas sarà realizzato un reattore di metanazione in scala laboratorio valutando l'influenza di diversi catalizzatori; in particolare saranno presi in considerazione gli stessi catalizzatori testati durante l'attività sperimentale di gassificazione delle biomasse mediante tecnologia a doppio letto fluido ricircolante, al fine di mettere a punto un processo integrato per la produzione di gas naturale sintetico basato sulla regolazione delle temperature di processo nelle differenti sezioni d'impianto.

L'attività passa attraverso le seguenti fasi:

- dimensionamento e realizzazione di un reattore bench scale per la metanazione del syngas per test di upgrading a letto fisso e letto fluido accoppiabile all'impianto di gassificazione a letto fluido a ricircolazione interna;
- prove sperimentali di metanazione del syngas con i differenti catalizzatori utilizzati per il processo di gassificazione delle biomasse.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sullo stato dell'arte industriale della gassificazione con acqua in condizioni supercritiche e potenzialità di applicazioni per il territorio nazionale, con individuazione delle principali materie convertibili
- Rapporto tecnico contenente i risultati delle prove sperimentali a differenti matrici ed analisi dei dati con il modello matematico predittivo proposto
- Rapporto sullo stato dell'arte industriale della gassificazione con acqua in condizioni supercritiche e potenzialità di applicazioni per il territorio nazionale, con individuazione delle principali materie convertibili
- Rapporto tecnico contenente i risultati delle prove sperimentali a differenti matrici ed analisi dei dati con il modello matematico predittivo proposto
- Test sperimentali in bench scale per la metanazione del syngas simulato (e/o reale) per differenti catalizzatori al variare della fluidodinamica di processo

Principali collaborazioni: Università della Calabria

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

E. Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali

ENEA svolgerà azioni di supporto tecnico-scientifico ai Ministeri, sia per la definizione di un quadro nazionale di riferimento nel settore che per la partecipazione alle collaborazioni internazionali che coinvolgono i Ministeri stessi. Proseguiranno inoltre le attività connesse con la presenza dell'ENEA sulle tematiche del presente progetto, nella European Energy Research Alliance (EERA) e nell'ambito degli Implementing Agreement dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) su "Bioenergy", "Advanced Fuel Cells" e "Hydrogen".

Risultati/deliverable:

- Partecipazione a riunioni e gruppi di lavoro nell'ambito EERA; partecipazione agli Implementing Agreement IEA, con scambio di informazioni sui programmi internazionali nel settore e studi e analisi su temi di comune interesse.

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

I risultati delle attività svolte nell'ambito del progetto 2.1.2 "Studi sulla Produzione Elettrica Locale da Biomasse e Scarti" saranno diffusi a diverse tipologie di utilizzatori ed in vari modi:

- alla comunità scientifica tramite pubblicazioni su riviste scientifiche (4-5 articoli) e partecipazioni a convegni nazionali ed internazionali (almeno 4-5); questo canale consentirà di mettersi a confronto con altri esperti del settore e di tenersi aggiornati sugli sviluppi più recenti;
- ai Ministeri competenti e all'industria nazionale tramite i documenti ufficiali prodotti e diffusi tramite il sito web ENEA;
- alle pubbliche amministrazioni e gli industriali del settore tramite comunicazioni dirette a sensibilizzarli sulla tematica e a promuovere l'uso dell'Atlante delle biomasse e dei supporti elettronici sviluppati a sostegno delle decisioni (portale AIDA per analisi tecnico economiche di catene "Waste to Energy").

E' stato definito, in collaborazione con CNR e RSE, un evento specificatamente dedicato alle attività svolte dai tre enti nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico.

Si valuterà inoltre la possibilità di produrre specifici strumenti di comunicazione (brochure e rapporti tecnici sintetici), video ed, eventualmente, di sostenere la realizzazione di workshop e/o corsi per gli addetti ai lavori del settore specifico per una promozione diretta dei risultati ottenuti.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

La valorizzazione energetica di biomasse, rifiuti e scarti di diversa origine può dare un contributo importante sia alla soluzione di problemi di tipo ambientale che ad una maggiore sostenibilità del sistema energetico nazionale (diversificazione delle fonti, con maggiore utilizzo di rinnovabili, e riduzione delle emissioni di CO₂). Le attività proposte hanno la finalità generale di promuovere lo sviluppo di conoscenze, tecnologie e sistemi che consentano di cogliere al meglio tale opportunità, sia attraverso lo sviluppo di sistemi di conversione per la generazione/cogenerazione distribuiti che mediante la produzione di biogas adatto ad essere immesso nella rete di distribuzione.

Progetto 2.1.2 "Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti"
Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Ottimizzazione del processo di digestione anaerobica	Set 2012	2715	190	15	40	0	65	310
B	Ottimizzazione di processi chimico-fisici di abbattimento degli inquinanti e di upgrading del biogas a biometano	Set 2012	2715	190	24	50	150	100	514
C	Analisi dei sistemi	Set 2012	900	63	0	5	0	50	118
D	Sviluppo di processi di gassificazione innovativi	Set 2012	2715	190	25	20	0	45	280
E	Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali	Set 2012	900	63	0	15	0	0	78
TOTALE			9945	696	64	130	150	260	1300

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 150 K€ per attività della partecipata FN)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
Tematica di Ricerca	SVILUPPO E DIFFUSIONE DELL'USO DELLE FONTI RINNOVABILI: ENERGIA ELETTRICA DA FOTOVOLTAICO
Progetto 2.1.4	RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Ricerca su celle fotovoltaiche innovative

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

L'approvvigionamento di energia rappresenta un fattore chiave per sostenere lo sviluppo economico e sociale dell'economia e, di conseguenza, il benessere della popolazione. In quest'ottica le fonti di energia rinnovabili, e tra queste il fotovoltaico (FV), possono fornire un contributo sostanziale. In Italia si è osservata una forte crescita della filiera fotovoltaica, favorita sia dal quadro normativo, che incentiva le installazioni di nuovi impianti FV, che dalla presa di coscienza da parte della pubblica opinione del potenziale che l'energia solare rappresenta per la produzione di elettricità. Per sostenere lo sviluppo della tecnologia fotovoltaica è necessario portare avanti un'intensa attività di ricerca in questo settore che possa promuovere lo sviluppo di tecnologie innovative in grado di generare vantaggi nel lungo termine per gli utenti del sistema elettrico nazionale. L'attività che si propone, pertanto, punta ad innovare alcune delle attuali tecnologie fotovoltaiche per ottenere dei prodotti che abbiano caratteristiche competitive in termini di prestazioni e costi. Negli ultimi anni i costi degli impianti fotovoltaici si sono ridotti grazie all'incremento della produzione e alla riduzione del costo di fabbricazione dei moduli. Tuttavia l'abbassamento dei costi di fabbricazione dei moduli fotovoltaici a valori inferiori a 0,5 €/Wp potrà favorire l'affermarsi di questa tecnologia a prescindere dai sistemi incentivanti adottati. Il fotovoltaico potrà, così, contribuire in misura sostanziale alla quota di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, secondo quanto previsto dal Quarto Conto Energia, elaborato dal Ministero dello Sviluppo Economico, che punta all'obiettivo indicativo di potenza installata su scala nazionale di 23 GWp per il 2016.

Le tecnologie fotovoltaiche basate su film sottili di materiale semiconduttore presentano grandi potenzialità di riduzione di costo. Tale obiettivo potrà essere dimostrato nel breve-medio termine attraverso il miglioramento delle prestazioni degli attuali moduli a film sottile, mentre per applicazioni speciali, che non richiedano garanzia di funzionamento a lungo termine, si ritiene utile investigare anche soluzioni basate su celle organiche.

I moduli a film sottile di silicio hanno acquistato un rilievo crescente grazie ad una nuova generazione di dispositivi, le cosiddette celle solari "micromorfe", ottenute utilizzando silicio amorfo e microcristallino. La riduzione del costo di fabbricazione di tali moduli richiede lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche per aumentare la loro efficienza di conversione e ridurre i tempi di produzione. Questi avanzamenti si possono ottenere migliorando l'intrappolamento della radiazione solare all'interno del dispositivo e sviluppando materiali con coefficienti di assorbimento della luce solare più elevati. Entrambi questi accorgimenti consentirebbero di aumentare l'efficienza di conversione e, dal punto di vista industriale, avrebbero il vantaggio di ridurre i tempi di produzione potendo utilizzare dispositivi con spessori ridotti. In una prospettiva di lungo termine si ritiene, inoltre, interessante esplorare la possibilità di impiegare materiali assorbitori nanostrutturati.

I moduli basati sui film sottili policristallini di CIS e CdTe, invece, hanno problemi connessi con l'utilizzo di materiali scarsamente disponibili con la conseguente esigenza di sostituirli. Nel caso del CIS, in particolare, è da sperimentare la possibilità di sostituire l'indio con coppie di elementi dei gruppi II e IV della tavola periodica, conservando alti valori di efficienza del dispositivo. Inoltre, visto che la famiglia dei composti $Cu_2-II-IV-VI_4$ presenta un intervallo di variabilità delle gap molto ampio, l'attività di ricerca potrà, in una fase successiva, essere rivolta allo sviluppo di celle a multigiunzione a basso costo ed alta efficienza. Le difficoltà

di ottimizzazione per le celle policristalline con gap maggiori di 1,5 eV rendono questa ricerca ad alto rischio ma i possibili grandi vantaggi e l'alto tasso di innovazione giustificano un impegno in questo settore.

Lo sviluppo di celle organiche è la strada da perseguire per arrivare a dispositivi di bassissimo costo, considerata l'economicità e abbondanza dei materiali precursori. La leggerezza e la flessibilità del componente fotovoltaico finale rendono tale tecnologia appetibile per prodotti speciali quali caricabatterie, alimentatori portatili per applicazioni militari, etc.. Di contro è necessario affrontare e superare le difficoltà concernenti la definizione di materiali che possano garantire un'adeguata efficienza di conversione stabile nel tempo. Le attività proposte su tale tema punteranno a migliorare le attuali prestazioni dei dispositivi, utilizzando nuovi materiali polimerici. Saranno inoltre investigate tecnologie di stampa per la deposizione dello strato attivo al fine di valutare le potenzialità di questa tecnologia innovativa che presenta il vantaggio di ridurre i costi di processo.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il settore dei film sottili ha mostrato un'espansione rilevante negli ultimi anni. La capacità produttiva di moduli a film sottile è stata di circa il 20% nel 2009 e si prevede un ulteriore incremento al 25% per il 2013. L'espansione del mercato dei film sottili è in parte dovuta al successo globale del fotovoltaico, ma è sostenuta anche dalle grandi potenzialità di riduzione di costo della tecnologia associata (fino a valori inferiori a 0,5 €/Wp). Nella fabbricazione di moduli a film sottili vengono impiegati, infatti, substrati a basso costo (vetro, metallo, plastica) insieme a piccolissimi spessori (qualche μm) di materiale semiconduttore. I moduli, di dimensioni fino ad oltre 5 m², sono ottenuti direttamente al termine di un processo in linea a bassa intensità energetica, e non tramite processamento di wafer ad alta temperatura e successivo assemblaggio, come accade invece nel caso del silicio mono e multi-cristallino. Inoltre, i moduli a film sottile sono particolarmente adatti alle applicazioni in edilizia, in quanto è possibile realizzare elementi fotovoltaici esteticamente attraenti e con elevata adattabilità di forma, dimensione e trasparenza, permettendo all'utenza la possibilità di installare sistemi di produzione di energia elettrica con buona efficienza e costo competitivo. 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.

Le tecnologie fotovoltaiche basate su materiali organici stanno ricevendo un notevole sviluppo negli ultimi anni grazie al miglioramento delle efficienze e alla stabilità dei dispositivi. Attualmente alcune aziende (Konarka, Solarmer) iniziano a commercializzare moduli fotovoltaici polimerici e prodotti basati su di essi con capacità produttive che possono raggiungere il gigawatt/anno.

Al miglioramento e agli ulteriori sviluppi delle tecnologie FV innovative sono dedicate risorse ingenti nei maggiori paesi industrializzati con risultati molto incoraggianti. La loro piena maturazione richiede però ancora un notevole sforzo di ricerca e sviluppo, per raggiungere sia prestazioni che costi competitivi con le tecnologie tradizionali. In Italia, l'incentivazione in conto energia ha stimolato l'interesse di molteplici operatori e tutta una serie di nuove iniziative imprenditoriali nel settore fotovoltaico sono state annunciate e hanno raggiunto diversi livelli di avanzamento, quasi tutte nel campo della tradizionale tecnologia del silicio cristallino. Nel campo dei film sottili si registra un consistente ritardo nell'applicazione e diffusione della tecnologia. Da qui l'esigenza di dare una forte spinta alla ricerca in questo settore in modo da aumentare le conoscenze a disposizione della comunità scientifica e imprenditoriale.

L'ENEA ha una vasta esperienza nella ricerca su materiali e dispositivi fotovoltaici. In particolare da diversi anni vengono condotte ricerche sui film sottili con studi volti al miglioramento delle prestazioni dei dispositivi, nonché all'individuazione di regimi di deposizione favorevoli per l'applicazione industriale, mentre, più recentemente, è stata avviata un'attività sulle celle solari organiche.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Le principali tematiche di ricerca nel settore dei film sottili riguardano lo sviluppo di strati trasparenti e conduttivi alternativi a quelli disponibili in commercio e lo sviluppo di processi facilmente scalabili su larga

area che mirino in varie direzioni al miglioramento di efficienza e stabilità dei dispositivi.

Nel campo dei film sottili di silicio, la giunzione tandem “micromorfa”, che utilizza silicio amorfo e microcristallino, è ritenuta una tra le strutture più promettenti. La struttura micromorfa presenta, infatti, i vantaggi di una multigiunzione in termini di stabilità e di utilizzo dello spettro solare e al contempo una complessità non troppo elevata che la rendono di grande interesse per l'industria. Secondo calcoli teorici tali celle possono raggiungere efficienze massime intorno a 35%, molto più elevate di quelle dei prodotti attualmente commerciali, ma molto distanti anche da quelle ottenute in laboratorio. Nei laboratori della Oerlikon Solar nel corso del 2010 è stata ottenuta una cella micromorfa su piccola area (1 cm^2) con un'efficienza stabilizzata record di 11,9%. Si può, dunque, affermare che, sebbene rilevanti progressi sono stati registrati negli ultimi anni, le prestazioni dei dispositivi rimangono inferiori ai valori necessari per avvicinarsi alla cosiddetta “grid parity” (costo dell'elettricità prodotta da fotovoltaico a film sottile confrontabile col costo dell'elettricità da rete). Bisogna quindi studiare soluzioni tecnologiche che mirino a migliorare le efficienze dei dispositivi e che risultino al contempo economicamente vantaggiose. La ricerca deve allora puntare a valutare strati assorbitori alternativi capaci di assorbire più efficacemente la radiazione solare e al miglioramento dell'intrappolamento della radiazione all'interno del dispositivo. L'obiettivo indicato in contesti internazionali è quello di definire per la celle micromorfe una roadmap che valuti le potenzialità per raggiungere efficienze del 15%. Ciò dovrebbe portare a una nuova generazione di moduli micromorfi con efficienze del 12% (rispetto agli attuali 8-9.5 % in produzione e 10% nelle linee pilota).

Un altro approccio alla realizzazione di celle solari a film sottile è basato sulla tecnologia a film sottili in silicio cristallino (cSiTF) cresciuti epitassialmente in fornaci ad alta temperatura e sfruttando inizialmente wafer sacrificali di silicio cristallino di bassa qualità. I dispositivi realizzati sono ad oggi basati su varie architetture, dove lo strato in c-Si si presenta in spessori dell'ordine di 20-50 μm . Il completamento della cella fotovoltaica si basa generalmente su processi tipici delle tecnologie utilizzate per dispositivi fotovoltaici commerciali in c-Si e si riescono ad ottenere efficienze superiori al 16% con celle di area di decine di cm^2 , come ad esempio nei laboratori europei dell'ISE (Germania) e dell'IMEC (Belgio). Parallelamente sono in corso ricerche per la realizzazione di strati in c-Si di spessore di qualche micron mediante tecnologie a costo più contenuto rispetto alla crescita epitassiale, come ad esempio quella basata sul processo ESS (Empty Space in Silicon), sviluppato dai ricercatori della Toshiba, per la quale recentemente l'istituto IMEC ha condotto uno studio di fattibilità realizzando un dispositivo iniziale di efficienza di circa il 4% e con spessore del c-Si di 1 μm .

La tecnologia a film sottile che ha raggiunto i migliori risultati in termini di efficienza di conversione è basata su leghe CIGS (Copper Indium-Gallium Selenide). Celle di composizione $\text{CuIn}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ con $x=0,3$ e area di circa 1 cm^2 hanno raggiunto una efficienza record del 20,1% mentre i moduli commerciali hanno efficienze tipiche intorno al 12%. Nei prossimi anni questi moduli raggiungeranno costi nettamente inferiori ad 1 $\$/\text{W}$ ed efficienza $>14\%$, ma l'intera produzione mondiale di Indio potrebbe dare un massimo di 10 GW/anno di moduli FV in CIGS. Sono perciò partite diverse ricerche volte al superamento del problema della scarsa disponibilità di indio con lo sviluppo di materiali simili al CIS in cui l'indio è sostituito da una coppia di metalli II-IV. Le attività sono ancora ad uno stato preliminare con vari materiali e approcci allo studio. Usando zinco e stagno si può ottenere un materiale ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$) con la struttura cristallografica della Kesterite che ha dato per ora un'efficienza massima pari al 6,77%. Usando un materiale con una gap minore ottenuto sostituendo parte dello zolfo con il selenio [$\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$ con $S/(S+Se)=0,4$] la IBM è riuscita molto recentemente ad arrivare ad una efficienza del 9,66%. La tecnica di deposizione è però ancora poco adatta alla produzione industriale (si usano soluzioni contenenti idrazina).

Nel campo delle celle fotovoltaiche organiche polimeriche il valore di efficienza più alto è stato raggiunto dalla Konarka (8,3%, certificato da NREL). Questo risultato è stato ottenuto su un dispositivo con un'area intorno ad 1 cm^2 ed utilizzando materiali brevettati dalla Konarka stessa. Tale valore migliora notevolmente il record registrato l'anno precedente (5,15%). Anche altre aziende operanti nel settore hanno ottenuto risultati superiori all'8% ma utilizzando sempre materiali brevettati e non disponibili commercialmente, il che ostacola uno sviluppo rapido di questa tecnologia. Fino a poco tempo fa, il miglior polimero semiconduttore da utilizzare in celle polimeriche era il P3HT con il quale si ottenevano dispositivi con efficienze del 5%. Di recente sono apparsi in commercio polimeri semiconduttori che consentono di ottenere efficienze del 6-7% (come riportato in articoli da letteratura). I dispositivi attuali mostrano una

buona stabilità termica ($T < 150^{\circ}\text{C}$) ma risultano ancora sensibili all'aria e all'umidità, pertanto vengono preparati ed incapsulati in atmosfera controllata. I dati riportati in letteratura circa le efficienze di conversione e le stabilità di questi dispositivi e i miglioramenti che si stanno ottenendo negli ultimi anni, rendono questa tecnologia promettente per possibili applicazioni in settori particolari del mercato (elettronica di consumo).

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 perfezionamento delle celle solari a film sottile di II generazione (a base di silicio e CIS) per una applicazione industriale nel breve-medio termine;
- lo sviluppo di nuovi materiali per celle solari innovative a base di quantum dot di silicio e polimeri.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

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

Fotovoltaico avanzato a base di film sottili di silicio

- ottimizzazione dell'assorbimento della radiazione solare mediante l'utilizzo di nuovi materiali e nuove architetture allo scopo di ridurre gli spessori di materiale attivo nelle celle solari;
- sviluppo di strati assorbitori alternativi basati su concetti emergenti ed innovativi per utilizzo nelle celle tandem;
- sviluppo di moduli prototipali su substrati di vetro con elettrodo frontale a base di ZnO, ed efficienza non inferiore al 10%;
- sviluppo di celle a film sottile di silicio cristallino.

Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici o ibridi

- messa a punto di tecnologie e processi per la realizzazione di celle a base polimerica con efficienze non inferiori al 6%;
- definizione di una roadmap per le celle polimeriche che valuti le potenzialità di tale tecnologia sulla base dei risultati conseguiti.

Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI

- sviluppo di film sottili di un materiale policristallino $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$ con le migliori proprietà optoelettroniche per la costruzione di celle fotovoltaiche;
- sviluppo di un processo completo per la realizzazione di un dispositivo fotovoltaico a base del materiale policristallino $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$ selezionato, con efficienza non inferiore al 5% su piccola area.

Le attività sullo sviluppo di celle di silicio tandem micromorfe, costituite cioè da due giunzioni p-i-n poste in serie, con una cella anteriore di silicio amorfo e una posteriore di silicio microcristallino, sono attualmente in corso. Sono stati sviluppati film di ossido di silicio di tipo n, da impiegare come materiali drogati alternativi per i dispositivi. Questi strati, che in precedenza erano stati adottati con successo nelle singole giunzioni p-i-n amorfe, sono stati utilizzati anche nelle giunzioni tandem micromorfe. È stato dimostrato che i nuovi strati drogati consentono di ottenere delle buone correnti di corto circuito utilizzando un semplice strato di argento come contatto posteriore delle celle (generalmente viene utilizzato un doppio strato ZnO/Ag) e senza l'utilizzo di alcuno strato intermedio tra le due celle componenti. Con un processo di fabbricazione semplificato è stata ottenuta un'efficienza del dispositivo pari a 11,3%, con uno spessore totale degli strati assorbitori di circa $1,7 \mu\text{m}$. Parallelamente allo sviluppo della parte attiva del dispositivo, è continuato lo sviluppo di elettrodi frontali di ZnO caratterizzati da una superficie rugosa capace di un

efficace intrappolamento della radiazione solare. Grazie al lavoro svolto sull'ottimizzazione della morfologia superficiale, i dispositivi fabbricati sui substrati sviluppati in ENEA hanno mostrato nella regione infrarossa della radiazione una risposta spettrale migliore di quella ottenuta utilizzando substrati di tipo commerciale. In tal modo è stato possibile migliorare le prestazioni del dispositivo micromorfo ottenendo un'efficienza di 11,6%.

Per quanto riguarda lo sviluppo di strati assorbitori alternativi a quelli attuali, è stato adeguato il sistema di deposizione per poter crescere film sottili microcristallini di silicio germanio ($\mu\text{-SiGe:H}$) mediante tecnica Very High Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (VHF PECVD). Sono stati depositati e caratterizzati film di $\mu\text{-SiGe:H}$ a vario contenuto di germanio e si stanno effettuando i primi test di fabbricazione di dispositivi. Inoltre sono proseguite le attività sullo studio di materiali nanostrutturati da utilizzare come strati assorbitori innovativi. In particolare è stata eseguita un'approfondita caratterizzazione ottica di nanocristalli di silicio in matrice di nitruro di silicio.

Per quanto riguarda le apparecchiature, è stato acquistato e sarà installato nei prossimi mesi un banco ottico per la misura dei piccoli assorbimenti (Automated Dual-Lamp Photothermal Deflection Spectrometer della TESTCEL) che consentirà di eseguire una caratterizzazione ottica dei campioni su un ampio intervallo di energie.

Per quanto riguarda le attività sui film sottili policristallini, l'attività è stata incentrata sulla realizzazione di celle fotovoltaiche basate sul semiconduttore quaternario $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. Questo semiconduttore ha una struttura simile al CIS ma ha il vantaggio di non contenere l'indio che è un metallo raro e costoso. Sono state allestite, almeno nella loro prima versione, tutte le attrezzature sperimentali necessarie al progetto. È stato installato un sistema di sputtering da usare per la deposizione di film sottili di molibdeno e altri metalli, di ossidi trasparenti e conduttori e di solfuri metallici. È stato, inoltre, ripristinato un evaporatore a fascio elettronico per la preparazione di film precursori composti da tre layer (ZnS/Sn/Cu) ed è stato allestito un forno di solforizzazione a tubo aperto per l'annealing dei precursori in presenza di zolfo. Si è sviluppato un processo di deposizione di film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. La caratterizzazione ottica, elettrica, composizionale e strutturale dei film cresciuti mostra che i campioni ottimizzati non contengono quantità rilevanti di fasi spurie oltre a quella voluta. Sono stati inoltre messi a punto i processi di deposizione per sputtering dei contatti (molibdeno e ZnO drogato) e del buffer layer (inizialmente CdS per Chemical Bath Deposition). Sono state realizzate diverse celle solari e l'efficienza massima raggiunta è al momento del 2%.

Nel campo delle celle polimeriche, l'ENEA aveva allestito una linea sperimentale per realizzare dispositivi in atmosfera controllata. Utilizzando una miscela composta da un derivato del politiofene e un derivato del fullerene era stata ottenuta un'efficienza del 2,9%. Nel corso del secondo anno di attività si è ottimizzato il processo di fabbricazione dei dispositivi e ciò ha consentito di migliorare le prestazioni ottenendo un valore di efficienza pari a 4,1%. Inoltre è stata svolta un'attività sul contatto frontale della cella al fine di semplificare quello attualmente in uso costituito da un bilayer ITO/PEDOT:PSS. È stata sperimentata la possibilità di evitare l'utilizzo dell'ITO, materiale il cui costo incide pesantemente su quello del dispositivo, mediante la messa a punto di film altamente conduttivi di PEDOT:PSS. Utilizzando tale contatto frontale semplificato sono state fabbricate celle solari che hanno raggiunto un'efficienza di conversione massima del 2,5%.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Le attività nel settore del fotovoltaico innovativo sono condotte in coordinamento con RSE. In particolare ENEA si occupa del fotovoltaico a film sottile inorganico e organico, mentre l'attività RSE è principalmente incentrata sui processi realizzativi di celle a multigiunzione basate sugli elementi dei gruppi III e V per l'utilizzo nei sistemi a concentrazione.

Non ci sono attività in comune con il CNR.

A. Sviluppo e realizzazione di strati assorbitori e drogati innovativi per celle a film sottile di silicio micromorfe

Le celle tandem micromorfe sono realizzate utilizzando nella cella top uno strato assorbitore di silicio amorfo (a-Si:H) e nella cella bottom uno strato assorbitore di silicio microcristallino ($\mu\text{-Si:H}$). Gli spessori degli strati assorbitori tipicamente utilizzati sono di 200-300 nm per la cella top e 1500-3000 nm per quella bottom. La possibilità di ridurre lo spessore totale degli strati assorbitori della cella avrebbe il duplice vantaggio di limitare il problema del degrado del silicio amorfo con l'illuminazione e di ridurre i tempi di fabbricazione delle celle con conseguente calo dei costi di produzione. Ovviamente la riduzione degli spessori in gioco può determinare una non accettabile diminuzione della corrente ottenibile dal dispositivo. L'attività che si intende svolgere sarà, dunque, mirata a studiare l'andamento della risposta spettrale al variare dello spessore degli strati attivi. Ad esempio riducendo lo spessore della cella bottom ci si potrebbe aspettare un aumento della corrente generata dalla cella top per effetto dell'aumento di luce riflessa in tale componente. Al variare dello spessore degli strati assorbitori delle celle top e bottom saranno, quindi, determinate le efficienze iniziali e stabilizzare dei dispositivi micromorfi. L'idea è quella di stimare se la riduzione del degrado determinato dall'uso di strati più sottili, insieme alla possibilità di ottenere maggiori valori della tensione di circuito aperto e del fill factor possono compensare, almeno parzialmente, le perdite di corrente associate alla riduzione del cammino ottico.

Saranno, inoltre, ulteriormente ottimizzati film di ossido di silicio drogati n da utilizzare come strati riflettori nei dispositivi partendo dai risultati già conseguiti nella scorsa annualità. Uno studio approfondito della struttura di tali materiali potrà consentire di correlare le proprietà di tali film alle prestazioni misurate sui dispositivi fabbricati utilizzando tali strati n alternativi ai convenzionali film di silicio.

Un'altra strategia che concorre alla riduzione dello spessore della cella micromorfa è l'utilizzo di materiali assorbitori alternativi agli attuali. In questo ambito è stata avviata un'attività sullo sviluppo di film di silicio germanio microcristallino da utilizzare come materiale assorbitore nella cella bottom, in quanto tale materiale presenta un maggiore assorbimento nell'infrarosso rispetto al silicio microcristallino a parità di spessore. Saranno cresciuti film di silicio germanio a vario contenuto di germanio e in vari regimi di deposizione. Tali materiali saranno poi inseriti in dispositivi a singola giunzione p-i-n al fine di definire quale sia il contenuto di germanio che consenta di ottimizzare le efficienze delle celle. Il materiale ottimizzato potrà, infine, essere inserito come strato assorbitore bottom nelle celle tandem.

La possibilità di sostituire il silicio amorfo con materiali a base di quantum dot di silicio verrà indagata, partendo dai risultati ottenuti nella precedente annualità. L'idea è quella di fabbricare quantum dot di silicio immersi in una matrice dielettrica sufficientemente ravvicinati di modo che la sovrapposizione delle funzioni d'onda per gli stati permessi formi ampie mini-bande. Nella scorsa annualità sono state studiate le proprietà ottiche di nanostrutture di silicio in matrice di nitruro di silicio. La formazione di nanocristalli di silicio in tali materiali ha richiesto dei trattamenti termici ad alte temperature (1100 °C). Tali temperature rendono il materiale inappropriato per l'applicazione nelle attuali architetture di dispositivo. Pertanto sarà indagata la possibilità di ottenere nanocristalli di silicio direttamente durante il processo di deposizione utilizzando altre tipologie di matrice. Il nitruro di silicio, infatti, sembra rendere difficoltosa la crescita di fase ordinata, mentre la crescita di nanocristalli di silicio viene ottenuta in maniera più agevole quando si utilizza una matrice un ossido di silicio non stechiometrico, come già evidenziato studiando i film di ossido di silicio drogati n. L'obiettivo è quello di realizzare quantum dot in condizioni di elevato impacchettamento con gap energetiche intorno al valore di 1,7-1,8 eV, dimostrando in questo modo l'idoneità di questi materiali all'utilizzo come strati assorbitori in dispositivi fotovoltaici innovativi.

Infine sarà garantita la partecipazione italiana all'Implementing Agreement "Photovoltaic Power System" dell'International Energy Agency in cui è prevista la definizione di aspetti normativi relativi a sistemi fotovoltaici innovativi. Tale partecipazione contribuisce, quindi, alla finalità di rendere disponibili e pubblici i risultati degli studi condotti nell'ambito del fotovoltaico.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di processi di deposizione per la realizzazione di film nanostrutturati di silicio in matrici di varia tipologia (carburo/ossido di silicio)
- Studio delle proprietà dei film di silicio germanio microcristallino e valutazione dell'influenza di tali proprietà sulle prestazioni dei dispositivi realizzati utilizzando strati assorbitori in silicio germanio
- Realizzazione di celle e moduli tandem micromorfi con spessore totale degli strati assorbitori non superiore a 1 μm . Valutazione delle efficienze stabilizzate di tali dispositivi e confronto con le efficienze stabilizzate ottenute sui dispositivi con spessori standard

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Sviluppo di materiali e architetture di dispositivo per migliorare l'intrappolamento della radiazione solare all'interno del dispositivo a film sottile di silicio

La realizzazione di un opportuno intrappolamento della radiazione solare all'interno del dispositivo è uno degli aspetti di maggiore rilevanza nella ricerca condotta sui dispositivi a film sottile. La strategia standard per il confinamento ottico della luce che entra nel dispositivo è sempre stata quella di utilizzare un ossido trasparente e conduttivo (TCO) con una rugosità controllata. Lo ZnO prodotto per LP-CVD è, in qualità di elettrodo frontale, uno dei migliori candidati per la produzione industriale di dispositivi a film sottili ad alta efficienza. La tecnica LP-MOCVD permette di depositare ossidi trasparenti e conduttivi ad elevate velocità di deposizione (fino a 40 Angstrom/s), inoltre è facilmente scalabile sulla larga area ed è in grado di crescere materiali naturalmente microrugosi (testurizzati) e questa particolare superficie è in grado di assicurare il confinamento ottico della luce nel dispositivo.

Nell'ultimo anno sono stati sviluppati TCO "Full Haze" a base di ZnO prodotto mediante LP-CVD e con l'ausilio della tecnica del reactive ion etch (RIE) che consente di modificare e controllare la rugosità superficiale. Questo tipo di substrati ha mostrato elevate proprietà di scattering in tutto l'intervallo spettrale di interesse nella tecnologia delle celle "micromorfe". Con riferimento a questa attività strategica, ulteriore lavoro di sperimentazione va ancora condotto in termini di ottimizzazione del processo di induzione di crescite macrorugose, con l'esplorazione di ulteriori tecniche di nanotesturizzazione e di analisi ottica delle proprietà di scattering (allestimento e/o adeguamento di tecniche di misura e modellazione dello scattering).

L'attività, inoltre, prevede di migliorare l'uniformità di deposizione e la produttività dell'impianto LP-CVD per la deposizione di ZnO drogato con boro su area $30 \times 30 \text{ cm}^2$ presente nei nostri laboratori e realizzato su progetto ENEA. In un impianto LP-CVD l'ottenimento di un materiale TCO con proprietà "device quality" nasce dalla opportuna delimitazione e progettazione degli elementi fondamentali del reattore quali il diffusore dei reagenti gassosi ed il riscaldatore. Infatti, l'uniformità del trasporto di materia e l'uniformità di trasmissione del calore sul substrato, accoppiati ad un equilibrato svuotamento dei reagenti in camera, determinano la cinetica di crescita del film e quindi l'uniformità spaziale delle proprietà del materiale depositato. La nostra scelta innovativa di distribuire uniformemente su una doccia i reagenti gassosi con diffusore lineare (asse x) e movimentare il substrato sull'altro asse, è stata ipotizzata come la migliore soluzione per ottenere buona uniformità e, di conseguenza, per garantire sia la scalabilità del processo a dimensioni grandi di substrato sia la possibilità di produzione in linea. La sperimentazione finora condotta per la messa a punto del processo di deposizione dello ZnO ci ha consentito di valutare le opportune modifiche da apportare al diffusore dei reagenti gassosi e di stabilire secondo quali criteri andava riprogettato prendendo in particolare considerazione il numero di elementi di distribuzione gas, la loro geometria, la loro lunghezza e la sequenza di introduzione dei gas. L'obiettivo previsto, quindi, consiste nello sviluppo e realizzazione di nuovi diffusori per reagenti.

Nella precedente annualità sono stati inoltre sviluppati TCO a basso costo a base di ossido di zinco depositati con metodo sol-gel. Alla luce dei risultati ottenuti (elevatissima trasparenza e buona conducibilità elettrica dei film) si ritiene opportuno proseguire nell'analisi e miglioramento delle proprietà elettriche del materiale, analizzando l'effetto di differenti tipologie di drogante sulle proprietà di trasporto elettrico dell'ossido. Poiché la tecnica produce un materiale con superficie flat, vanno quindi messe a punto

metodiche di testurizzazione del substrato o del TCO stesso al fine di produrre un efficace intrappolamento della luce nelle celle solari. Le proprietà di scattering delle superfici verranno caratterizzate mediante misure di haze spettrale e rugosità. Sul TCO ottimizzato si realizzeranno dispositivi a film sottile di silicio.

Sarà studiata anche la possibilità di migliorare la raccolta di cariche elettriche agli elettrodi dei dispositivi sfruttando le risonanze plasmoniche superficiali in nanoparticelle metalliche, che sono di interesse per un gran numero di applicazioni per la capacità di amplificare localmente il campo elettromagnetico. Tali studi, iniziati nella precedente annualità, verranno continuati al fine di ottimizzarne il loro utilizzo nei dispositivi.

Si lavorerà inoltre alla progettazione di strati riflettori posteriori, costituiti da cristalli fotonici ibridi metallici e dielettrici in configurazione sia periodica che quasi periodica, finalizzati alla definizione di nuove architetture di dispositivo che massimizzino l'intrappolamento della radiazione solare nelle celle solari a film sottile.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di distributori di gas innovativi per impianto MOCVD. Rapporto tecnico comprensivo di valutazione dei miglioramenti in termini di uniformità di distribuzione del deposito ed analisi della produttività di impianto per trasferimento su linea di produzione
- Studio e realizzazione di ulteriori metodologie per la fabbricazione di ZnO:B "Full Haze". Analisi ottica e modellazione del light-scattering
- Fabbricazione di dispositivi tandem micromorfi realizzati su substrati di ZnO "Full Haze". Valutazione dell'impatto sulla riduzione di spessore degli strati attivi e sulla stabilità dei dispositivi
- Rapporto tecnico su TCO testurizzati prodotti con tecnica sol-gel. Realizzazione di dispositivi. Analisi comparativa con TCO prodotti con altre tecniche
- Rapporto tecnico sulle potenzialità di miglioramento delle prestazioni dei dispositivi grazie a nanostrutturazione dei substrati e/o effetti plasmonici
- Rapporto tecnico, comprensivo di valutazione dei benefici derivanti dall'utilizzo di riflettori innovativi e loro potenziale utilizzo nella fabbricazione dei dispositivi

Principali collaborazioni: Università di Genova (Dipartimento di Fisica), Università del Sannio, Università "Federico II" di Napoli

Durata: ottobre 2011- settembre 2012

C. Sviluppo di celle a film sottile di silicio cristallino

L'obiettivo dell'attività consiste nello sviluppo di celle solari a film sottile di silicio cristallino (cSiTF) fabbricate utilizzando wafer sacrificali di c-Si. Le celle con spessore di qualche decina di micron vengono cresciute su wafer di silicio da cui vengono poi staccate, in modo da poter utilizzare nuovamente lo stesso wafer, e trasferite su supporti di basso costo.

In una prima fase l'attività punta a sviluppare i vari step di processo che consentiranno di definire la fabbricazione del dispositivo a spessore ridotto. Inizialmente saranno utilizzati wafer commerciali in c-Si di tipo SOI (Silicon On Insulator), costituiti da uno strato di c-Si di drogaggio e spessore opportuni depositato su di un wafer in c-Si e separato da esso da un sottile strato di silicio poroso o di ossido (SiO₂), per realizzare dispositivi a film sottile di silicio cristallino. Il centro Enea di Portici dispone di una fornace ad alta temperatura per la realizzazione di un emitter di tipo n mediante diffusione di fosforo e di sistemi ed attrezzature per il completamento del dispositivo nella contattatura metallica per litografia e deposizione di coating antiriflesso. L'attività consentirà di sperimentare l'ottimizzazione dell'emitter su strati di c-Si drogato di vari spessori dell'ordine delle decine di micron.

Saranno oggetto di studio varie soluzioni per il miglioramento dell'efficienza di conversione riguardanti soprattutto il confinamento ottico della luce incidente nel dispositivo, problema derivante dal piccolo spessore, se paragonato a circa 200 µm di una cella commerciale in c-Si, e dal basso coefficiente di assorbimento se confrontato a quello del silicio amorfo e/o microcristallino. Sarà quindi condotta un'attività riguardante il confinamento ottico della luce, sperimentando strutture multistrato di silicio

poroso (Bragg reflector) integrate nella cella fotovoltaica, con profilo spettrale della riflessione ottimizzato in termini di lunghezza d'onda centrale e larghezza di banda.

Un problema che inficia lo scale-up industriale di dispositivi a cSiTF riguarda la criticità del processo di trasferimento di una cella su di un supporto opportuno, per il quale la probabilità di insuccesso si può tradurre nella rottura del dispositivo stesso. Sarà quindi condotto uno studio sul processo di trasferimento del dispositivo fotovoltaico, realizzato su SOI, su altri supporti quali vetro e/o plastiche.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di dispositivi a film sottile di silicio cristallino su substrati di tipo SOI
- Sviluppo di film riflettenti a base di multistrato di silicio poroso (Bragg reflector) con profilo spettrale della riflessione ottimizzato in termini di lunghezza d'onda centrale e larghezza di banda
- Studio delle problematiche relative al processo di trasferimento del dispositivo fotovoltaico, realizzato su SOI, su altri supporti (vetro e/o plastiche) e valutazione delle possibili soluzioni

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI

Le attività sullo sviluppo di celle a film sottile policristallino proseguiranno sulla base dei risultati raggiunti nel corso della precedente annualità durante la quale sono state realizzate di celle fotovoltaiche basate sul semiconduttore quaternario $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS). Saranno ottimizzati i processi di preparazione dei precursori e di solforizzazione in maniera da ridurre al minimo la presenza di eventuali residui di fasi spurie e ottenere un semiconduttore con la stechiometria ed il contenuto di difetti migliore per la realizzazione di dispositivi fotovoltaici. La possibilità di utilizzare buffer layer alternativi al CdS è ritenuta strategica per tale tecnologia al fine di evitare l'utilizzo del Cadmio nel processo di fabbricazione dei moduli. Saranno pertanto studiati possibili strati buffer alternativi e le varie tecniche disponibili per la loro deposizione (In_2Se_3 per evaporazione, ZnMgO per sputtering, Zn(S,O) per chemical bath deposition). Saranno poi sperimentati diversi contatti posteriori ohmici, valutando, tra le altre cose, il ruolo del sodio nella formazione del contatto ohmico. Si valuterà anche la possibilità di fabbricare contatti semitrasparenti per future celle multiple.

E' da notare che alcune recenti pubblicazioni suggeriscono una scarsa dipendenza delle prestazioni dei dispositivi in CZTS dal contenuto di ossigeno e quindi la possibilità di realizzare le celle anche lavorando a pressione atmosferica. Sarà, pertanto, avviato lo studio e la sperimentazione di un processo di deposizione del CZTS senza uso di tecniche di deposizione sotto vuoto, per esempio per spray o spin coating a partire da opportune soluzioni.

Risultati/Deliverable:

- Scelta, acquisizione ed installazione di apparati per la crescita di film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ con tecniche non utilizzanti vuoto; rapporto tecnico
- Realizzazione di celle solari a film sottili policristallini di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ con efficienza > 4%; rapporto tecnico

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

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

E. Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici

Il settore delle celle fotovoltaiche polimeriche ha registrato un notevole miglioramento negli ultimi anni con efficienze che hanno raggiunto valori molto interessanti (superiori all'8%). I polimeri che sono alla base di

tali dispositivi sono brevettati e non disponibili commercialmente il che ostacola uno sviluppo rapido di tale tecnologia.

Attualmente presso il C.R. ENEA di Portici è stata realizzata una cella fotovoltaica polimerica con efficienza di conversione superiore al 4%. Il prototipo è stato ottenuto partendo da un blend di poly(3-hexylthiophene) (P3HT) e 1-(3-methoxycarbonyl)-propyl-1-phenyl-(6,6)C61 (PCBM), entrambi commerciali ed implementando tutti i passi del processo precedentemente messo a punto in una glove box di recente installazione operante in atmosfera inerte con contenuto di H₂O e O₂ minori ad 1 ppm. Fino a poco tempo fa, il P3HT era il miglior polimero semiconduttore per celle polimeriche disponibile in commercio. Con tale materiale i migliori dispositivi riportati in letteratura hanno efficienze del 5%. Di recente sono apparsi in commercio altri polimeri che portano ad efficienze del 6-7% (come riportato in articoli da letteratura).

Pertanto per migliorare le prestazioni delle celle fotovoltaiche organiche e superare i valori di efficienza raggiunti ad oggi (4%) è necessario utilizzare altri materiali polimerici. Tra quelli disponibili in commercio i più promettenti sono il poly[[4,8-bis[(2-ethylhexyl)oxy]benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene-2,6-diyl][3-fluoro-2-[(2-ethylhexyl)carbonyl]thieno[3,4-b]thiophenediyl]] (PTB7), il Poly[4,8-bis(2-ethylhexyloxy)-benzo[1,2-b:4,5-b']dithiophene-2,6-diyl-alt-(4-octanoyl-5-fluoro-thieno[3,4-b]thiophene-2-carboxylate)-2,6-diyl] (PBDTTT-CF) ed il Poly[N-9'-heptadecanyl-2,7-carbazole-alt-5,5-(4',7'-di-2-thienyl-2',1',3'-benzothiadiazole)] (PCDTBT). Il blend ottenuto utilizzando questi polimeri in miscela con un derivato del fullerene sarà ottimizzato al variare di diverse condizioni di lavorazione (rapporto tra i componenti, solventi di processo, additivi, temperature di annealing) e sarà valutato il trasferimento di carica tra donore ed accettore. Tali materiali saranno poi testati in celle fotovoltaiche per valutare le loro prestazioni.

Saranno anche investigate tecnologie di stampa per la deposizione dello strato attivo in celle fotovoltaiche polimeriche. In particolare, la tecnica inkjet permette di eseguire deposizioni selettive di materiale definendo, mediante un opportuno file CAD, la geometria da realizzare. L'utilizzo di questa tecnologia innovativa per la realizzazione di celle solari organiche costituisce una valida alternativa ai metodi di tipo tradizionale soprattutto grazie ai bassi costi di processo e alla possibilità di realizzare deposizioni su larga scala. L'attività di ricerca che verrà svolta riguarderà la realizzazione di celle organiche polimeriche mediante la stampa dello strato funzionale (blend di P3HT:PCBM). Verranno, inoltre, studiati gli effetti dei solventi impiegati per la preparazione dell'inchiostro di materiale attivo e dei parametri di stampa sulle prestazioni dei dispositivi delle celle fotovoltaiche. Verrà altresì investigata la possibilità di eseguire uno studio di fattibilità di celle organiche stampate su substrato flessibile.

Parallelamente saranno sperimentate soluzioni per incapsulare i dispositivi e saranno testate le loro prestazioni nel tempo per valutare il degrado degli stessi.

In collaborazione con partner universitari saranno sintetizzati nuovi materiali potenzialmente idonei a migliorare le prestazioni delle celle polimeriche. Sarà rivolta l'attenzione a polimeri semiconduttori non disponibili in commercio o di nuova sintesi e alla realizzazione di strutture ordinate per consentire un efficace trasferimento di carica tra donore ed accettore. I nuovi materiali di sintesi saranno testati in dispositivi fotovoltaici al fine di valutarne le prestazioni.

Risultati/Deliverable:

- Messa a punto di processi per la realizzazione di celle fotovoltaiche organiche con nuovi materiali polimerici
- Messa a punto di processi per la deposizione del materiale attivo tramite tecnica inkjet
- Valutazione della stabilità dei dispositivi

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (Dipartimento di Chimica), Università degli Studi di Napoli (Dipartimento di Chimica)

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

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 alla scadenza delle attività previste sarà organizzato un workshop in cui verranno discussi i vari obiettivi, coinvolgendo i partner Universitari.

La diffusione dei risultati sarà assicurata attraverso la partecipazione ad eventi (convegni, giornate di studio, ecc.) nazionali ed internazionali e la pubblicazione di lavori scientifici su riviste specializzate.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

Nella transizione strategica che il Paese deve compiere verso un mix di fonti di energia con un peso maggiore di rinnovabili la tecnologia fotovoltaica può dare, in prospettiva, un contributo importante grazie ai molteplici vantaggi che offre:

- consente di trasformare l'energia solare in energia elettrica immediatamente usufruibile;
- è una fonte rinnovabile percepita come particolarmente pulita e quindi gradita al pubblico; in fase di esercizio l'impatto è nullo (non richiede acqua, non da luogo a emissioni fastidiose o a rumori);
- alta affidabilità e ridotti costi di esercizio e manutenzione degli impianti, per una vita operativa che, è dimostrato, supera i 25 anni;
- la semplicità d'uso, la modularità e la versatilità tecnologica degli impianti li rende adatti a rispondere alle esigenze di utenze sia isolate che connesse alla rete, sia di singole di case che di piccole comunità o distretti industriali, sia dei Paesi industrializzati che di quelli in via di sviluppo;
- ideale per realizzare il nuovo modello di generazione distribuita; gli impianti producono energia elettrica vicino all'utenza, modulata sulle sue esigenze, sopperendo ai picchi di domanda e specialmente a quelli legati all'uso dell'aria condizionata durante le giornate estive, riducendo le perdite legate al trasporto e la necessità di aumentare la capacità delle linee di trasmissione.

Il fotovoltaico, dunque, è una tecnologia chiave ma la sua la capacità di penetrazione ha ancora dei limiti a causa soprattutto dell'alto costo.

Lo scopo delle attività di ricerca e sviluppo previste è quello di mettere a disposizione del sistema Paese tecnologie fotovoltaiche avanzate che possano contribuire a rendere il sistema produttivo nazionale innovativo e competitivo in questo settore.

In particolare lo sviluppo di tecnologie fotovoltaiche a film sottile permetterà di realizzare 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, con i conseguenti vantaggi economici.

**Attività di ricerca 2.1.4 “ Ricerca su celle fotovoltaiche innovative”
Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Sviluppo e realizzazione di strati assorbitori e drogati innovativi per celle a film sottile di silicio micromorfe	Set 2012	2850	200	100	40	0	0	340
B	Sviluppo di materiali e architetture di dispositivo per migliorare l'intrappolamento della radiazione solare all'interno del dispositivo a film sottile di silicio	Set 2012	2430	170	100	50	0	195	515
C	Sviluppo e realizzazione di celle a film sottile di silicio cristallino	Set 2012	2000	140	40	50	0	0	230
D	Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI	Set 2012	2715	190	60	50	50	95	445
E	Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici o ibridi	Set 2012	3000	210	100	50	0	110	470
TOTALE			12995	910	400	240	50	400	2000

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 60 k€ per attività della partecipata FN)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
Tematica di Ricerca	SVILUPPO E DIFFUSIONE DELL'USO DELLE FONTI RINNOVABILI: ENERGIA ELETTRICA DA CORRENTI MARINE
Progetto 2.1.8	STUDI E VALUTAZIONI SUL POTENZIALE ENERGETICO DELLE CORRENTI MARINE

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine e moto ondoso

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il rapido espandersi e il recente significativo sviluppo delle tecnologie per lo sfruttamento delle correnti marine e delle onde impone una riflessione sulle azioni da intraprendere per stimare non solo le risorse teoricamente disponibili nei mari italiani, ma anche quelle realmente sfruttabili dalle diverse tecnologie che si stanno affacciando sul mercato. Per effettuare tale monitoraggio è necessaria una sistematica campagna di analisi effettuata sia con opportuni strumenti numerici, con relativa validazione tramite dati sperimentali misurati, sia tramite stime relative a possibili installazioni connesse con le varie tecnologie attualmente disponibili. E' indubbio, infatti, che secondo la tipologia del sito in analisi, possa essere preferibile scegliere una tecnologia piuttosto che un'altra al fine di ottimizzare e massimizzare la produzione energetica che realisticamente possa essere immessa nella rete elettrica.

In conseguenza di quanto sopra detto, l'attività di ricerca del presente progetto mira a quantificare l'energia che può essere immessa nella rete elettrica, ricavabile da appositi convertitori del moto ondoso e correnti marine in siti specifici della costa italiana. La valutazione sarà condotta attraverso l'uso integrato di due classi di modelli: il primo riguardante la simulazione del moto ondoso e delle correnti, e il secondo relativo all'interazione idrodinamica tra convertitori di energia e potenziale marino.

Il seguente progetto comprende sia attività a prosecuzione di quelle sviluppate nell'annualità precedente, sia attività di nuova impostazione.

Le attività a prosecuzione dell'annualità precedente riguardano la stima del potenziale energetico del moto ondoso in siti specifici delle aree costiere italiane attraverso l'uso di strumenti innovativi di modellistica numerica oceanografica. I siti saranno individuati, a differenza della precedente annualità, con una precisione dell'ordine del chilometro. L'effetto dovuto all'interazione tra moto ondoso e batimetria nelle vicinanze della costa saranno quindi presi in considerazione. I dati di moto ondoso ricavati nel corso dell'annualità precedente hanno consentito la mappatura dell'energia ondosa lungo le coste italiane con una risoluzione orizzontale di circa 7 km. I risultati ottenuti dalle simulazioni a scala di bacino mediterraneo della precedente annualità saranno utilizzati come condizioni al contorno per i modelli a più alta risoluzione che saranno sviluppati nel seguito progetto.

Nel dettaglio, l'attività da intraprendere consisterà nell'individuazione di aree campione, per ciascuna delle quali si procederà ad analizzare i dati di moto ondoso sia al largo (dell'ordine di pochi chilometri) sia sotto costa. L'analisi sarà finalizzata a determinare sia il clima ondoso e l'energia associata, sia a determinare l'intensità e la frequenza di eventi estremi che sono determinanti durante la fase di progettazione e installazione dei dispositivi di conversione.

L'attività di ricerca sarà inoltre tesa a valutare il potenziale energetico delle correnti di marea presenti nello Stretto di Messina attraverso simulazioni numeriche tridimensionali realizzate con un modello di circolazione marina non idrostatico e ad elevatissima risoluzione spaziale.

I dati di potenziale energetico delle onde e correnti saranno integrati nello strumento di visualizzazione GIS già sviluppato nel corso dell'annualità precedente.

Le attività di nuova impostazione si riferiscono alla simulazione numerica dell'idrodinamica che si stabilisce tra convertitori di energia e potenziale marino. Lo scopo principale di tali simulazioni è quello di valutare, con la maggiore precisione possibile, l'efficienza del dispositivo elettromeccanico nell'assorbire l'energia dalle onde o correnti e trasformarla in energia elettrica.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Uno dei vantaggi più evidenti legati allo sviluppo di modelli numerici per la simulazione delle correnti di marea e il moto ondoso è rappresentato dalla possibilità di valutare in anticipo, e con un discreto grado di affidabilità, l'energia teorica disponibile annualmente nel sito in cui si è deciso di installare il dispositivo di conversione. Le informazioni raccolte dai modelli numerici consentono infatti di ottimizzare la progettazione e la messa in opera del dispositivo stesso. La possibilità di valutare l'energia teorica disponibile nel sito anche per il prossimo futuro, secondo gli scenari climatici suggeriti dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), costituisce un ulteriore vantaggio.

Allo stato attuale la quasi totalità delle informazioni relative al potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane è valutata sulla base dei dati registrati dalle 15 boe della rete ondometrica nazionale (RON). Queste boe, nonostante costituiscano una fonte insostituibile di informazioni, non forniscono una copertura spaziale adeguata per l'individuazione dei siti costieri per l'estrazione dell'energia ondosa. Lo strumento modellistico è quindi necessario per colmare questa limitazione. Nel corso della precedente annualità è stato prodotto un data-base dell'energia del moto ondoso per l'intera area del Mediterraneo. Il data-base ricostruisce l'andamento dell'energia negli ultimi 40 anni, e per i prossimi 40 anni con una risoluzione spaziale di circa 7 km, equivalenti cioè a circa 200 boe distribuite lungo tutte le coste italiane.

Dal confronto sistematico tra modello, forzato con i venti meteorologici del Centro per le previsioni a medio termine di Reading (ECMWF), e il dato osservato RON per il periodo (2001-2010) è emerso un accordo ottimo. Le simulazioni hanno evidenziato come zone particolarmente idonee allo sfruttamento dell'energia dalle onde siano la regione a nord-ovest della Sardegna, il canale di Sicilia, ed il basso Tirreno. Le simulazioni sono state condotte con il modello denominato WAM (WAve Model). Il WAM è un modello che descrive l'evoluzione dello spettro delle onde del mare risolvendo le equazioni del trasporto dell'energia. Lo spettro delle onde è modificato localmente da una funzione sorgente che rappresenta l'energia di input dovuta al vento, la redistribuzione dell'energia dovuta alle interazioni non lineari e la dissipazione dell'energia dovuta alla rottura delle onde e agli attriti sul fondo. Sebbene la risoluzione spaziale adottata nella precedente annualità sia tra le più alte disponibili per simulazioni di tipo climatico a lungo periodo del moto ondoso, questa non è ancora sufficiente a determinare il reale potenziale energetico in prossimità della costa. Per ottenere una stima attendibile della risorsa naturale lungo costa è necessario infatti spingere la risoluzione dei modelli di onda fino a raggiungere poche centinaia di metri. A questo scopo nel corso della presente annualità verranno sviluppati modelli costieri che saranno forzati lateralmente dai campi di onde prodotti nel corso della precedente annualità.

Uno dei vantaggi più evidenti legati allo sfruttamento dell'energia delle correnti di marea è rappresentato dalla possibilità di valutare in maniera quasi esatta l'energia teorica disponibile annualmente nel sito in cui si è deciso di installare la turbina. Questa fonte di energia rinnovabile è infatti indipendente dalle condizioni atmosferiche e dai cambiamenti climatici ed essendo legata esclusivamente alle fasi lunari è possibile conoscerne, per un dato sito, la velocità alle diverse ore del giorno, per ogni giorno dell'anno, potendo in questo modo predire con matematica certezza quanta energia è possibile estrarre in un anno da quel sito.

Tuttavia non esistono allo stato attuale delle mappe di correnti di marea tridimensionali per le coste italiane aventi un dettaglio spaziale adeguato ai fini della costruzione di dispositivi di conversione di energia. Lo sviluppo di modelli numerici tridimensionali ad elevata risoluzione spaziale rappresenta un valido supporto alla caratterizzazione esauriente di tutti i parametri fisici rilevanti relativi alle correnti di marea. Nel corso della precedente annualità è stato sviluppato un modello di circolazione marina per l'intera regione mediterranea che simula le correnti di marea nell'intero bacino mediterraneo. Per ottenere ciò il modello numerico è stato implementato in modo da rappresentare al meglio le due componenti che sono alla base della marea totale del Mediterraneo: la componente del potenziale di equilibrio e quella laterale.

E' bene sottolineare che il dettaglio spaziale della mappa tridimensionale ottenuta per l'intero bacino Mediterraneo durante la precedente annualità rappresenta una novità assoluta in questo campo. L'analisi delle correnti ottenute dalle simulazioni numeriche ha evidenziato a scala di bacino l'intensità media annuale e stagionale delle correnti di marea. Nonostante lo sforzo computazionale notevole, i dati ottenuti non sono ancora sufficienti a fornire informazioni in alcune regioni della costa italiana, come stretti e canali. Come risaputo, le correnti di marea sono particolarmente intense nelle regioni costiere interessate da restringimenti; in Italia le regioni più interessanti in termini di correnti di marea sono lo stretto di Messina, la laguna di Venezia, il canale di Sicilia e le Bocche di Bonifacio in Sardegna. Tra queste regioni la più energetica è lo Stretto di Messina. Nonostante le dimensioni ridotte di questo stretto, le forti correnti di marea unite ad un intenso traffico marittimo ne hanno limitato in passato un monitoraggio oceanografico dettagliato. D'altro canto, dal punto di vista modellistico non esistono modelli tridimensionali capaci di descrivere in maniera realistica la dinamica dello stretto. Tale mancanza è da ascrivere alle diverse semplificazioni adottate nella fase di implementazione dei modelli. Nello specifico le semplificazioni generalmente adottate nell'implementare modelli tridimensionali dello stretto di Messina sono:

- bassa risoluzione, sia orizzontale sia verticale;
- batimetria semplificata che non tiene conto dei dettagli costieri;
- effetti non idrostatici non considerati;
- condizioni al contorno e iniziali non ottimali.

Nel corso del seguente progetto sarà quindi sviluppato un modello tridimensionale, non-idrostatico a elevata risoluzione spazio-temporale dello stretto che utilizzerà i dati batimetrici più accurati attualmente disponibili. Il modello beneficerà anche di condizioni al contorno e iniziali ottimali derivati dal modello delle correnti sviluppato per l'intero Mediterraneo nel corso della precedente annualità.

I modelli numerici sono strumenti particolarmente utili anche in fase di progettazione dei convertitori di energia. La progettazione fluidodinamica e strutturale di un prototipo di turbina marina o convertitore di moto ondoso sono inizialmente condotti mediante calcoli numerici su di un modello in scala.

I metodi numerici di analisi fluidodinamica delle turbine marine possono essere classificati in due categorie:

1. metodi basati sul bilancio di quantità di moto (*momentum methods*)
2. metodi a vortici (*vortex methods*)

Tra i metodi appartenenti alla prima classe, il più avanzato è il "Double Multiple Streamtube (DMS)".

Negli ultimi anni, presso il Dipartimento di Progettazione Aeronautica dell'Università "Federico II" di Napoli, sono stati sviluppati due codici, denominati VAWT e VAWT_dyn, in grado di valutare le prestazioni delle turbine ad asse verticale sia in condizioni statiche che dinamiche, sia a pale fisse che oscillanti.

Per quanto riguarda le tecniche numeriche usate per valutare l'efficienza e più in generale il funzionamento dei dispositivi di conversione delle onde del mare, sono disponibili diversi metodi. Questo è dovuto principalmente al fatto che i metodi numerici variano a seconda del tipo di sistema elettromeccanico considerato..

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Il Mediterraneo è un mare marginale, e come tale è caratterizzato da onde e correnti di marea che per intensità e frequenza sono differenti da quelle presenti negli oceani. Questa particolarità deve essere tenuta in conto durante lo sviluppo di tecnologie di conversione del potenziale marino. Tra i Paesi europei maggiormente coinvolti nello sviluppo di tecnologie di conversione del potenziale marino mediterraneo, l'Italia riveste sicuramente un ruolo fondamentale.

I principali dispositivi di conversione del moto ondoso che possono avere una possibile applicazione nei mari italiani sono il REWEC3 e ISWEC.

REWEC3 (REsonant Wave Energy Converter/Realization) è fondamentalmente un cassone portuale tradizionale, opportunamente modificato per trasformare l'energia delle onde che impattano contro di

esso in energia elettrica. Il cassone modificato è costituito da un condotto verticale situato nella parte anteriore interagente con il moto ondoso incidente attraverso un'imboccatura superiore. Tale condotto è, poi, collegato ad una camera di assorbimento attraverso una luce di fondo. La camera è posta in contatto con l'atmosfera mediante un condotto nel quale è alloggiata una turbina. La camera di assorbimento è inoltre dotata di uno sfiato, costituito da un ulteriore condotto che collega detta camera all'atmosfera, il quale consente la sicurezza ed il corretto funzionamento dell'impianto anche senza turbina, o con turbina non attiva. Per effetto del campo di moto ondoso interagente con la struttura, si instaurano sull'imboccatura del condotto verticale delle fluttuazioni di pressione, che determinano delle oscillazioni all'interno della massa d'acqua contenuta nel condotto e nella camera di assorbimento, corrispondenti alle fasi di cresta e di cavo d'onda. Conseguentemente, la sacca d'aria all'interno della predetta camera viene alternativamente compressa ed espansa, generando una corrente alterna all'interno del condotto che collega la camera con l'atmosfera, capace di mettere in funzione la turbina.

Rispetto ad un tradizionale dispositivo a colonna d'acqua oscillante, un impianto REWEC3 presenta in aggiunta il condotto verticale che è collegato alla camera di assorbimento mediante un tubo ad U nella parte anteriore della diga, lato mare. La differente configurazione strutturale determina delle significative differenze nell'idrodinamica che si instaura all'interno della struttura e, quindi, modifica sostanzialmente, in termini di resa e di efficienza, i risultati prodotti dai due diversi tipi di impianti. Infatti, nel REWEC3 le onde non entrano all'interno della struttura, ma agiscono da forzante per instaurare il moto di compressione e decompressione della sacca d'aria all'interno dell'impianto.

ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter) è un dispositivo galleggiante che utilizza gli effetti giroscopici per convertire l'energia (cinetica e potenziale) delle onde marine in energia elettrica.

Il sistema è composto da uno scafo galleggiante completamente sigillato al cui interno ruota in sospensione un volano. Il moto del galleggiante perturba lo stato di moto del volano che reagendo con un moto relativo di precessione aziona l'albero di un generatore elettrico che finalmente produce energia elettrica. Tale flusso di energia è raddrizzato e stabilizzato e convertito alla tensione desiderata dall'utente.

A differenza degli altri convertitori di energia da moto ondoso (WEC: Wave Energy Converter) attualmente in fase di studio a livello di modello in scala o prototipo dimostrativo e utilizzando le onde oceaniche ad alta ampiezza lunghezza e potenza specifica, ISWEC è stato concepito espressamente per l'utilizzo delle onde corte e poco potenti tipiche del Mediterraneo. In tali condizioni infatti il sistema ha il massimo della sua produttività, in quanto la potenza convertibile da ISWEC è proporzionale al quadrato della frequenza dell'onda e per cui inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda. Il sistema inoltre risulta adattabile alle onde oceaniche con un cambio di forma idrodinamica e distribuzione spaziale delle masse attive.

Il dispositivo ISWEC si distingue dagli altri convertitori attualmente in fase di studio per le seguenti caratteristiche:

- non presenta parti mobili immerse in acqua
- non presenta quantitativi significativi di sostanze inquinanti a bordo
- è facilmente ispezionabile e accessibile per manutenzioni (a differenza di molti dispositivi sommersi e semi sommersi con parti mobili immerse in acqua)
- Il dispositivo presenta un maggiore campo di funzionamento grazie alla regolazione ed alla sintonizzazione automatica sulle diverse lunghezze d'onda

La sperimentazione in acqua sul sistema ISWEC è iniziata nel 2009 presso l'Università di Edimburgo, dove un dispositivo in scala 1:50 con 2,4 W di potenza nominale è stato testato con successo. Utilizzando i dati ottenuti dalla sperimentazione a Edimburgo in unione a quelli rilevati nel canale di prova del Politecnico di Torino e presso la vasca navale dell'Università Federico II di Napoli, si è potuto dimensionare un prototipo più grande, in scala 1:8 rispetto al sito di Alghero e con potenza nominale di 213 W (rappresentativo di un sistema da circa 250 kW in scala reale). Tale prototipo è in fase di realizzazione e verrà testato all'Università Federico II nella seconda metà del 2011.

Le attività che hanno condotto allo sviluppo di ISWEC sono portate avanti grazie ad una stretta collaborazione tra tre Dipartimenti del Politecnico di Torino: il Dipartimento di Meccanica (DIMEC), il Dipartimento di Idraulica Trasporti ed Ingegneria Civile (DITIC) e quello di Ingegneria Elettrica (DELET).

Per quanto riguarda i dispositivi di conversione delle correnti marine, i dispositivi più interessanti che possono avere una reale applicazione nei mari italiani sono risultati il KOBOLD (I & II), BLUETEC, GEM.

KOBOLD I è stata installata nello Stretto di Messina nella primavera del 2001. KOBOLD essenzialmente è costituito da una turbina marina ad asse verticale con pale diritte e parzialmente libere di oscillare brevettata nell'ambito del progetto ENERMAR. La turbina KOBOLD è stata sviluppata dalla società Ponte di Archimede S.p.A., proprietaria del brevetto internazionale, in collaborazione con il Dipartimento di Progettazione Aeronautica (DPA) dell'Università "Federico II" di Napoli con lo scopo di dimostrare che lo sfruttamento dell'energia rinnovabile contenuta nelle correnti di marea è un modo conveniente per produrre energia se confrontato con lo sfruttamento di altre fonti di energia alternativa. Questo impianto è servito anche per dimostrare sul campo il limitato impatto ambientale che tale tipo di sfruttamento dell'energia comporta. Una turbina Kobold a 3 pale è montata in chiglia ad un galleggiante cilindrico di 10 m di diametro ancorato al fondo mediante 4 linee d'ormeggio. Le caratteristiche della turbina Kobold sono le seguenti:

- direzione di rotazione indipendente dalla direzione della corrente marina
- elevato valore della coppia all'avvio, che rende la turbina capace di avviarsi spontaneamente, anche sotto carico, senza la necessità di qualsiasi sistema di avvio
- ottima efficienza, semplicità di funzionamento e bassa manutenzione.

L'impianto Enermar è a mare dal 2001 ed è uno dei primi impianti per lo sfruttamento delle correnti marine in scala reale mai varati. In questo tempo è stato possibile provare l'affidabilità di vari componenti e la validità delle scelte progettuali fatte.

KOBOLD II può essere considerata come la naturale evoluzione della turbina KOBOLD I, è infatti basata sulle esperienze acquisite progettando e gestendo l'impianto KOBOLD I di Messina. L'impianto sarà installato sulla costa orientale dell'isola di Lombok (Indonesia), dove sono presenti correnti simili a quelle dello Stretto di Messina. Alla massima corrente di 3 m/s l'impianto sarà capace di circa 150 kW.

BLUETEC è un innovativo sistema di conversione delle correnti marine attraverso la realizzazione di un parco marino basato essenzialmente da turbine KOBOLD II. Il sistema BLUETEC è sviluppato dalla Ponte di Archimede in collaborazione con la società BlueWater olandese. Il progetto BLUETEC, finanziato dall'UE nell'ambito del programma LIFE+, già in avanzato stato di progettazione, trae origine dall'unione delle esperienze e della tecnologia della Ponte di Archimede e della società olandese Bluewater. Il progetto BLUETEC è basato su turbine Kobold II da 250 kW installate su un'unità galleggiante, appositamente progettata per sviluppare almeno 1 MW di potenza. L'impianto Bluetec sarà installato in Scozia, nelle isole Orcadi, presso il campo di prova dell'EMEC. Il sito presenta condizioni ambientali estreme e correnti che superano i 5 m/s. Le principali caratteristiche dell'impianto sono:

- 4 turbine Kobold per un totale di 1 MW;
- struttura galleggiante tubolare di 40x20 m;
- peso approssimativo di 350 t;
- ormeggio su due linee di catenaria.

GEM è un dispositivo di conversione delle correnti marine progettato nell'ambito di un progetto di ricerca congiunto tra il Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Napoli "Federico II" e il Parco Scientifico e Tecnologico del Molise. Il dispositivo *GEM* consiste in una turbina da 300 kW per la produzione di energia dalle correnti di marea da installare a circa 20 m di profondità. La turbina marina è ad asse orizzontale e per le sue caratteristiche tecniche (ancoraggio ad una catenaria) è definito "*l'aquilone del mare*". Una specifica caratteristica tecnica sviluppata in GEM è un particolare tipo di diffusore che permette di raddoppiare la potenza prodotta a parità di diametro della turbina. GEM sarà installato a Venezia (Malamocco) alla fine del 2011.

OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

La presente proposta progettuale ha l'obiettivo di fornire un innovativo e particolareggiato contributo informativo per il supporto alle attività di estrazione dell'energia dal mare. Tale obiettivo sarà raggiunto attraverso lo sviluppo di un sistema informativo integrato che fornirà parametri meteo-marini direttamente legati alle tecnologie di estrazione dell'energia (turbine, convertitori del moto ondoso) con un elevato dettaglio spaziale per la caratterizzazione dei siti più adatti. L'integrazione in un sistema GIS fornirà dettagli sulle infrastrutture potenzialmente interessate (porti, reti energetiche, etc) e su parametri ambientali di interesse (vincoli, turismo etc). Alla base di questo sistema vi sarà la messa a punto di modelli numerici oceanografici e meteo-marini per la previsione del moto ondoso e della circolazione marina nel bacino del Mediterraneo, e lo studio delle tecnologie attualmente sviluppate per l'estrazione dell'energia marina.

L'obiettivo finale dell'attività è la produzione di mappe di indicatori del potenziale energetico marino a diversa risoluzione spaziale, dai 7 km fino a poche centinaia di metri per i siti costieri italiani che risulteranno caratterizzati da un potenziale energetico significativo. Per questi ultimi sarà inoltre valutata la reale quantità di energia estraibile in funzione delle diverse tecnologie di sfruttamento utilizzabili.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

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

1. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina mediterranea a circa 7 km di risoluzione;
2. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione del moto ondoso nel Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione;
3. Produzione di mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo;
4. Elaborazione degli indicatori del potenziale energetico marino e creazione di un data-base integrato in un sistema GIS costiero;
5. Sviluppo di modelli numerici ad alta risoluzione spaziale, per la simulazione della circolazione marina per alcuni siti costieri italiani caratterizzati da un potenziale energetico significativo;
6. Sviluppo di modelli numerici, ad altissima risoluzione spaziale, per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per i siti costieri italiani caratterizzati da un potenziale energetico significativo;
7. Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni dei siti costieri italiani caratterizzati da un elevato potenziale energetico.
8. Integrazione del data-base GIS costiero;
9. Analisi dettagliata delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento dell'energia marina;
10. Individuazione delle tecnologie che meglio si adattano ai siti costieri italiani;
11. Quantificare l'energia elettrica che può essere immessa nella rete elettrica, ricavabile da appositi convertitori del moto ondoso e correnti marine;
12. Indicazioni sul possibile sviluppo di tecnologie specifiche per i siti costieri italiani.
13. Divulgazione dei risultati (sito web ENEA dedicato, Organizzazione workshop, rapporti tecnici e articoli su riviste nazionali e/o internazionali).
14. Agire come punto di sintesi e di aggregazione per le varie esperienze italiane verso la European Energy Research Alliance (EERA).

Nella precedente annualità sono state svolte le seguenti attività:

Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina mediterranea a circa 7Km di risoluzione

E' stata prodotta una simulazione atmosferica ad alta risoluzione utilizzando un modello di circolazione regionale per l'area europea centrato sul bacino del mediterraneo. I risultati del modello, in termini di velocità del vento al suolo, flussi di calore e acqua sono stati utilizzati come condizioni al contorno superficiali da applicare al modello delle onde e di circolazione del Mediterraneo. E' stato quindi implementato il modello di circolazione del Mar Mediterraneo che include le correnti di marea. Attraverso l'analisi della simulazione sono state prodotte mappe climatologiche dell'intensità e direzione delle correnti marine tridimensionali per l'intera area mediterranea.

Sviluppo di un modello numerico per la simulazione del moto ondoso nel Mediterraneo a circa 7Km di risoluzione

E' stato sviluppato un modello numerico di simulazione del moto ondoso nel bacino mediterraneo. L'implementazione ha previsto la generazione di una griglia computazionale che ha coperto l'intero bacino mediterraneo con una risoluzione orizzontale di circa 7 km. Il modello è stato forzato in superficie dai dati di vento ottenuti dal modello RegCM e ECMWF per il clima presente e futuro. Dall'analisi dei risultati è stata prodotta la mappa del potenziale energetico climatologico presente lungo la fascia costiera italiana e in generale per tutto il mar Mediterraneo.

Sviluppo di modelli numerici ad alta risoluzione spaziale, per la simulazione della circolazione marina per alcuni siti costieri italiani caratterizzati da un potenziale energetico significativo

E' stato sviluppato un modello numerico di simulazione delle correnti marine per la regione delle Bocche di Bonifacio. Il modello utilizzato è stato il POM e la risoluzione adottata è stata di poche centinaia di metri. Dall'analisi dei risultati è stata prodotta la mappa del potenziale energetico climatologico in termini di intensità e direzione delle correnti marine.

Elaborazione degli indicatori del potenziale energetico marino e creazione di un data-base integrato in un sistema GIS costiero

I potenziali energetici elaborati per le diverse simulazioni numeriche prodotte, sia per il moto ondoso sia per le correnti marine sono state integrate in un sistema di visualizzazione GIS che rende la consultazione dei risultati semplice e immediata. Il GIS sviluppato sovrappone ai dati di potenziale anche quelli relativi alle aree marine protette.

Organizzazione di un workshop

E' stato organizzato un workshop sul tema dell'energia dal mare. Il 16 e 17 giugno 2011 si è tenuto in ENEA il workshop "PROSPETTIVE DI SVILUPPO DELL'ENERGIA DAL MARE PER LA PRODUZIONE ELETTRICA IN ITALIA". Il workshop si è rivelato un'occasione importante di confronto sul tema dell'energia dal mare. Il workshop può essere considerato il primo momento di incontro a livello nazionale dedicato al tema dell'energia dal mare. La presenza di relatori del mondo universitario, della ricerca e del settore delle piccole e medie imprese ha messo in rilievo l'importanza di un confronto di idee sui temi di più stringente rilievo e le prospettive di una maggiore utile collaborazione con questi ultimi in vista di proficue sinergie. Il workshop è stato articolato in modo da trattare i maggiori temi di ricerca del settore dell'energia dal mare.

Partecipazione italiana in ambito European Energy Research Alliance (EERA)

In ambito europeo è stata attivata la collaborazione con il "Joint Programme - Marine Energy" della EERA. Dopo l'iniziale incontro del Novembre 2010, durante il quale sono stati delineati i dettagli del Joint Programme, l'ENEA ha partecipato al meeting iniziale del progetto tenutosi lo scorso giugno 2011. L'ENEA parteciperà al Joint Programme anche come rappresentante delle diverse Università e centri di ricerca italiani coinvolti a vario titolo nel tema dell'energia dal mare.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

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

Per quanto riguarda RSE, sulla base dell'incontro tecnico che si è tenuto in ENEA nel giugno 2011, si ritiene che le attività condotte da entrambi possano bene integrarsi fornendo una valutazione esauriente e di dettaglio sul tema dell'energia dal mare. In particolare, nel corso dell'incontro è stato fatto il punto sulle attività già svolte da RSE ed ENEA nell'ambito dei rispettivi piani, e si sono analizzate le attività programmate, come di seguito riassunte.

Descrizione generale degli obiettivi da raggiungere per il PAR 2011 di RSE:

1. completamento della mappatura avviata, utilizzando dati dalle simulazioni oceanografiche a grande scala (con maglie dell'ordine di 7-10 km e spessori verticali di 20-50 m) come dati al contorno per i codici di simulazione fluidodinamica 3D;
2. analisi con metodi CFD dei prototipi italiani di turbomacchine, per valutarne la potenziale capacità di generazione ed inserirli nel modello numerico di simulazione per una valutazione realistica del potenziale energetico;
3. estensione degli studi alla scala locale, creazione di una banca dati in ambiente GIS dei siti potenziali (tecnicamente);
4. analisi delle problematiche ambientali. Integrazione del GIS per i siti potenziali con la mappatura dei vincoli ambientali;
5. progettazione di prefattibilità di sperimentazione (a scala reale) su prototipi di generatori nel sito di Civitavecchia;
6. studio di dispositivi di generazione abbinati ad opere di difesa costiera.

Descrizione generale degli obiettivi da raggiungere per il PAR 2011 di ENEA:

1. estensione degli studi a scala regionale (circa 1 Km) del potenziale energetico delle onde marine, per i siti individuati sulla base dei risultati della precedente annualità;
2. valutazione del potenziale elettrico generabile dal prototipo di convertitore di energia ondosa (REWEC3, ISWEC) per siti specifici della costa italiana;
3. estensione degli studi a scala locale (circa 50 m) del potenziale energetico delle correnti di marea presenti nello stretto di Messina. Lo studio sarà condotto con un modello di circolazione tridimensionale non-idrostatico. La risoluzione orizzontale sarà di circa 50 m, quella verticale di circa 15 m. La caratteristica non idrostatica del modello fornirà informazione di dettaglio delle onde interne che si generano nello stretto e il loro impatto sulle correnti marine. Il modello sarà forzato lateralmente dai dati prodotti dal modello di circolazione del Mediterraneo realizzato nel corso della precedente annualità;
4. valutazione del potenziale elettrico erogabile dal prototipo di convertitore di energia mareale (KOBOLD, GEM2 e simili) per lo stretto di Messina.

Le attività programmate sono pertanto congruenti, ed anzi si riportano di seguito le potenziali sinergie ENEA-RSE emerse nel corso dell'incontro:

1. condivisione dei dati relativi alla precedente annualità; nel dettaglio, ENEA fornirà i dati relativi al clima d'onda presente (2001-2010) calcolati sulla base della simulazione numerica eseguita con il modello WAM
2. RSE metterà a disposizione di ENEA il set di dati completi delle boe ondamentriche raccolti e utilizzati nel corso della seconda annualità che integrano quelli già in possesso di ENEA
3. RSE inoltre metterà a disposizione di ENEA i dati sui tematismi ambientali raccolti e organizzati nel corso delle prime due annualità
4. partecipazione congiunta in proposte di progetto nelle call con finanziamenti nazionali ed europei (IEE, 7 R&D FP, Interreg, ecc.)
5. azione congiunta a livello internazionale in ambito JP energia dal mare EERA.

A. Potenziale energetico dello Stretto di Messina

A1. Sviluppo di un modello numerico per la simulazione della circolazione marina nello Stretto di Messina

Durante questa fase del progetto sarà implementato un modello ad alta risoluzione dello Stretto di Messina. Il modello numerico di riferimento sarà il *Massachusetts Institute of Technology general circulation model* (MITgcm). Il modello sarà caratterizzato da una risoluzione orizzontale che raggiungerà il valore massimo di circa 50 m. Per descrivere nel modo più accurato possibile la dinamica verticale delle correnti di marea saranno utilizzati 73 livelli verticali che garantiranno una risoluzione verticale di pochi metri in superficie e poche decine di metri alla profondità di 500 metri. Il modello sarà implementato in modo da descrivere nella maniera più realistica possibile la dinamica dello stretto. Tale obiettivo sarà raggiunto sviluppando un modello tridimensionale, non-idrostatico che utilizzerà i dati batimetrici più accurati attualmente disponibili. Il modello beneficerà delle condizioni iniziali e al contorno derivati dal modello delle correnti marine sviluppato per l'intero Mediterraneo nel corso della precedente annualità. Saranno prodotte 12 simulazioni della durata di 30 giorni ognuna, in modo da ottenere una caratterizzazione climatica mensile delle correnti di marea nello Stretto.

Si stima che il modello finale sarà composto da circa 58 milioni di nodi di griglia (1000x800x72 avendo stimato una risoluzione media di 50m). Il numero di nodi sarà così 3 volte superiore il numero di punti del modello Mediterraneo sviluppato nella precedente annualità. Considerato l'elevato numero di nodi del modello di circolazione marina, e la necessità di memorizzare i dati ad alta risoluzione temporale (almeno ogni 20 minuti per descrivere al meglio il ciclo mareale), si stima che sarà necessario uno spazio disco di circa 60 TeraBite (TB). La memoria di massa necessaria allo svolgimento del seguente obiettivo dovrà soddisfare requisiti di elevata affidabilità. L'elevata affidabilità richiede la scelta di materiali di elevata qualità, del tipo già utilizzato nei vari centri di calcolo dell'ENEA. In particolare la memoria di massa dovrà essere tale da consentire l'utilizzo della tecnologia RAID5 o RAID6 per la ridondanza dei dati. Si fa presente che i 50 TB che si raggiungeranno con l'acquisto di tale dispositivo, saranno totalmente dedicati al seguente progetto. Si fa inoltre presente che i dati rimarranno archiviati sul sistema a disposizione di enti pubblici e/o privati che ne richiederanno l'utilizzo dopo la conclusione del progetto.

A2. Calcolo delle mappe di potenziale energetico per lo Stretto di Messina

A partire dai dati delle simulazioni numeriche realizzate, saranno calcolate mappe tridimensionali del potenziale energetico delle correnti di marea. Nello specifico saranno prodotte una serie di mappe indicanti, per ogni mese climatologico, i punti dello stretto (individuati sia orizzontalmente che verticalmente) in cui sono presenti i massimi valori di velocità. I dati ottenuti saranno integrati nel sistema di visualizzazione GIS già sviluppato nel corso della precedente annualità.

Risultati/Deliverable:

- Messa a punto del modello MITgcm per la regione dello Stretto di Messina
- Produzione di 12 simulazioni rappresentanti 12 mesi climatologici
- Mappe del potenziale energetico calcolato
- Integrazione dei risultati nel sistema GIS

Durata: ottobre 2011- settembre 2012

B. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana

B1. Sviluppo di modelli ad alta risoluzione per la simulazione del moto ondoso

In questa fase sarà sviluppato il modello numerico di simulazione del moto ondoso per alcune regioni campione della costa italiana (almeno tre). La scelta delle regioni sarà effettuata sulla base dei risultati

ottenuti nella precedente annualità. Nello specifico, i dati delle simulazioni effettuate nella precedente annualità saranno utilizzati come condizione al contorno per le simulazioni a più alta risoluzione che saranno eseguite nel corso del presente obiettivo. Il modello numerico che sarà implementato nel corso del seguente progetto sarà lo SWAN (Simulating WAVes Nearshore). SWAN è un modello sviluppato dalla Delft University of Technology, è un modello di onde non-stazionario di terza generazione. I modelli costieri implementati raggiungeranno una risoluzione orizzontale di circa 1 km, con la possibilità di incrementarla ulteriormente in prossimità della linea di costa. Al fine di utilizzare le condizioni al contorno laterali provenienti dal modello WAM della scorsa annualità, i dati di vento che saranno utilizzati come forzante superficiale dei modelli costieri saranno gli stessi utilizzati per la precedente annualità.

Le variabili del modello delle onde saranno memorizzate a una frequenza temporale di 3 ore, necessaria per la generazione delle mappe climatologiche. Data l'elevata risoluzione spaziale e temporale degli output del modello si stima che sarà necessario uno spazio disco di circa 20 TB. Si fa presente che i dati rimarranno archiviati sul sistema a disposizione di enti pubblici e/o privati che ne richiederanno l'utilizzo dopo la conclusione del progetto.

B2. Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso nei siti considerati

I dati di moto ondoso ricavati dalle simulazioni numeriche consentiranno una mappatura dell'energia ondosa lungo siti specifici della costa italiana. Nel corso della seguente linea di attività si analizzeranno i dati di moto ondoso al largo e sotto costa nei siti prescelti; l'analisi è finalizzata sia a determinare il clima ondoso e l'energia ondosa associata, sia a determinare gli eventi estremi. L'analisi di clima ondoso consentirà di analizzare i livelli di altezza significativa ed i periodi associati, per assegnati settori di provenienza delle onde; l'analisi direzionale è fondamentale al fine di propagare le onde sotto costa; per quanto riguarda l'analisi degli eventi estremi sarà utilizzato il metodo mareggiate triangolari e il modello delle *Equivalent Power Storms* recentemente sviluppato.

Risultati/Deliverable:

- Messa a punto del modello SWAN per le regioni considerate
- Analisi del potenziale energetico (eventi estremi e climatologia)
- Mappe del potenziale energetico calcolato
- Integrazione dei risultati nel sistema GIS

Principali collaborazioni: Dipartimento di Meccanica e Materiali - Scuola di Ingegneria - Università Mediterranea di Reggio Calabria.

Durata: ottobre 2012 - settembre 2012

C. Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea

C1. Moto ondoso

Durante questa fase progettuale saranno valutate le prestazioni di due convertitori di energia sviluppati di recente in Italia: REWEC3 e ISWEC.

Questo studio prevede l'utilizzo di ulteriori modelli matematici che simulano la propagazione del moto ondoso lungo la costa. A differenza del modello SWAN (utilizzato per la linea di attività B) questi modelli sono in grado di considerare nel corso della simulazione la reale conformazione della costa e della batimetria, in modo da riprodurre anche possibili fenomeni di rifrazione e diffrazione delle onde. Ovviamente questi modelli saranno forzati lateralmente dai dati prodotti in precedenza da SWAN.

Per quanto riguarda REWEC3, la prima fase di attività sarà dedicata allo studio del dimensionamento del cassone REWEC3 nei siti specifici precedentemente individuati. Questo studio sarà condotto considerando sia i dati di moto ondoso (B), al fine di massimizzare l'assorbimento, sia gli eventi estremi (B), al fine di garantire la stabilità e l'operatività dell'impianto REWEC in condizioni di sicurezza. In particolare, le dimensioni geometriche delle parti attive dell'impianto (condotto verticale e camera di assorbimento) saranno determinate dai dati di energia associata al moto ondoso nelle diverse località. Al termine di

questa fase, sarà stimata la produzione di energia ondosa media annua dall'impianto, che sarà potenzialmente immessa in rete (MWh per chilometro di lunghezza del cassone). La modellazione idrodinamica dell'impianto sarà eseguita secondo il modello analitico/numerico descritto da Boccotti, Arena et al. (2003-2007). Infine l'analisi di produttività e costo dell'energia prodotta sarà condotta integrando i dati di onda (attività B) con il modello analitico/numerico dell'idrodinamica del cassone.

Per quanto riguarda ISWEC, l'analisi di produttività e costo dell'energia prodotta da questo convertitore seguirà un'altra procedura. Durante una prima fase, i modelli idrodinamici e elettro-meccanici già sviluppati per ISWEC saranno ulteriormente raffinati sulla base dei dati ondometrici ad alta frequenza spazio-temporale generati precedentemente. Sulla base dei risultati ottenuti, sarà valutato attraverso l'analisi numerica la quantità di energia elettrica erogabile da ISWEC nel sito costiero considerato.

C2. Correnti di Marea

Durante questa linea di attività saranno verificare le prestazioni dei dispositivi di conversione delle correnti marine divise per due categorie: quelle basate su turbine ad asse verticale e quelle su turbine ad asse orizzontale. Sarà inoltre quantificato il peso (in termini economici) della tipologia di struttura e del relativo ancoraggio. Eventuali problematiche legate ai singoli dispositivi studiati saranno evidenziati.

Le prestazioni dei dispositivi saranno valutate mediante simulazioni numeriche dell'idrodinamica che si stabilisce tra convertitori di energia ed il potenziale marino. I dispositivi che saranno valutati sono:

1. Kobold - struttura galleggiante con turbina semi-sommersa ad asse verticale
2. Fri-El - pontone con filari-semi sommersi basate su turbine ad asse orizzontale
3. GEM - struttura sommersa e basata su turbina ad asse orizzontale
4. MCT (Marine Current Turbine) struttura su pilone fissato sul fondo - turbina ad asse orizzontale
5. Verdant Power - Struttura poggiata sul fondo del mare e basata su turbina ad asse orizzontale

L'analisi di produttività e costo dell'energia prodotta da questi convertitori sarà realizzata per lo stretto di Messina sulla base dei dati realizzati in A. I codici di calcolo che saranno utilizzati per stimarne le prestazioni saranno: VAT-VOR 3D per le turbine ad asse verticale e WT-PERF per le turbine ad asse orizzontale. Entrambi i codici sono stati sviluppati presso il Dipartimento di Progettazione Aeronautica (DPA) dell'Università Degli Studi di Napoli "Federico II". Le stime sulla producibilità invece saranno realizzate con codici di calcolo sviluppati in Matlab/Fortran che proietteranno le prestazioni delle turbine in funzione della velocità della corrente su base annuale una volta che si conoscerà il profilo completo delle velocità della corrente (A).

Risultati/Deliverable:

- Valutazione del potenziale elettrico erogabile dal sistema REWEC3
- Valutazione del potenziale elettrico erogabile dal sistema ISWEC
- Valutazione del potenziale elettrico erogabile da turbine ad asse verticale e orizzontale (Kobold, Fri-El, GEM, MCT, Verdant Power)

Principali collaborazioni: Dipartimento di Meccanica e Materiali - Scuola di Ingegneria - Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Meccanica (DIMEC) e Dipartimento di Idraulica Trasporti ed Ingegneria Civile (DITIC) del Politecnico di Torino, Dipartimento di Progettazione Aeronautica (DPA) dell'Università Degli Studi di Napoli "Federico II"

Durata: ottobre 2012 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE RISULTATI

Per quanto riguarda le attività relative alla diffusione dei risultati, saranno realizzati rapporti annuali, i n cui saranno descritti in dettaglio i risultati ottenuti, che saranno resi disponibili sul sito web ENEA dedicato al progetto.

Le informazioni presenti sul sito web ENEA dedicato all'energia dal mare, sviluppato nel corso della prima annualità, saranno integrate dai risultati ottenuti nel presente progetto. Le attività saranno integrate con quelle svolte a livello europeo all'interno del progetto congiunto EERA "Marine Energy".

Infine sarà organizzato un secondo workshop sul tema dell'energia ricavabile dal mare che come il precedente vedrà la partecipazione dei principali esperti italiani del mondo universitario e della ricerca e di società di sviluppo con interessi nel settore.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

L'energia dal mare è un settore emergente delle energie rinnovabili. In Italia l'energia del mare può essere estratta dalle correnti marine e/o dal moto ondoso del Mediterraneo. Queste due forme di energia sono presenti in quantità sufficiente per pensare ad un loro sfruttamento. Tuttavia per giungere a uno sfruttamento sistematico di queste forme di energia è richiesta una conoscenza approfondita del potenziale energetico presente lungo le coste italiane e una conoscenza delle tecnologie di conversione. Le attività proposte nella seguente linea di ricerca sono appunto mirate a fornire una valutazione dettagliata del potenziale energetico lungo le coste italiane, e a fornire indicazioni pratiche sull'efficienza di alcuni dispositivi elettromeccanici di conversione ideati per il Mediterraneo.

**Progetto 2.1.8 “Studi e valutazioni del potenziale energetico delle correnti marine”
Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Potenziale energetico dello Stretto di Messina	Set 2012	670	40	45	10	0	0	95
B	Valutazione delle caratteristiche fisiche del potenziale ondoso per alcune regioni campione della costa italiana	Set 2012	670	40	20	10	0	10	80
C	Valutazione del potenziale elettrico erogabile in rete da sistemi di conversione del moto ondoso e correnti di marea	Set 2012	335	20	10	10	0	85	125
TOTALE			1675	100	75	30	0	95	300

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO₂

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il progetto ha come finalità lo sviluppo, il test e la dimostrazione di un ventaglio di tecnologie innovative per l'impiego del carbone sia per la produzione di elettricità, con ridotte emissioni di gas serra, sia per la produzione di combustibili liquidi o gassosi, e che prevedano contestualmente la separazione della CO₂ e il suo stoccaggio. Il Progetto comprende sia attività di nuova impostazione sia attività a prosecuzione e completamento di quelle sviluppate nelle precedenti annualità.

L'approccio è duplice: da una parte sperimentare soluzioni tecnologiche più mature, con orizzonte applicativo nel breve-medio termine, con il valore aggiunto costituito dall'essere indirizzate allo sfruttamento del carbone e del sito del Sulcis in Sardegna; dall'altra puntare l'attenzione su tecnologie molto avanzate che consentano, anche se più a lungo termine, di ottenere soluzioni tecnologiche CCS (Carbon Capture and Storage) caratterizzate da prestazioni energetiche ed ambientali migliori delle attuali.

Per quanto riguarda la prima soluzione, nel sito del Sulcis sono già in corso attività di ricerca sul tema e specificamente relative allo sfruttamento eco-sostenibile di combustibili sporchi (carbone ad alto contenuto di zolfo, rifiuti, ecc.), a cui collaborano oltre alla Regione e l'ENEA anche le Società Sotacarbo e Carbosulcis, titolare quest'ultima della miniera di carbone omonima. Il sito, possibile sede di sperimentazione dello separazione della CO₂ prodotta, è anche prossimo a siti adatti ad un eventuale sequestro della CO₂ in giacimenti acquiferi salini profondi presenti al di sotto degli strati carboniferi del bacino del Sulcis. Considerata questa opportunità, il progetto ha tra i suoi obiettivi finali lo studio di fattibilità di una piattaforma pilota che, partendo dalla gassificazione del carbone estratto dalle locali miniere del Sulcis ed il suo successivo trattamento, produca un syngas da utilizzare o per la **produzione** di idrogeno o per la produzione di combustibili liquidi, con il conseguente sequestro geologico della CO₂ nelle vicinanze della piattaforma stessa.

Per quanto riguarda invece la seconda soluzione, essa si basa sull'utilizzo di processi CCS nettamente più efficienti di quelli oggi tecnologicamente maturi. Le configurazioni di impianto oggi realizzabili infatti presuppongono l'applicazione, agli impianti di produzione di energia, delle tecnologie già utilizzate nell'industria chimica di separazione della CO₂ o di desolforazione o di produzione di idrogeno, e presentano penalizzazioni energetiche, e quindi anche economiche, molto elevate, dell'ordine di 8-10 punti percentuali di rendimento.

Nel settore della ricerca sulle tecnologie CCS più avanzate l'ENEA è da molti anni fortemente impegnato in tutte e tre le filiere tecnologiche (pre, oxy e post-combustion).

Tali attività di ricerca hanno portato alla progettazione ed alla realizzazione, presso il centro della Casaccia, di una infrastruttura sperimentale molto innovativa, denominata Piattaforma Zecomix, che, assieme a quella realizzata presso la Sotacarbo in Sardegna, è stata presentata ed approvata per l'inserimento nella roadmap italiana delle infrastrutture di ricerca (IR) di interesse pan-europeo.

Le attività di ricerca pianificate saranno quindi effettuate presso i laboratori e presso le piattaforme sperimentali costituenti le due importanti IR italiane:

- l'infrastruttura Sotacarbo, finalizzata allo studio delle migliori tecnologie, nel breve e medio termine, in un dimostrativo che realizzi sia la produzione di combustibili liquidi e gassosi sia il sequestro geologico della CO₂;

- la Piattaforma Zecomix, finalizzata allo studio di processi più innovativi di decarbonatazione e trattamento gas, in linea con le più avanzate ricerche internazionali.

In tal modo si perseguirà nel contempo anche l'obiettivo di valorizzare le due infrastrutture sopradette e favorire quindi una più ampia, autorevole e qualificata partecipazione del sistema italiano impresa/ricerca ai grandi programmi ed iniziative europee ed internazionali quali FP7, Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), European Energy Research Alliance (EERA) e Electrical Safety Foundation International (ESFRI).

Contestualmente, tale progetto intende continuare l'azione di supporto al Ministero dello Sviluppo Economico, già operata anche nelle precedenti annualità, finalizzata al coordinamento e all'integrazione di diversi progetti condotti in Italia nell'ambito di programmi differenziati e variamente finanziati, tenendo conto delle priorità dettate dalle scelte strategiche governative.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

E' unanime la consapevolezza che sarà impossibile sostituire, almeno per qualche decennio, quote significative di combustibili fossili con fonti alternative a basse o nulle emissioni di CO₂, e che quindi è sempre più necessaria l'adozione di soluzioni che limitino gli impatti conseguenti al loro utilizzo, e siano compatibili con gli obiettivi di contenere le alterazioni climatiche.

Queste considerazioni valgono in particolare per il carbone che è il principale combustibile impiegato a livello mondiale per la produzione di energia elettrica (genera circa il 30% dell'elettricità dell'UE, il 50% in USA, il 75% in Cina) e allo stesso tempo quello a maggiore intensità di carbonio.

Il ricorso al carbone per la generazione elettrica, necessario per soddisfare la domanda sempre maggiore di energia, risulta condizionato, oltre che dall'impiego di tecnologie pulite sempre più efficaci nella riduzione delle emissioni di macro e micro inquinanti, dall'introduzione di soluzioni in grado di abbattere radicalmente le emissioni di anidride carbonica. Da questo punto di vista, occorre puntare da un lato al miglioramento delle efficienze energetiche, legate all'innovazione dei cicli termodinamici e all'utilizzo di materiali innovativi, dall'altro allo sviluppo e dimostrazione di tecnologie di cattura e confinamento della CO₂ (tecnologie CCS).

L'utilizzo di tecnologie CCS può ridurre dell'80-90% le emissioni di CO₂ causate dagli impianti di potenza, a scapito di una efficienza energetica inferiore di circa 8-12 punti percentuali.

Molte delle tecnologie CCS sono già oggi disponibili (ad esempio la produzione di ossigeno, i reattori di shift, i processi di estrazione di gas acidi da miscele di gas) ma hanno bisogno di essere integrate opportunamente con l'impiantistica di produzione per minimizzare le perdite energetiche ed i costi aggiuntivi ad esse associate.

Le tecnologie CCS vanno rapidamente acquisendo un ruolo essenziale a livello internazionale ed europeo, tanto da essere ormai considerate ai fini del sistema di "emission trading". La UE ritiene opportuno prevedere l'adozione di tali tecnologie negli impianti da realizzare dopo il 2020, e a tal fine promuove la realizzazione di 10-12 impianti dimostrativi in Europa entro il 2015.

A livello internazionale sono in corso numerose iniziative volte ad intensificare la collaborazione fra i diversi Paesi per lo sviluppo e dimostrazione delle tecnologie CCS, e per la definizione di accordi politici sui limiti delle emissioni di CO₂. L'Italia è presente nel Carbon Sequestration Leadership Forum, nella piattaforma europea sugli impianti alimentati a combustibili fossili a emissioni zero (ZEP), nei gruppi di lavoro della International Energy Agency.

In linea con gli indirizzi europei, una adeguata attività di R&S svolta dall'ENEA e dal sistema della ricerca pubblica, consentirà di conseguire i due macro-obiettivi di interesse strategico che si concretizzano nel contribuire efficacemente alla riduzione delle emissioni italiane di CO₂ e nel consentire al nostro sistema nazionale di limitare i costi della produzione di energia elettrica nel prossimo futuro.

Nel settore della Ricerca e Sviluppo delle tecnologie CCS, vi è un forte impegno internazionale rivolto da una parte alle problematiche di ottimizzazione impiantistica, ai fini di una applicazione immediata delle CCS nei prossimi dimostrativi in fase di progetto, dall'altra alla messa a punto di tecnologie completamente

nuove che consentano di ottenere risultati prestazionali, in termini di efficienza e di costo, confrontabili con quelli delle tecnologie convenzionali attuali.

Le principali tecnologie CCS sono riconducibili a tre filoni principali, che vanno sotto il nome di cattura post-, pre- o ossi-combustione.

Il primo aspetto, legato all'applicazione immediata nei dimostrativi, tende principalmente a rendere più efficiente possibile l'integrazione tra l'impiantistica energetica esistente ed i processi per la cattura ed il sequestro della CO₂ ad essa applicati. Ciò si ottiene rivolgendo gli sforzi al miglioramento delle attuali tecnologie di gassificazione e di combustione dei combustibili fossili, ed in particolare del carbone, alla messa a punto di processi di cattura della CO₂ meno penalizzanti dal punto di vista energetico, ed infine all'ottimizzazione del sistema integrato. Una possibilità, che è da considerarsi molto interessante in relazione alla decrescente disponibilità di petrolio, è quella che prevede la trasformazione del carbone in combustibile liquido ("coal to liquid", CTL): questo processo si presta ad essere convenientemente integrato con le tecnologie CCS, in particolare con la filiera delle tecnologie pre-combustion, in quanto viene a tal fine utilizzato sia il syngas uscente dai sistemi di gassificazione e di trattamento, sia parte della CO₂ separata a valle dei sistemi di cattura. Le tecnologie di base dei sistemi CTL sono già state sviluppate, ma si richiedono innovazioni specialmente in relazione alle tipologie e differenti caratteristiche delle materie prime impiegate ed alla integrazione con i sistemi pre-combustion sopra accennati.

Il secondo aspetto della ricerca, legato alle tecnologie avanzate di nuova concezione, riguardante la filiera delle tecnologie pre-combustion, presuppone la messa a punto di processi caratterizzati da temperature di cattura più elevate di quelle convenzionali (dell'ordine dei 500-600 °C) e da una più elevata integrazione tra i processi di gassificazione, pulizia e decarbonizzazione del syngas, ricorrendo anche a sistemi particolarmente compatti che realizzano tali processi in uno stesso componente.

Per quanto riguarda la filiera tecnologica dell'ossi-combustione, le ricerche più avanzate tendono alla messa a punto di processi che, sfruttando particolari condizioni di combustione "senza fiamma" (mild-combustion) ottenute mediante opportuna diluizione con miscele di vapore e CO₂, in concomitanza con cicli termodinamici innovativi di tipo gas-gas e gas-vapore e umidificato, sono caratterizzati da un elevato grado sia di pulizia dei prodotti gassosi che di efficienze di conversione energetica.

Per quanto riguarda infine la filiera post-combustion, l'obiettivo delle ricerche più avanzate è la riduzione delle penalizzazioni energetiche introdotte dalla tecnica, agendo sia sulla messa a punto di solventi o sorbenti innovativi, che presentano valori di energia e/o di temperatura di rigenerazione più bassi, sia anche in questo caso sulla ottimizzazione impiantistica.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Tutte le tecnologie proposte sono attualmente a differenti stadi di maturazione. Nelle note seguenti, si danno maggiori informazioni sullo stato dell'arte di ciascuna di esse.

1. Cattura post-combustione

Dal punto di vista della maturità tecnologica, i sistemi post combustione sono sicuramente quelli che presentano la maggiore maturità, grazie all'esperienza acquisita nei settori oil&gas e in quello del trattamento di gas esausti in piccola scala. Sono i più adatti ad essere applicati ad impianti esistenti in retrofit, previa naturalmente verifica delle disponibilità di spazio, visto gli elevati volumi necessari. I principali svantaggi sono rappresentati dai costi d'impianto elevati, legati alle ingenti quantità di gas da trattare e dall'alta penalizzazione energetica dovuta alla rigenerazione.

L'opzione cattura a valle della combustione implica l'utilizzo di sistemi di assorbimento chimico della CO₂ dai gas esausti provenienti da impianti operanti con cicli a vapore in condizioni super-critiche alimentati a polverino di carbone (SC/PCC) o da impianti a ciclo combinato alimentati a gas (NGCC).

Anche se non ottimizzati per l'impiego in impianti CCS, tutti i componenti sono al momento commercialmente disponibili. Ulteriori miglioramenti sono però richiesti per abbattere a monte la concentrazione di SO_x, NO_x e particolato che riducono l'efficienza di assorbimento dei solventi, generalmente a base di ammine. E' comunque necessaria una dimostrazione della tecnologia con un

significativo aumento di scala dell'impianto fino a 20-50 volte le applicazioni attuali. La dimostrazione prevede la realizzazione di impianti capaci di produrre energia a prezzi competitivi. L'obiettivo è quello di minimizzare i costi della cattura della CO₂, attraverso lo sviluppo di una tecnologia, applicabile ad impianti già operativi e/o nuovi, con rilevante impatto sul mercato per l'attenzione posta al costo di investimento, alle prestazioni dell'impianto e quindi al costo dell'energia prodotta, con una riduzione significativa delle emissioni di un gruppo termoelettrico Ultra SuperCritico di taglia standard (es. 660 MWe). Il punto cruciale, che determina la convenienza economica, è legato allo sviluppo di nuovi solventi che riducano significativamente il costo energetico dovuto alla rigenerazione termica. Infatti i principali svantaggi della tecnologia sono rappresentati dai costi d'impianto elevati (legati alle ingenti quantità di gas trattato in gran parte costituito da azoto non presente nei gas trattati nelle configurazioni alternative) e dall'alta penalizzazione energetica dovuta alla rigenerazione del solvente. Ciò vale sia per gli impianti a carbone Super Critici e Ultra Super Critici, che per gli impianti ciclo combinato alimentati a gas naturale, dove si ha una maggiore penalizzazione a causa della minore concentrazione di CO₂ nei fumi.

2. Cattura pre-combustione

Le tecnologie pre-combustione operano una "decarbonizzazione" del combustibile fossile a monte della combustione rilasciando un gas ad alto contenuto di idrogeno che poi può essere utilizzato come combustibile in impianti di produzione elettrica o in usi alternativi (trazione, chimica di base,...). In generale, dal punto di vista energetico, la penalizzazione dovuta al loro utilizzo è ridotta sia perché si opera su flussi in quantità limitate sia perché si può operare in pressione, condizione che facilita la cattura e rende meno dispendiosa la rigenerazione.

La cattura effettuata a monte della combustione in sistemi alimentati a carbone e a gas, attuata rispettivamente nei processi di gassificazione del carbone e di reforming del metano, seguiti dalla reazione di CO-shift e della cattura della CO₂ di solito praticata per assorbimento fisico - è attualmente una opzione molto promettente, che potrebbe essere impiegata in sistemi integrati con la gassificazione del carbone (IGCC) o in cicli combinati a gas (NGCC).

Il componente chiave è rappresentato dalla sezione di assorbimento e rigenerazione del solvente sul quale hanno però notevole influenza il sistema di desolfurazione e quello di CO-shift. Il risultato atteso dalle tante attività di ricerca internazionali, e dallo sviluppo dei dimostratori, è la realizzazione di un prodotto ad alta innovazione tecnologica, ottenuta attraverso l'incremento delle prestazioni in termini di migliore efficienza di cattura della CO₂, migliore flessibilità nell'utilizzo di diversi tipi di combustibili, maggiore durata dei catalizzatori e dei "chemicals" impiegati.

Oltre all'impiego di carbone ed alla sua preventiva gassificazione, ulteriori applicazioni di interesse saranno individuabili negli impianti IGCC alimentati con tar residui della raffinazione dei prodotti petroliferi.

3. Cattura attraverso ossi-combustione

Il metodo di cattura della CO₂, che utilizza la combustione con ossigeno, rappresenta la terza via tra le possibili opzioni oggi più promettenti. A valle della produzione del calore di combustione utilizzato nel ciclo termodinamico, si genera un efflusso di gas molto ricco in CO₂ che, dopo aver attraversato una sezione di rimozione dei principali inquinanti ed una di condensazione del vapor d'acqua in esso presente, può essere inviato allo stoccaggio. È un tipo di processo per il quale già si trovano applicazioni nell'industria siderurgica e del vetro. A livello mondiale lo si sta studiando in applicazioni di potenza.

Il componente chiave è rappresentato dal combustore a ossigeno (comburente) e dalla sua applicazione nell'integrazione in un impianto a vapore di tipo supercritico o in un sistema basato su turbine a gas che operano in cicli avanzati. Restano ancora da chiarire vantaggi e svantaggi relativi ad applicazioni di tipo atmosferico o pressurizzato, caratterizzate queste ultime da maggior compattezza e disponibilità di un fluido già compresso per il successivo immagazzinamento. La tecnologia potrà essere utilizzata per future centrali ad emissioni zero con efficiente integrazione del sistema di produzione dell'ossigeno, del sistema di generazione di vapore e di quello di cattura della CO₂. Il

risultato più rilevante, in termini di sviluppo tecnologico, dell'attività svolta su dimostrativi sarà costituito da conoscenze ed innovazioni utili per lo sviluppo di future centrali caratterizzate da efficienze, su scala di grande potenza, prossime al 40%, inclusi i costi di cattura della CO₂.

Le maggiori barriere allo sviluppo e alla diffusione di queste tecnologie sono rappresentate principalmente dal costo su larga scala dei progetti dimostrativi (dell'ordine delle centinaia di M€/impianto), dai costi di gestione, dalla necessità che lo stoccaggio sia permanente e sicuro e dalla scarsa implementazione di normative specifiche per il momento assenti o disomogenee a livello internazionale.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo finale del progetto è quello di favorire lo sviluppo di tecnologie avanzate per un utilizzo pulito dei combustibili fossili e del carbone in particolare, supportando la realizzazione di impianti dimostrativi e permettendo di risolvere le principali problematiche legate alla penalizzazione, in termini di costo e di rendimento, che l'attuale stato delle tecnologie CCS implica.

Le attività proposte verranno sviluppate con particolare riferimento a due importanti infrastrutture di ricerca, denominate COHYEXCE e ZECOMIX, a buon diritto inserite nella roadmap italiana delle Infrastrutture di Interesse pan-europeo e dislocate rispettivamente nei siti di Sotacarbo, in Sardegna, e dell'ENEA Casaccia.

I risultati che, in sintesi, ci si aspetta al termine dell'attività sono riassumibili nei punti seguenti:

- miglioramento delle tecnologie di gassificazione del carbone, con particolare riferimento a carboni "difficili" come quello del Sulcis (alto contenuto di tar e zolfo);
- messa a punto di sistemi di produzione di syngas e di combustibili liquidi da carbone del Sulcis;
- sviluppo di bruciatori per syngas ricchi di idrogeno, idonei al loro impiego in sistemi turbogas ad alta efficienza e basse emissioni;
- messa a punto di tecnologie numeriche per l'ottimizzazione del processo di ossi-combustione;
- messa a punto di sistemi di cattura della CO₂ e di pulizia gas ad elevato rendimento energetico;
- analisi dei sistemi di stoccaggio ed individuazione del sito più adatto nella zona del Sulcis;
- studio di fattibilità di un impianto dimostrativo completo, munito di sistema di sequestro geologico, da realizzarsi nella zona del Sulcis.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

L'attività, che costituisce la prosecuzione logica dei programmi delle precedenti annualità., si realizzerà, secondo le seguenti linee:

LINEA DI ATTIVITÀ A: Produzione e trattamento combustibili gassosi e liquidi da carbone

Tale linea ha tre obiettivi principali:

- La definizione e messa a punto delle tecnologie migliori per produrre un syngas idoneo, sia come composizione che come pulizia, per i successivi processi di trasformazione in combustibili liquidi o gassosi. Gli aspetti di innovazione risiedono nella possibilità di ricorrere a configurazioni impiantistiche che consentano, oltre che di ottenere un elevato rendimento energetico (sistemi altamente integrati ed a elevata temperatura), anche l'utilizzo di carboni di basso pregio (ad alto contenuto di zolfo e di tar) eventualmente miscelati con altri tipi di carbone e/o biomasse (co-gassificazione).*
- La messa a punto di una innovativa tecnologia di gassificazione basata su pirolisi, applicata a tipologie di carbone di difficile utilizzo a causa dell'elevato contenuto di tar e zolfo, al fine di mettere a punto un processo innovativo di pre-trattamento e produzione di syngas pulito, di qualità migliore rispetto ai tradizionali processi di gassificazione, e di char a basso contenuto di zolfo.*

c. *Lo studio ed ottimizzazione dei processi CTL (Coal To Liquid)*. I processi cosiddetti CTL provvedono alla produzione di combustibili liquidi a partire dal carbone con la rimozione di parte del contenuto carbonioso o con l'aumento del tenore di idrogeno effettuata in maniera diretta o indiretta.

Il risultato finale di tale linea di attività sarà rappresentato dalla progettazione e realizzazione di un apparato sperimentale utilizzando tecnologie innovative per la produzione di combustibili sia liquidi che gassosi da carbone del Sulcis.

LINEA DI ATTIVITÀ B: Aumento dell'efficienza delle tecnologie di cattura della CO₂ con produzione di elettricità "zero emission"

Le attività saranno di carattere prevalentemente sperimentale su impianti a scala sia di laboratorio che pilota, su tecnologie molto innovative di cattura della CO₂. Queste attività rappresentano uno sviluppo successivo (su impianti di scala maggiore) di quelle portate a compimento nelle prime annualità della Ricerca di Sistema Elettrico.

In particolare sono previste le seguenti tipologie di attività:

- a. *Sviluppo di tecnologie pre-combustion*. Sviluppo, su scala pilota (impianto Zecomix) degli studi sui cicli CaO-CaCO₃ e degli studi per ottimizzare la combustione di syngas a vari tenori di idrogeno, fino all'idrogeno puro. Studio, sperimentazione e ottimizzazione di tecniche di cattura a freddo che utilizzano solventi sia di tipo fisico che di tipo chimico nelle diverse sezioni di assorbimento e desorbimento dell'anidride carbonica con rigenerazione dei solventi.
- b. *Sviluppo di tecnologie post-combustion*. Ottimizzazione di processi al fine di aumentare il rendimento e ridurre i costi di separazione della CO₂ e studi su nuove tipologie di sorbenti e solventi a base di ammine.
- c. *Sviluppo di bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno*. Realizzazione e test di un nuovo bruciatore per turbogas, di tecnologia Trapped Vortex, in grado di realizzare una la combustione in assenza di fronte di fiamma (tecnologia MILD), stabile, efficiente, e a basse emissioni, particolarmente indicata per la combustione di syngas ricchi di idrogeno provenienti da impianti con cattura della CO₂, operanti in modalità "pre-combustion".
- d. *Messa a punto di tecnologie numeriche per l'ottimizzazione del processo di ossicombustione*. Messa a punto di modelli per la simulazione della combustione in ossigeno del polverino di carbone, in condizioni sia pressurizzate (combustione di una miscela trifase) che in condizioni atmosferiche.

LINEA DI ATTIVITÀ C: Tecnologie di sequestro e utilizzo della CO₂ e progettazione di un impianto dimostrativo completo che preveda la cattura ed il sequestro della CO₂ in sito idoneo

Le attività della presente linea si articolano in tre obiettivi:

- a. *Valorizzazione della CO₂ con produzione di metano*. A completamento di attività in precedenza avviate verranno affrontate le problematiche relative al processo di metanazione, individuando le criticità della reazione di conversione CO₂/CH₄ in termini di purezza dei gas da inviare al reattore catalizzatore, e realizzazione di un piccolo impianto dimostrativo in scala laboratorio.
- b. *Studi su tecnologie di fissaggio della CO₂ con metodi chimici*. L'obiettivo riguarda lo studio della termodinamica e cinetica del processo di carbonatazione di ceneri (fly-ash) e rifiuti industriali alcalini, per l'efficientamento del processo stesso.
- c. *Attività progettuale per l'ottimizzazione di un impianto dimostrativo che preveda la cattura ed il sequestro della CO₂ in sito idoneo*. L'obiettivo prevede l'approfondimento degli aspetti di cattura, trasporto e storage con particolare riferimento alla ottimizzazione e successiva sperimentazione di una rete di monitoraggio geochimica.

Nel seguito si riporta una sintesi dei risultati finora ottenuti.

A.1 Sperimentazione e ottimizzazione della gassificazione

In questo ambito sono state effettuate, presso gli impianti della Piattaforma Pilota ENEA/Sotacarbo, attività sperimentali sulla gassificazione del carbone in letto fisso operata con differenti agenti gassificanti (quali aria, aria arricchita con ossigeno, vapore e CO₂) con prove e test, relativi a diverse condizioni di funzionamento, tesi alla messa a punto ed all'ottimizzazione dei processi e delle apparecchiature.

Sono state effettuate una serie di migliorie degli impianti preesistenti, inserendo opportunamente nuova componentistica e modificando alcune sezioni e sistemi ausiliari in modo da poter effettuare sperimentazioni più accurate e con funzionamento stabile ed in continuo. In particolare presso la Piattaforma Pilota Sotacarbo sono stati installati e testati:

- un nuovo sistema di rigenerazione delle ammine completo di unità di produzione del vapore e sensoristica di corredo;
- un nuovo preriscaldatore degli agenti gasificanti;
- nuove linee di adduzione e misura dei gas di alimento al gassificatore;
- una nuova versione ottimizzata della griglia di scarico ceneri;
- un nuovo filtro deumidificatore a monte del motogeneratore;
- diversi nuovi sensori di misura per la portata gas;
- nuovi sensori per il monitoraggio delle temperature della griglia di scarico ceneri.

I test e le sperimentazioni hanno visto l'impiego di tutte le sezioni dell'impianto per un totale di circa 400 ore di funzionamento a caldo distribuite in più di 20 avviamenti. Sono stati effettuati prove sulla sezione di gassificazione, sulla pulizia del syngas effettuata con torri di lavaggio e colonne a riempimento ed è stato testato il filtro elettrostatico ad umido, componente chiave e fortemente innovativo. Per quanto riguarda il trattamento e l'utilizzo del gas prodotto si è sperimentato l'uso di diverse ammine per la cattura della CO₂ e del motogeneratore per la produzione elettrica. Anche la linea di trattamento a caldo per la produzione di idrogeno quasi puro è stata più volte esercitata. Da segnalare che per la prima volta sono stati effettuati test di co-gassificazione di carbone con biomasse.

A parte i parametri di norma rilevati dal sistema di acquisizione e controllo, sono stati inoltre effettuati dei monitoraggi dedicati per la misura delle temperature della griglia, del livello del letto di carbone nel gassificatore e del contenuto di particolato nel syngas.

Per quanto riguarda la conduzione delle sperimentazioni e la gestione del processo di gassificazione, si è proceduto a modificare sia il profilo interno del gassificatore (in modo da aumentare l'altezza del letto di carbone) che le condizioni di sperimentazioni, con un conseguente beneficio sulla stabilità e continuità del processo di gassificazione, condotto fino a mantenere in esercizio l'impianto in continuo per più di 30 ore.

Con l'ottica di migliorare e studiare il processo di gassificazione nelle sue criticità di esercizio sono proseguiti i test sperimentali presso il mini impianto di gassificazione di Casaccia ed è stato progettato e realizzato un nuovo gassificatore opportunamente predisposto all'attività di ricerca.

E' stato inoltre allestito un laboratorio di prova per test di trattamento e conversione del syngas da carbone ove sono stati svolti test sperimentali di desolfurazione di syngas mediante l'utilizzo di sorbenti a base di zinco e di water gas shift con l'utilizzo di catalizzatori metallici.

Uno studio del trattamento del syngas e della sintesi di un nuovo sorbente per la desolfurazione a caldo sono stati svolti presso il Dipartimento di Scienza Chimiche dell'Università di Cagliari. Una sperimentazione su sistemi di abbattimento del particolato e del tar è stata eseguita presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università La Sapienza di Roma. In parallelo presso il Dipartimento di Scienza Chimiche dell'Università Tor Vergata di Roma sono state effettuate diverse analisi e caratterizzazioni, sia qualitative che quantitative, sui campioni di tar e polveri prelevati durante il funzionamento degli impianti di gassificazione.

A.2 Processi avanzati di gassificazione/pirolisi e pulizia di syngas integrati, per l'utilizzo di carboni ad alto contenuto di Zolfo

Nella gassificazione del carbone il combustibile solido è in primo luogo convertito in gas (volatili non condensabili), liquido (volatili condensabili) e solido (char) mediante un processo di pirolisi (conversione termica in atmosfera inerte). Successivamente, il residuo solido della pirolisi è sottoposto ad un processo di gassificazione ad una velocità di reazione che dipende dalle condizioni operative utilizzate nell'ottenere il char. La pirolisi può essere effettuata anche in atmosfera di idrogeno (denominata idropirolisi) e i prodotti della conversione possono variare notevolmente rispetto all'atmosfera inerte.

Durante la pirolisi del carbone possono avvenire processi di de-solfurazione e de-nitrogenazione riducendo così notevolmente le emissioni di SO_x e NO_x nell'ambiente. Nel carbone sono presenti composti a base di zolfo di origine organica (classificati come zolfo alifatici, aromatici, tiofenici) e solfuri inorganici, essendo la pirite (FeS₂) e solfati i principali precursori di H₂S e SO₂. In una atmosfera inerte la pirite si decompone in solfuro di ferro sub-stechiometrico e zolfo elementare molto reattivo che può reagire con l'idrogeno dal carbone per formare H₂S o con la matrice di carbone per formare zolfo organico / inorganico che rimane nel char. La decomposizione della pirite ad alta temperatura ed in atmosfera riducente procede fino a ferro metallico, eliminando così quasi il 70% dello zolfo presente nel carbone.

I composti del carbone a base di azoto sono responsabili della formazione dei precursori NO_x nella fase di pirolisi. Tra loro HCN e NH₃ sono i più importanti. È ben noto che essi provengono da composti etero-aromatici presenti nella parte organica del carbone e per la loro formazione è necessario l'idrogeno. La presenza di idrogeno esterno favorisce notevolmente l'evoluzione di NH₃. In tal modo, a seconda delle condizioni operative del processo di pirolisi, differenti composti volatili a base di zolfo e azoto come SO₂, H₂S, HCN, e NH₃, possono essere trovati nella fase vapore.

L'attività sperimentale di laboratorio ha riguardato principalmente lo studio del processo di pirolisi del carbone Sulcis in due differenti atmosfere di N₂ e H₂ impiegando un forno a quarzo riscaldato a velocità programmata e mediante un analizzatore termo gravimetrico (TGA). I gas in uscita sono stati analizzati mediante spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FTIR) per ottenere profili di evoluzione simultanea e dinamica dei gas liberati durante la pirolisi. Infine il residuo solido della pirolisi condotta in atmosfera inerte di azoto e in atmosfera riducente di idrogeno sono stati sottoposti al processo di idrogassificazione a pressione di 5,0 MPa di idrogeno. L'evoluzione di composti a base di zolfo e di azoto sono stati monitorati nel tempo per un miglior confronto tra i due processi di pirolisi.

A.3 Produzione di combustibili liquidi (CTL) e gassosi (H₂) con cattura della CO₂

È stata condotta, presso il Centro ENEA Casaccia, l'analisi di sistema e la modellazione di un impianto CTL di taglia dimostrativa con l'utilizzo di codicistica di tipo commerciale.

In parallelo presso Sotacarbo è stato stilato un rapporto di sintesi dello stato dell'arte delle tecnologie CTL valutando una possibile applicazione presso gli impianti della Piattaforma Pilota. Sempre nello stesso ambito, presso il Politecnico di Milano, è stata sviluppata la progettazione di massima di un set-up sperimentale che ha poi condotto a diversi test sperimentali di produzione di combustibili liquidi realizzati in laboratorio operando con catalizzatori a base di ferro. Da ultimo presso l'Università di Pisa è stata implementata una codicistica ad hoc di modellazione del processo Fischer-Tropsch integrata con il codice di simulazione ottimizzato del gassificatore a parametri distribuiti già sviluppato l'anno precedente.

LINEA DI ATTIVITÀ B: Aumento dell'efficienza delle tecnologie di cattura della CO₂ con produzione di elettricità "zero emission"

B.1 Cattura della CO₂ ad alta temperatura mediante sorbenti solidi a base di ossido di calcio

Per la cattura della CO₂ con sorbenti solidi, è stata scelta la tecnologia a letto fluido in quanto questa garantisce l'omogeneità della temperatura in tutto il volume del letto, un buon grado di mescolamento tra catalizzatore di SMR e sorbente della CO₂. Inoltre se viene richiesta continuità al processo di cattura, il letto fluido facilita la circolazione del solido verso un reattore di rigenerazione del sorbente.

Dal punto di vista teorico, il letto di particelle solide (sorbente ed eventuale catalizzatore di SMR viene modellato secondo la teoria delle due fasi. In particolare la fase gas (*bubble gas* ed *emulsion gas*) viene idealizzata come un reattore a pistone (*plug flow reactor*, PFR) in cui si trascura la diffusione radiale mentre le grandezze di interesse (e.g. concentrazione, velocità del gas) variano al variare della quota z . La fase solida viene, invece, concepita come un reattore a mescolatore perfetto (*perfect mixer* PMR) in cui le variabili prese in considerazione non mostrano alcun gradiente spaziale. I risultati dell'integrazione di questo modello sono stati confrontati con dati pubblicati in letteratura e riguardanti la produzione di idrogeno con SMR ottenendo una buona sovrapposizione.

Dal punto di vista sperimentale, è stato sintetizzato un materiale sorbente per la cattura della CO_2 per mezzo della tecnica dell'idrolisi del CaO. In particolare sono stati selezionati due campioni con diversi contenuti di CaO (fase attiva) 75 e 85 %. La parte rimanente risulta essere la fase inerte costituita da alluminato di calcio che agisce come supporto alla fase attiva. La cattura della CO_2 è stata fatta avvenire a 600 °C in un'atmosfera di 25% CO_2 /75% N_2 mentre il processo di rigenerazione avviene alla temperatura di 1000 °C a due diverse condizioni: a) condizioni 'mild' (rigenerazione in 100% di azoto ad un tasso di riscaldamento di 10 °C/min) e b) condizioni moderatamente severe (rigenerazione in presenza di 86% N_2 e 14% CO_2 con tasso di riscaldamento di 100 °C/min). I risultati mostrano un significativo miglioramento nella stabilità della capacità sorbente del materiale sintetizzato se confrontato con dolomite calcinata lungo una serie di cicli di cattura. La capacità sorbente per il materiale con il 75% di CaO raggiunge un massimo di 0,24 g_{CO_2}/g_{sorb} al 6° ciclo di cattura e diminuisce a 0,15 g_{CO_2}/g_{sorb} al 60° ciclo. Sotto le stesse condizioni, il sorbente di origine naturale raggiunge il massimo della sua capacità sorbente 0,20 g_{CO_2}/g_{sorb} durante il primo ciclo diminuendo a 0,11 g_{CO_2}/g_{sorb} al 15° ciclo.

Per quanto attiene all'impianto sperimentale ZECOMIX, piattaforma per lo studio dell'intero processo integrato, è in corso di completamento l'installazione dei componenti, ed è stata avviata la fase dei collaudi funzionali dei principali componenti installati.

B.2 Studi modellistico/sperimentali sui processi di cattura della CO_2 con solventi

Sono state svolte attività sperimentali che hanno riguardato lo studio del processo di cattura della CO_2 mediante l'impiego di diversi solventi presso i laboratori ENEA/Sotacarbo.

In quest'ambito si è definito ed allestito in laboratorio un set-up sperimentale costituito da una colonna a riempimento in vetro, un sistema di misura delle concentrazioni dei gas effluenti e vari accessori utili per realizzare l'assorbimento della CO_2 nei solventi. Le condizioni operative emulano quelle di pre e di post combustione tipiche della cattura operata sul syngas proveniente dalla gassificazione del carbone e sui fumi provenienti dalla sua combustione.

Sono stati effettuati test di assorbimento con differenti tipologie di ammine al variare dei principali parametri di processo quali la tipologia e la concentrazione di solvente, la tipologia e la composizione delle correnti gassose trattate, le portate delle correnti liquide e gassose ed il loro mutuo rapporto.

Sono inoltre proseguite presso Casaccia le attività di ricerca in laboratorio per la sintesi di nuovi solventi dedicati alla cattura, con analisi comparative e test prestazionali effettuati su diversi solventi.

Utilizzando il codice ASPEN è stata svolta presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica di Cagliari un'analisi comparativa tra le tecnologie di cattura della CO_2 .

B.3 Sviluppo di nuovi bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno

È stato sviluppato un nuovo bruciatore avanzato per turbogas, di tipo Trapped Vortex per la combustione stabile, efficiente, e a basse emissioni di syngas ricchi di idrogeno, provenienti da impianti operanti in modalità "pre-combustion carbon capture".

Sono state condotte sperimentazioni su un modello definito di "prima generazione", effettuate sull'impianto MICOS di ENEA-Casaccia con l'ausilio di strumentazione speciale realizzata da ENEA, da cui sono state tratte informazioni utili alla progettazione di un bruciatore di progetto più avanzato, definito di "seconda generazione", installabile su turbine commerciali.

Attraverso il ricorso a simulazioni CFD, si è giunti alla progettazione del nuovo bruciatore che verrà realizzato il prossimo anno per l'installazione su MICOS.

All'attività ha collaborato l'Università di Roma "TRE", Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale (DIMI), per quanto attiene alla "Sperimentazione in galleria del vento di profili di bruciatori non convenzionali di tipo Trapped Vortex".

B.4 Messa a punto delle migliori tecnologie per l'ottimizzazione del processo di ossi-combustione di polverino di carbone

L'attività numerica ha avuto come obiettivo lo sviluppo di strumenti per la simulazione non stazionaria di flussi multifase in dispositivi a ossi-combustione di interesse industriale. In particolare tutti gli sviluppi modellistici fisico-numeriche sono stati finalizzati allo sviluppo del codice CFD-LES HearT con il quale vengono condotte le simulazioni per lo studio della termo-fluidodinamica del getto di slurry e vapore e sull'interazione di questo con i prodotti di combustione, per un combustore pressurizzato. Si è proceduto quindi ad applicare al caso test ISOTHERM i modelli implementati nel codice HearT, messi a punto nelle precedenti annualità e validati con un caso test.

Data la grande dimensione e la complessità geometrica dei dispositivi, accanto allo sviluppo di modelli per la fisica delle miscele multifase è stato necessario affrontare lo sviluppo di tecniche numeriche che rendessero fattibili in tempi ragionevoli le simulazioni necessarie. In collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale (DIMA) dell'Università di Roma 'La Sapienza', si è pertanto proceduto allo sviluppo e all'integrazione in "HeART" di una tecnica numerica di modellazione di un dominio fisico complesso, che consentono di connettere zone del combustore ad elevata risoluzione spaziale (ad es. zone vicine ad iniettori) a zone a bassa risoluzione spaziale, evitando la nascita di elementi di discontinuità che sarebbero distruttivi per una simulazione di tipo LES.

L'attività sperimentale ha avuto altresì per oggetto due facility di prova di IFRF, gestite dall'Università di Pisa: gli impianti IPFR e FOSPER. Questa attività è stata oggetto di un accordo di collaborazione con l'Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Chimica Industriale e Scienza dei Materiali, volta allo sviluppo ed ottimizzazione di diagnostica specifica e di diagnostica non invasiva sviluppata da ENEA, da applicare su impianti a ossi-combustione. L'applicazione della diagnostica non invasiva di ENEA è tesa allo sviluppo di metodologie innovative per la caratterizzazione del processo, e la determinazione di grandezze chimico-fisiche dello stesso.

Lo studio sperimentale ha riguardato:

- l'utilizzo di una apparecchiatura pilota (IPFR) su cui mettere a punto metodologie diagnostiche per la valutazione dell'"*ignition delay*" di stream di particelle di carbone in diverse condizioni di atmosfera controllata $\text{CO}_2/\text{O}_2/\text{N}_2$;
- l'ottimizzazione, su un impianto di taglia significativa (3 MWt) operante in ossi-combustione, della strumentazione sviluppata nella precedente collaborazione, in unione con strumentazione non invasiva sviluppata da ENEA, allo scopo di sviluppare metodologie diagnostiche per il monitoraggio delle prestazioni di sistemi innovativi a carbone.

Nell'ambito di questo obiettivo è stata poi condotta una collaborazione con l'Università "Federico II" di Napoli, Dipartimento di Ingegneria Chimica, relativa allo "Studio teorico-sperimentale relativo alla combustione Flameless di polverino di carbone".

I temi sviluppati nell'ambito dell'accordo di collaborazione hanno riguardato:

- studio delle strutture reattive locali in un bruciatore a polverino di carbone operante in condizione "flameless";
- misure di concentrazione, caratteristiche chimico-fisiche e funzione di distribuzione delle dimensioni del particolato prodotto nella combustione del polverino di carbone in un impianto pilota di oxy-combustione. Queste ultime sulle stesse facility di IFRF citate.

E' stata infine condotta un'altra collaborazione con il Politecnico di Milano, Dipartimento DCMIC, relativa a "Modellazione della volatilizzazione ed ossidazione di carbone del Sulcis. L'attività ha avuto come obiettivo la realizzazione di un modello cinetico dettagliato di pirolisi di carbone, in grado di descrivere il comportamento di tutte le componenti organiche della matrice carboniosa, in termini di C, H, O, N e S. Il

tipo di approccio seguito è stato la realizzazione di uno schema cinetico, basato sulla sola composizione elementare e la cui peculiarità risulta la capacità predittiva: non necessitano informazioni sperimentali per la sua messa a punto.

LINEA DI ATTIVITÀ C: Tecnologie di sequestro e utilizzo della CO₂ e progettazione di un impianto dimostrativo completo

C.1 Studi su tecnologie di utilizzo e fissaggio della CO₂

L'attività svolta durante l'ultima annualità, ha in parte sviluppato lo studio relativo alla metanazione affrontato in precedenza ed in parte si è rivolta a nuove tematiche relative ai solventi per l'assorbimento della CO₂.

Per la metanazione, dopo l'allestimento dell'apparato sperimentale, e dopo le prime indagini effettuate utilizzando gas (CO₂ ed H₂) non diluiti, si è passati ad alimentare il metanatore con miscele contenenti i due gas reattivi diluiti in azoto. Sono stati effettuati studi sull'effetto della concentrazione della CO₂ e dell'H₂, nella miscela di alimentazione, sulla resa finale della reazione. Sono stati inoltre iniziati gli studi relativi alla valutazione degli effetti di avvelenamento, da parte di composti solforati (SO₂ ed H₂S), sul catalizzatore.

Per quel che riguarda l'assorbimento della CO₂ è stato ideato e testato un nuovo solvente che fa uso di resorcina in ambiente basico. Sono state studiate, in un sistema *home-made*, le condizioni sperimentali per operare tanto l'assorbimento quanto il desorbimento della CO₂.

C.2 Studio e definizione preliminare di un impianto dimostrativo a carbone con cattura e confinamento geologico della CO₂

E' stato effettuato uno studio di prefattibilità relativo alla realizzazione di un impianto dimostrativo di produzione di energia da carbone con cattura e successivo stoccaggio dell'anidride carbonica prodotta in un idoneo sito localizzato nel bacino del Sulcis. L'obiettivo ha inoltre visto l'avvio di una campagna di sperimentazione finalizzata all'ottimizzazione della rete di monitoraggio geochimica, definendo il "baseline" cioè i termini di riferimento rispetto ai quali individuare le eventuali fughe di CO₂ profonda.

È stata condotta un'approfondita analisi di carattere tecnico-economica per valutare possibili configurazioni alternative ed individuare la miglior soluzione per la realizzazione di un dimostrativo di media scala (300-450 MWe). Sono state considerate differenti soluzioni alternative (ultra supercritical pulverized coal combustion - USPPC, supercritical circulating fluidized bed combustion - CFBC, supercritical pressurized fluidized bed combustion PFBC e infine integrated gasification combined cycle - IGCC). La scelta finale è ricaduta su un impianto a tecnologia USPPC

D. Comunicazione e diffusione dei risultati

E' stato assicurato il contributo a numerose iniziative a livello internazionale volte ad intensificare la collaborazione fra i diversi Paesi per lo sviluppo e dimostrazione delle tecnologie CCS e CCT.

In particolare si partecipa al Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), alla piattaforma europea sugli impianti alimentati a combustibili fossili a emissioni zero (ZEP), ai gruppi di lavoro dell'Implementing Agreement della IEA "Clean Coal Center" e all'European Energy Research Alliance (EERA) nell'ambito del Joint Program sulle CCS.

Inoltre è stato organizzato un convegno denominato "*Cattura e Sequestro della CO₂: stato dell'arte e prospettive*", che ha avuto luogo a Roma dal 14 al 16 di Settembre presso la Nuova Fiera di Roma, in occasione della manifestazione "Zero Emission – Rome 2011". Il convegno è stato organizzato da ENEA, CO₂ Club, con la partecipazione dell'Osservatorio CCS.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Al fine di garantire la massima efficacia dell'intero programma e la migliore utilizzazione delle risorse, ENEA, RSE e CNR hanno operato in stretto coordinamento, sia per assicurare il doveroso scambio di informazioni sui risultati conseguiti, sia per pianificare le rispettive attività in modo organico ed unitario.

Con riferimento alle attività da svolgere nell'annualità cui di riferisce il presente PAR, sono stati tenuti contatti frequenti e nel giugno 2011 si è tenuta una riunione conclusiva del Gruppo di Lavoro (GdL) ENEA - RSE - CNR, costituitosi su iniziativa autonoma dei tre enti, sul tema dell'impiego sostenibile dei combustibili fossili ed in particolare della cattura e confinamento della CO₂.

Sono stati analizzati i piani proposti dai tre enti nell'ambito della Ricerca di Sistema e sono state presentate e discusse le attività previste nei rispettivi Accordi di Programma, verificando la congruità e unitarietà del programma complessivo, che da un lato non vede sovrapposizioni o duplicazioni e dall'altro lato si configura come un ampio programma di ricerca che affronta le differenti tematiche afferenti alle tecnologie CCS con iniziative di ricerca teorica e sperimentazioni su apparati da laboratorio e impianti pilota.

Nel seguito vengo illustrate le attività pianificate dai tre enti, all'interno di temi con argomenti comuni tra ENEA e gli altri due enti affidatari.

a) Oxy-coal combustion

RSE

Valutazione sperimentale delle proprietà chimico-fisiche e separative di membrane ceramiche per la separazione dell'O₂ dall'aria.

ENEA

Messa a punto di tecnologie numeriche per l'ottimizzazione del processo di ossi-combustione di polverino di carbone. Analisi numerica comparativa di sistemi a ossi-combustione per la cattura di CO₂, operanti in condizioni sia atmosferiche che pressurizzate.

L'attività verte principalmente sulla messa a punto dei modelli relativi alla descrizione di particolari aspetti del processo di combustione del carbone in condizioni "oxy", con forte ricircolo di prodotti di combustione, quali la devolatilizzazione, la combustione di gas e di char, la produzione di inquinanti (NO_x; SO_x; Soot). Tale attività ha come riflesso importante la realizzazione di uno strumento CFD ENEA (Codice HearT) orientato allo studio della combustione di miscele mono e multifase.

CNR

Caratterizzazione del processo di ossi-combustione di combustibili gassosi e liquidi al variare dei parametri operativi. Fiamme premiscelate e a diffusione nonché reattori di combustione sono utilizzati per studiare i campi di operabilità del processo, i tempi caratteristici del processo di ossidazione e la cinetica di ossidazione in condizioni di ossi-combustione.

Sviluppo e realizzazione di una configurazione reattoristica per processi di chemical looping.

Studio e sviluppo del processo di "Carbon Looping Combustion" basato sulla proprietà dei solidi carboniosi, quali il carbone stesso, di fissare ossigeno a temperature moderate sotto forma di complessi superficiali. La reiterazione ciclica di stadi di ossidazione e desorbimento in un doppio reattore uno per l'assorbimento e uno per il desorbimento realizza la combustione del solido carbonioso producendo una corrente gassosa estremamente concentrata in CO₂ in grado di rendere il processo globalmente "CO₂ capture-ready".

b) Cattura pre-combustione della CO₂

RSE

Sviluppo di membrane dense di palladio su supporto metallico poroso, con barriera ossidativa e ceramica, per reattori di water gas shift, produzione di idrogeno e reforming del metano.

Valutazione sperimentale dei meccanismi di degrado di materiali/rivestimenti di turbogas avanzati per esercizio in ambienti aggressivi tipici dei syngas.

Valutazione sperimentale delle proprietà chimico-fisiche e separative di membrane ceramiche per la separazione dell'O₂ dall'aria.

ENEA

Sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione. Le attività sperimentali verranno condotte sugli impianti della Piattaforma Pilota Sotacarbo e presso il C.R. ENEA Casaccia.

Studi e test su processi avanzati di gassificazione/pirolisi e pulizia syngas integrati, per l'utilizzo di carboni ad alto contenuto di tar e zolfo. Verrà studiata la possibilità di utilizzare sorbenti a base di dolomite sia come catalizzatori delle reazioni di cracking del tar sia come assorbitori di CO₂ e di composti solforati (H₂S).

Attività sperimentali sulla cattura della CO₂ ad elevata temperatura mediante sorbenti solidi a base di ossido di calcio. Il sorbente selezionato verrà impiegato nella sperimentazione sull'impianto Zecomix di ENEA per testare il processo di produzione e concomitante pulizia di un syngas ad elevato contenuto di idrogeno e senza composti solforati, da mandare in turbina. Lo stesso sorbente utilizzato per la cattura della CO₂ può essere utilmente impiegato per l'assorbimento dell'H₂S.

Sviluppo di bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno. Realizzazione e test di un nuovo bruciatore per turbogas, di tecnologia Trapped Vortex, in grado di realizzare una combustione in assenza di fronte di fiamma (tecnologia MILD), stabile, efficiente, e a basse emissioni, particolarmente indicata per la combustione di syngas ricchi di idrogeno provenienti da impianti con cattura della CO₂, operanti in modalità "pre-combustion".

L'attività sperimentale è affiancata da studi numerici (RANS e LES) per un'analisi delle prestazioni e delle condizioni di stabilità, permetterà la messa a punto definitiva del progetto

Per la verifica di prestazioni e di stabilità sarà utilizzata strumentazione diagnostica avanzata, di tipo non invasivo, realizzata da ENEA.

CNR

Produzione di miscele combustibili (H₂, CO e CO₂) da processi di gassificazione di solidi carboniosi in un reattore a letto fluido.

Trattamenti del combustibile per l'ottimizzazione del processo di gasificazione al fine di limitare i fenomeni di comminazione ed incrementare la cinetica di conversione (es. pellettizzazione, additivazione) o la miscelazione del carbone con materiali selezionati di origine biogenica per indurre positivi effetti sinergici nel processo di gassificazione.

Separazione della CO₂ con membrane polimeriche mixed matrix e a trasporto facilitato.

c) *Cattura post-combustione della CO₂*

RSE

Sviluppo della tecnologia delle ammine ancorate su supporto solido (sorbente solido). Realizzazione, installazione e messa in servizio, in una centrale termoelettrica a carbone di un impianto pilota per trattare 100 Nm³/h di fumi.

Con i dati sperimentali raccolti, si procederà alla validazione del modello matematico dinamico dell'unità di assorbimento/desorbimento della CO₂ sviluppato sempre nell'ambito della Ricerca di Sistema. Con tale modello sarà realizzato un modello di simulazione di un impianto operante in continuo con il quale ottimizzare le procedure di esercizio ed effettuare valutazioni delle prestazioni energetiche.

ENEA

Studi modellistici e sperimentali sui processi di cattura della CO₂ con solventi. L'attività sperimentale verrà condotta sia su syngas prodotti in impianti di gassificazione, sia su effluenti gassosi provenienti dalla combustione del polverini di carbone, in relazione alla Piattaforma Pilota Sotacarbo, e ad attività in laboratorio ENEA condotte su un syngas e fumi simulati artificialmente.

Cattura post-combustione della CO₂ in impianti a carbone. Test di assorbimento della CO₂ dal syngas con l'impiego di diverse ammine, valutando di volta in volta l'influenza dei principali parametri di processo sulle efficienze di cattura. Studio del processo di rigenerazione termica dei solventi integrato con i necessari sistemi ausiliari. Oltre ai solventi liquidi noti, l'ENEA ha sviluppato un nuovo tipo di solvente che utilizza la resorcina in soluzione basica, che può rappresentare un'alternativa alle ammine. L'attività prevede la completa caratterizzazione del nuovo solvente ed il suo confronto con le ammine.

In parallelo si opera la modellazione del processo di cattura della CO₂ dal syngas da carbone con l'utilizzo di diversi tipi di solventi liquidi sia puri che in miscela, disciolti in acqua a differenti concentrazioni. La

finalità è quella di sviluppare modellistica di supporto alle attività sperimentali condotte sia nei laboratori che in scala più significativa sugli impianti ENEA/Sotacarbo.

Cattura pre e post-combustione della CO₂ in impianti alimentati a gas. Si tratta di una attività motivata dal crescente interesse all'impiego di gas, sia in considerazione dei nuovi scenari energetici sviluppatasi di recente, sia in considerazione della individuazione delle cosiddette riserve non convenzionali la cui entità e dislocazione geografica potrebbero modificare radicalmente il quadro attuale. Verranno condotti studi e sperimentazioni presso le attrezzature sperimentali dell'ENEA, opportunamente implementate, sia trattando gas combustibili sia separando la CO₂ dal gas naturale per la produzione di H₂ o syngas ad alto tenore di H₂.

CNR

Cattura di CO₂ su solidi granulari. L'attività riguarda da un lato l'individuazione e la definizione di processi di funzionalizzazione mediante ossidazione o impregnazione con liquidi ionici, di materiali solidi carboniosi a basso costo commercialmente disponibili (carbon black, carboni attivi) e all'uso prodotti da sistemi di combustione per la cattura di CO₂, dall'altro la messa a punto di un processo di adsorbimento di CO₂ su materiali solidi fini basato sull'impiego della tecnica fluidizzazione assistita da campi acustici di opportuna frequenza ed intensità.

Metodi di produzione di schiume solide carboniose a struttura cellulare aperta.

Valutazione delle prestazioni di sorbenti calcarei utilizzati in processi di calcium looping.

Valutazione sperimentale di processi enzimatici a base di anidraasi carbonica per la cattura della CO₂.

d) Confinamento della CO₂

RSE

Caratterizzazione di potenziali siti di stoccaggio nel mare adriatico e nel bacino carbonifero del Sulcis. Simulazione del comportamento della CO₂ e del sito durante e dopo l'iniezione. Accordo di collaborazione in essere con Carbosulcis.

Sviluppo di strumenti modellistici (fluidodinamica-geochimica-geomeccanica) per studiare il comportamento della CO₂ nei serbatoio geologici.

Studio di fattibilità sull'utilizzo della sismica a riflessione come strumento per studiare l'evoluzione nel tempo del processo di iniezione della CO₂.

Sviluppo e applicazione sperimentale di sistemi di monitoraggio dei flussi della CO₂ all'interfaccia sedimento-acqua in siti off-shore..

Caratterizzazione in laboratorio (in condizioni di serbatoio) dei materiali per lo stoccaggio geologico (rocce, pozzo di iniezione, trasporto).

Studio della mineralizzazione della CO₂ con acqua di mare.

ENEA

Ottimizzazione progettuale di un impianto dimostrativo a carbone con cattura e confinamento geologico della CO₂ mediante ECBM ed iniezione in acquiferi salini in un idoneo sito localizzato nella zona del Sulcis. Approfondimento degli aspetti di cattura, trasporto e stoccaggio con particolare riferimento alla ottimizzazione e successiva sperimentazione di una rete di monitoraggio geochimica. Tale rete garantirà l'integrità del serbatoio di stoccaggio e dimostrerà, attraverso il monitoraggio prima, dopo e durante la fase di iniezione, che è sempre garantita la sicurezza dell'uomo e dell'ecosistema.

Infine per quanto riguarda la partecipazione ad organismi nazionali ed internazionali i tre enti sono presenti in varie sedi assicurando la presenza nazionale a vari livelli e garantendo al Ministero la diffusione delle informazioni.

Da quanto esposto si evince che i programmi risultano complementari e atti a coprire tutto i punti salienti della ricerca sulla CCS. Esistono alcuni temi comuni sui quali i tre enti stanno operando, ma con approcci

diversi per tipo di attività, scelta tecnologica e relativo grado di maturità (ricerca di base, applicativa, dimostrativa).

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

LINEA DI ATTIVITÀ A: Produzione e trattamento combustibili gassosi e liquidi da carbone

A.1 Sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione

L'obiettivo è finalizzato alla messa a punto ed ottimizzazione di processi ed apparecchiature e procedure di controllo, per la gassificazione del carbone a letto fisso, nonché di sensoristica innovativa.

Le attività sperimentali verranno condotte, come in precedenza, sugli impianti della Piattaforma Pilota Sotacarbo e presso il C.R. Casaccia, operando con diversi agenti gassificanti ed in diverse condizioni di funzionamento.

Le prove sperimentali saranno volte inoltre ad acquisire dati e incrementare le competenze sui successivi processi di cleaning del syngas ottenuto dalla gassificazione, ed in particolare per ciò che attiene alle fasi di lavaggio, desolfurazione e separazione di polveri e tar. Le attività prevedono a tal fine l'arricchimento della dotazione dei laboratori analitici ove vengono operate analisi off-line sui campioni di tar, polveri e ceneri prelevati durante l'esercizio degli impianti e saranno svolte presso le infrastrutture sperimentali di Sotacarbo ed ENEA.

L'attività prevede anche la prosecuzione delle sperimentazioni condotte sugli impianti di Sotacarbo, volte a testare gli aspetti legati alla produzione di energia elettrica, mediante un motore a combustione interna, nonché la produzione di gas ad elevato tenore di idrogeno attraverso la conversione e purificazione del syngas effettuata con l'ausilio delle sezioni di shift e purificazione del gas di sintesi.

L'obiettivo prevede inoltre l'upgrade del sistema di acquisizione e controllo del mini impianto di gassificazione a letto fisso di ENEA (impianto GESSICA), con l'obiettivo di sviluppare successivamente una procedura di controllo automatizzata del processo di gassificazione.

L'attività prosegue azioni impostate nelle precedenti annualità.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulle modifiche e migliorie effettuate sugli impianti di gassificazione, sia dal punto di vista strettamente impiantistico che del controllo
- Rapporto sulla sperimentazione dei processi di gassificazione con produzione di energia elettrica e syngas ad alto tenore di idrogeno
- Rapporto sulla sperimentazione sui sistemi di clean up e trattamento del syngas

Principali collaborazioni: SOTACARBO, Università di Cagliari, Università di Pisa, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma "Tor Vergata"

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

A.2 Studi e test su processi avanzati di gassificazione/pirolisi e pulizia syngas integrati, per l'utilizzo di carboni ad alto contenuto di tar e zolfo

L'obiettivo concerne l'approfondimento delle conoscenze sui processi di devolatilizzazione e pirolisi applicati a tipologie di carbone di difficile utilizzo con le attuali tecnologie a causa dell'elevato contenuto di tar e zolfo, al fine di mettere a punto un processo innovativo di pre-trattamento e produzione di syngas pulito, di qualità migliore rispetto ai tradizionali processi di gassificazione, e di char a basso contenuto di zolfo.

Verrà studiata la possibilità di utilizzare sorbenti a base di dolomite sia come catalizzatori delle reazioni di cracking del tar sia come assorbitori di CO₂ e di composti solforati (H₂S).

La sperimentazione verrà effettuata utilizzando le attrezzature dei laboratori chimici nel C.R. Casaccia per la caratterizzazione di sorbenti e catalizzatori, e del C.R. Trisaia, con particolare riferimento ad un forno

rotante da banco, per le prove di pirolisi. In tale forno e in laboratorio si prevede di effettuare test di pirolisi del carbone del Sulcis variandone i parametri operativi (temperatura, pezzatura carbone, tempo di residenza, portata e tipologia gas di trasporto) e caratterizzandone sia i prodotti gassosi che il solido residuo (char e ceneri). La caratterizzazione delle ceneri, in particolare, darà informazioni necessarie a valutare la loro possibilità di utilizzo in processi di carbonatazione minerale mediante parte della CO₂ in uscita al processo.

L'attività è il proseguimento di azioni iniziate nelle precedenti annualità.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico di fattibilità di un sistema integrato di pirolisi/desolforazione e cattura della CO₂ per utilizzo di carboni ad alto contenuto di tar e zolfo;
- Caratterizzazione modellistica e sperimentale del processo di pirolisi del carbone del Sulcis finalizzata alla produzione di syngas e di char ed emissione di rapporto tecnico.

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

A.3 Analisi del processo di produzione di combustibili liquidi da carbone (Coal To Liquid)

L'obiettivo riguarda lo studio e definizione della configurazione impiantistica più idonea di un processo integrato di produzione di combustibili liquidi (Coal To Liquid) e gassosi (idrogeno) con cattura della CO₂.

A tal fine, sulla base delle attività di analisi condotte nella precedente annualità, verrà progettato un banco di prova sperimentale su scala laboratorio, e verrà individuata la miglior taglia e tecnologia per la realizzazione dell'impianto dimostrativo, sulla base anche delle implicazioni derivanti dall'uso di un carbone di basso pregio con elevati contenuti di zolfo e tar. L'analisi di sistema si indirizzerà sia alla taglia dell'impianto dimostrativo, che alla taglia necessaria all'integrazione dell'impianto già presente presso la piattaforma sperimentale di Sotacarbo. In particolare saranno effettuati studi e analisi di sensibilità mediante codicistica di sistema, di tipo commerciale, al fine di individuare e dimensionare una configurazione ottimizzata di impianto. All'interno dell'obiettivo prosegue l'attività sperimentale di supporto alla parte di analisi di sistema, su scala di reattori di laboratorio, al fine di studiare il processo Fisher Tropsch e definirne le condizioni operative.

L'attività è il proseguimento di azioni iniziate nelle precedenti annualità.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulla prefattibilità tecnico economica di un impianto dimostrativo CTL
- Progettazione di un banco di prova sperimentale su scala laboratorio
- Rapporto sull'attività sperimentale

Principali collaborazioni: SOTACARBO, Politecnico di Milano

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

LINEA DI ATTIVITÀ B: Aumento dell'efficienza delle tecnologie di cattura della CO₂ con produzione di elettricità "zero emission"

B.1 Attività sperimentali sulla cattura della CO₂ ad elevata temperatura mediante sorbenti solidi a base di ossido di calcio

L'obiettivo riguarda lo studio di un processo di cattura multi-ciclica della CO₂ ad alta temperatura da correnti gassose attraverso sorbenti solidi. A tal fine verrà caratterizzato un sorbente altamente rigenerabile a base di CaO disperso su una matrice di alluminato di calcio; inoltre verrà portato avanti l'adattamento e messa a punto dell'impianto sperimentale Zecomix per prove di assorbimento della CO₂ e dell'H₂S dal syngas prodotto mediante un gassificatore di carbone a letto fluido ad ossigeno.

A differenza dei sistemi di cattura con solventi, i sorbenti solidi lavorano a temperature prossime a quelle di produzione del syngas consentendo configurazioni impiantistiche con minori perdite energetiche. Il

sorbente solido utilizzato dovrà consentire di raggiungere il massimo compromesso tra efficienza di assorbimento della CO₂ alla temperatura desiderata (500-700 °C) e la durata del sorbente stesso (massimo numero di cicli assorbimento/rigenerazione). La rigenerazione del sorbente avviene generalmente ad una temperatura compresa tra gli 850 ed i 1000 °C e comporta una perdita nelle capacità sorbenti a causa dei fenomeni di sinterizzazione che fanno diminuire la superficie utile e quindi la reattività del sorbente stesso. La presenza di agenti inerti nella struttura del sorbente potrebbe contribuire a ritardare tale effetto e quindi aumentare il numero di cicli efficaci per il processo. Le attività del primo biennio hanno portato alla selezione di un sorbente a base di dolomite calcinata, testandone l'efficacia fino al 15° ciclo con una perdita della capacità assorbente dell'ordine del 35%. L'obiettivo è quello di selezionare un sorbente migliore, con l'aggiunta di opportuni additivi, al fine di superare i 50 cicli con una perdita di capacità inferiore al 20%. Il sorbente selezionato e caratterizzato nelle prove di laboratorio verrà impiegato nella sperimentazione sull'impianto Zecomix, già realizzato in Casaccia, opportunamente predisposto ed allacciato al gassificatore a letto fluido ad ossigeno approvvigionato nel corso della precedente annualità; tale gassificatore sarà completato degli ausiliari necessari e connesso all'impianto Zecomix ed in particolare al reattore di decarbonizzazione (carbonatatore), per testare il processo di produzione e concomitante pulizia di un syngas ad elevato contenuto di idrogeno e senza composti solforati, da mandare in turbina. Lo stesso sorbente utilizzato per la cattura della CO₂ può infatti essere utilmente impiegato per l'assorbimento dell'H₂S.

L'attività in oggetto verrà completata con la formulazione e lo sviluppo di un modello di un reattore di decarbonizzazione a letto fluido per uno studio più dettagliato del processo di cattura della CO₂. Una volta implementato, il modello verrà integrato in codici di calcolo commerciali per poterne utilizzare l'ampia libreria messa a disposizione per la simulazione di impianti. In alternativa il modello potrebbe essere distribuito come applicazione stand-alone potendo essere utilizzato, in tal modo, indipendentemente da una piattaforma software commerciale.

Risultati/Deliverable:

- Sintesi e caratterizzazione del sorbente rigenerabile
- Completamento impianto integrato di gassificazione, pulizia syngas e cattura CO₂
- Messa a punto dell'impianto Zecomix con il gassificatore allacciato
- Modellazione del processo di cattura della CO₂ per la simulazione dinamica di impianto
- Rapporti tecnici

Principali collaborazioni: Università dell'Aquila

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B.2 Studi modellistici e sperimentali sui processi di cattura della CO₂ con solventi

L'obiettivo consiste nell'acquisizione di dati e competenze sul processo di cattura della CO₂ con solventi liquidi. L'attività sperimentale verrà condotta sia su syngas prodotti in impianti di gassificazione, sia su effluenti gassosi provenienti dalla combustione del polverino di carbone, in relazione alla Piattaforma Pilota Sotacarbo, e ad attività in laboratorio ENEA condotte su un syngas e fumi simulati artificialmente.

L'obiettivo si articola in due temi.

Cattura post-combustione della CO₂ in impianti a carbone. Sul tema della cattura della CO₂ con solventi la letteratura è abbastanza ampia, tuttavia la valutazione sulla efficacia relativa, il suo deterioramento nel tempo, gli effetti corrosivi, ecc, in funzione anche delle condizioni operative, sono ancora affidati a metodi empirici. Per una valutazione più oggettiva, a valle di una prima comparazione prestazionale tra ammine primarie, secondarie, terziarie e/o miscele, vengono eseguiti test di assorbimento della CO₂ dal syngas con l'impiego delle diverse ammine, valutando di volta in volta l'influenza dei principali parametri di processo sulle efficienze di cattura. Viene successivamente effettuato lo studio del processo di rigenerazione termica dei solventi integrato con i necessari sistemi ausiliari.

Oltre ai solventi liquidi noti, l'ENEA ha sviluppato un nuovo tipo di solvente che utilizza la resorcina in soluzione basica, che può rappresentare un'alternativa alle ammine. L'attività prevede la completa

caratterizzazione del nuovo solvente ed il suo confronto con le ammine. Saranno studiate le proprietà di assorbimento della CO₂, e di desorbimento del gas, e in generale le sue performance.

In parallelo si opera la modellazione del processo di cattura della CO₂ dal syngas da carbone con l'utilizzo di diversi tipi di solventi liquidi (MEA, DEA, TEA, MDEA, SELEXOL, RECTISOL, etc.), sia puri che in miscela, disciolti in acqua a differenti concentrazioni. La finalità è quella di sviluppare modellistica di supporto alle attività sperimentali condotte sia nei laboratori che in scala più significativa sugli impianti ENEA/Sotacarbo.

L'attività è il proseguimento di azioni iniziate nel precedente triennio.

Cattura pre e post-combustione della CO₂ in impianti alimentati a gas. Si tratta di una nuova attività motivata dal crescente interesse all'impiego di gas, sia in considerazione dei nuovi scenari energetici sviluppatasi di recente, sia in considerazione della individuazione delle cosiddette riserve non convenzionali la cui entità e dislocazione geografica potrebbero modificare radicalmente il quadro attuale. Verranno condotti studi e sperimentazioni presso le attrezzature sperimentali dell'ENEA, opportunamente implementate, sia trattando gas combustibili sia separando la CO₂ dal gas naturale per la produzione di H₂ o syngas ad alto tenore di H₂.

Risultati/derivable:

- Rapporto tecnico sulla sperimentazione di sistemi di assorbimento e desorbimento della CO₂ a base di ammine
- Rapporto tecnico sulla sperimentazione condotta per qualificare un nuovo solvente a base di resorcina
- Rapporto tecnico sulla modellazione della sezione di cattura della CO₂ dal syngas da carbone

Principali collaborazioni: SOTACARBO, Università di Firenze

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B.3 Sviluppo di bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno

Nel corso dell'obiettivo B3 della precedente annualità è stato progettato un nuovo bruciatore per turbogas, di tecnologia Trapped Vortex, in grado di realizzare una combustione in assenza di fronte di fiamma (tecnologia MILD), stabile, efficiente e a basse emissioni, particolarmente indicata per la combustione di syngas ricchi di idrogeno provenienti da impianti con cattura della CO₂, operanti in modalità "pre-combustion". L'attività del presente obiettivo prevede il test sperimentale del nuovo bruciatore, installato sull'impianto MICOS di ENEA, opportunamente modificato.

Il nuovo bruciatore è caratterizzato da una geometria completamente innovativa. Elemento qualificante del progetto è l'articolato sistema di alimentazione di aria/gas che permette di realizzare un dominio regolare di combustione, caratterizzato dal forte ricircolo di prodotti di combustione che hanno l'effetto di stabilizzare la zona reagente, diluendo i reagenti freschi e limitando grandemente i picchi di temperatura. Questa configurazione ha l'effetto di minimizzare le emissioni di NO_x, assicurando inoltre la più alta efficienza di combustione (sfruttamento massimo del potere calorifico e minimizzazione di CO e incombusti).

La tecnologia proposta è alternativa alle migliori tecnologie "lean-premix", ampliando il range di funzionamento stabile di esse anche in condizioni di off-design (avviamento, regolazione).

L'attività sperimentale, affiancata da studi numerici (RANS e LES) per un'analisi delle prestazioni e delle condizioni di stabilità, permetterà la messa a punto definitiva del progetto.

Per la verifica di prestazioni e di stabilità sarà utilizzata strumentazione diagnostica avanzata, di tipo non invasivo, realizzata da ENEA.

L'attività è a prosecuzione di attività impostate e in parte svolte in precedenza.

Risultati/derivable:

- Test del nuovo bruciatore a tipologia Trapped Vortex per la combustione di syngas in sistemi CCS operanti in modalità "pre-combustion"
- Validazione del progetto definitivo di nuovo bruciatore

- Sviluppo di metodi numerici per la progettazione, basati su simulazioni CFD (RANS e LES) per lo studio della combustione MILD
- Emissione di un rapporto tecnico descrittivo dei risultati raggiunti

Principali collaborazioni: Università di Roma TRE

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B.4 Messa a punto di tecnologie numeriche per l'ottimizzazione del processo di ossi-combustione di polverino di carbone

L'obiettivo consiste nell'analisi numerica comparativa di sistemi a ossi-combustione per la cattura di CO₂, operanti in condizioni sia atmosferiche che pressurizzate.

Vengono sviluppati strumenti numerici per la simulazione, stazionaria e non, di flussi multifase in dispositivi di combustione a polverino di carbone di interesse industriale. In particolare gli sviluppi fisico-numerici sono finalizzati all'upgrade di modelli CFD-LES per la simulazione termo-fluidodinamica della combustione, in ambiente ricco di prodotti di combustione (CO₂ e vapore), di polverino di carbone tal quale e di uno slurry di acqua-carbone in ambiente pressurizzato.

Simulazioni RANS e LES finalizzate a tale scopo sono state realizzate nel corso della precedente annualità, con particolare riferimento alla tecnologia ISOTHERM PWR. L'attività della presente annualità verterà principalmente sulla messa a punto dei modelli relativi alla descrizione di particolari aspetti del processo di combustione del carbone in condizioni "oxy", con forte ricircolo di prodotti di combustione, quali la devolatilizzazione, la combustione di gas e di char, la produzione di inquinanti (NO_x; SO_x; soot). Tale attività ha come riflesso importante la realizzazione di uno strumento CFD ENEA (Codice HearT) orientato allo studio della combustione di miscele mono e multifase. Nel corso delle precedenti annualità HearT è stato arricchito di nuovi modelli fluidodinamici e chimici per lo studio dell'oxy-combustione del carbone. Tali modelli sono stati parzialmente validati con casi test di letteratura; nel corso di questa annualità l'attività verterà sulla messa a punto dei modelli ed un'ulteriore validazione mediante dati sperimentali provenienti da un impianto IFRF, (impianto IPFR, Isothermal Plug Flow Reactor), sul quale sono state condotte campagne sperimentali nel precedente biennio.

Si procederà alla ottimizzazione di un importante parametro di funzionamento rappresentato dalla diluizione con gas combustibili, parametro da ottimizzare al fine di rendere la temperatura adiabatica compatibile con i materiali della caldaia. Altri elementi da ottimizzare sono rappresentati dall'arricchimento in ossigeno.

Risultati/derivable:

- Sviluppo di sottomodelli per la simulazione dei processi di devolatilizzazione, ignizione, combustione di gas e di char, produzione inquinanti
- Simulazioni CFD dei processi di ossicombustione con tecniche RANS e LES per l'analisi dei processi di ossicombustione e per la messa a punto di modelli termofluidodinamici
- Prove sperimentali di validazione ed analisi di sensitività rispetto ad importanti variabili di processo
- Emissione di un rapporto tecnico descrittivo dei risultati raggiunti

Principali collaborazioni: Università di Roma "La Sapienza" DMA

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

LINEA DI ATTIVITÀ C: Tecnologie di sequestro e utilizzo della CO₂ e progettazione di un impianto dimostrativo completo

C.1 Studi sulle tecnologie di sintesi di combustibili gassosi dalla CO₂

L'obiettivo riguarda studi sperimentali relativi alla sintesi di combustibili gassosi da CO₂ e lo studio cinetico e termodinamico della reazione di metanazione.

La reazione di metanazione, cioè la conversione di CO_2 in CH_4 , a causa di limitazioni cinetiche, richiede l'uso di opportuni catalizzatori (metalli finemente suddivisi come Ni o Pd) per ottenere rese prossime al 100 %, nell'intervallo di temperatura 250-300 °C. I dati sperimentali disponibili, fanno però riferimento all'uso di gas puri, mancando uno studio sull'effetto che la presenza di agenti avvelenanti può avere sulla efficienza del catalizzatore. A conclusione dell'indagine cinetico-termodinamica, tesa a valutare l'effetto dei vari parametri sperimentali (pressione, temperatura, ecc.) sulla reazione, e quello dell'avvelenamento del catalizzatore ad opera di composti solforati (H_2S ed SO_2), attività che prosegue dall'annualità precedente, sarà allestito un piccolo impianto dimostrativo, su scala laboratorio, che realizzi, con continuità, la reazione con accumulo del metano prodotto.

La tecnica proposta rappresenta un soluzione alternativa al sequestro geologico della CO_2 , quando sia disponibile energia termica da fonte rinnovabile, quindi anche e soprattutto per autoproduzione distribuita. L'attività è a prosecuzione di attività impostate nella precedente annualità.

Risultati/Deliverable:

- Completamento della sperimentazione, condotta su un reattore sperimentale per la metanazione, approvvigionato nella precedente annualità
- Progetto ed allestimento di un impianto dimostrativo, su scala laboratorio, operante in continuo con accumulo del metano prodotto
- Emissione di un rapporto tecnico descrittivo dei risultati raggiunti

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.2 Studi su tecnologie di fissaggio della CO_2 con metodi chimici

L'obiettivo riguarda l'utilizzo di ceneri e rifiuti industriali alcalini come sorbenti di CO_2 .

In particolare viene studiato il processo che prevede l'utilizzo della CO_2 per la carbonatazione di ceneri (fly-ash) e rifiuti industriali alcalini provenienti dal settore siderurgico. Al fine di accelerare la fissazione della CO_2 verrà studiata la termodinamica e cinetica del processo, individuando, su scala laboratorio, le condizioni operative ottimali per massimizzare il processo stesso. L'obiettivo riguarda analisi di fattibilità e studi sperimentali a supporto, condotti su scala laboratorio.

Risultati/ Deliverable:

- Rapporto tecnico descrittivo dei risultati raggiunti in merito al processo di cattura della CO_2

Principali collaborazioni: Università di Roma "Tor Vergata"

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C.3 Ottimizzazione progettuale di un impianto dimostrativo a carbone con cattura e confinamento geologico della CO_2 mediante ECBM ed iniezione in acquiferi salini

L'obiettivo concerne lo studio di ottimizzazione progettuale ed operativa di un impianto dimostrativo di produzione di energia da carbone in una centrale elettrica che opera con la cattura e lo stoccaggio geologico dell'anidride carbonica prodotta, in un idoneo sito localizzato nella zona del Sulcis. L'obiettivo prevede l'approfondimento degli aspetti di cattura, trasporto e storage con particolare riferimento alla ottimizzazione e successiva sperimentazione di una rete di monitoraggio geochimica.

Tale rete garantirà l'integrità del serbatoio di stoccaggio e dimostrerà, attraverso il monitoraggio prima, dopo e durante la fase di iniezione, che è sempre garantita la sicurezza dell'uomo e dell'ecosistema.

Vengono condotte attività di studio e sperimentazione di una rete di monitoraggio geochimico costituita da una serie di centraline con misura diretta delle concentrazioni e/o di flusso della CO_2 , del CH_4 e di altri parametri di interesse (quali temperatura, umidità, pH, Eh, concentrazioni in falda, etc.) sulla superficie, in mare e all'interno di pozzi o altre vie di accesso al sottosuolo. L'attività avrà il fine di definire le variazioni

naturali dei valori di flusso e/o di concentrazione nei suoli della CO₂ prodotta da processi biologici (background o baseline) quali termini di riferimento per l'individuazione di eventuali fughe di CO₂ profonda.

Risultati/Deliverable:

- Sviluppo di una procedura relativa all'iter autorizzativo per la realizzazione di impianti con cattura e sequestro geologico della CO₂
- Rapporto sullo studio di ottimizzazione progettuale dell'impianto dimostrativo delle tecnologie CCS nell'area del Sulcis ed inquadramento normativo
- Rapporto sui sistemi di monitoraggio geochimico di siti di interesse per lo stoccaggio e sull'attività di caratterizzazione sperimentale relativa al bacino del Sulcis

Principali collaborazioni: SOTACARBO, Università di Cagliari, Università di Roma "La Sapienza"

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Partecipazione a organismi nazionali e internazionali

L'obiettivo prevede attività specifiche di supporto ai Ministeri competenti, attraverso la partecipazione a gruppi di lavoro internazionali.

Attraverso queste azioni, viene assicurato il contributo a numerose iniziative a livello internazionale volte ad intensificare la collaborazione fra i diversi Paesi per lo sviluppo e dimostrazione delle tecnologie CCS e CCT. Si allude in particolare alla partecipazione al Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), alla piattaforma europea sugli impianti alimentati a combustibili fossili a emissioni zero (ZEP), ai gruppi di lavoro dell'Implementing Agreement della IEA "Clean Coal Center" e all'European Energy Research Alliance (EERA) nell'ambito del Joint Program sulle CCS.

Oltre a questo sarà stimolata, con il patrocinio dell'Ambasciata Italiana in Korea, la realizzazione di un accordo di collaborazione tra ENEA e KIER (Korea Institute of Energy Research) finalizzato alla reciproca collaborazione sul tema delle tecnologie CCS.

Risultati/derivable:

- Pubblicazione di documenti e articoli scientifici, presentazione a seminari nazionali ed internazionali
- Rapporti sulle collaborazioni alle iniziative comuni a livello internazionale

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

A corollario delle attività di ricerca propriamente dette, sono previste attività specifiche di comunicazione e diffusione dei risultati ottenuti nel progetto.

Queste azioni coinvolgeranno istituti di ricerca universitari e non, che partecipano alle attività, e saranno attuate attraverso l'organizzazione di seminari, la pubblicazione di articoli e documenti tecnici sui risultati ottenuti in relazione allo stato dell'arte delle tecnologie. Sono inoltre previste due iniziative (congressi) a caratteri internazionale, uno dei quali organizzato congiuntamente con il CNR, allo scopo precipuo di evidenziare la complementarità delle rispettive linee di attività

Viene inoltre aggiornato un sito web interattivo sulle tematiche e tecnologie CCS trattate.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

Le attività del presente progetto sono tese a dimostrare ed accrescere le competenze su due aspetti fondamentali delle tecnologie CCS:

- è realmente possibile utilizzare in modo economicamente sostenibile i combustibili fossili, in primis il carbone, adottando tecnologie in grado di separare la CO₂ evitando che venga immessa in atmosfera;
- è realisticamente possibile garantire che la CO₂ possa essere confinata mediante stoccaggio geologico, sicuro e per lunghissimi periodi.

La riuscita delle due azioni principali previste, ossia da un lato l'avvio di un progetto dimostrativo in grado di verificare definitivamente tale opzione, dimostrando il buon funzionamento degli impianti per produzione di elettricità ed idrogeno e la sicurezza delle tecniche di confinamento geologico, dall'altro la finalizzazione di attività di R&S per la messa a punto di processi avanzati in grado di colmare gli effetti negativi della penalizzazione energetica e di costo, avrebbe molteplici ricadute positive: ci consentirebbe di allinearci al trend internazionale e di giocare un ruolo non residuale in Europa, con evidenti vantaggi anche per il nostro Sistema Paese, in quanto potrà consentire il conseguimento di fondamentali obiettivi quali abbassare i costi degli impianti dotati di tali tecnologie, creare un "valore" alla CO₂ sul mercato globale, abbassare i rischi di investimenti molto elevati, richiesti dalle tecnologie CCS.

**Progetto 2.2 "Utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO₂"
Obiettivi e relativi preventivi economici**

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
Linea A: produzione e trattamento combustibili gassosi e liquidi da carbone									
A1	Sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione	Set 2012	1500	105	40	40	1050	160	1395
A2	Studi e test su processi avanzati di gassificazione/pirolisi carbone Sulcis	Set 2012	900	63	92	45	0	0	200
A3	Analisi del processo Coal To Liquid	Set 2012	800	56	0	10	150	50	266
Linea B: aumento dell'efficienza delle tecnologie di cattura della CO₂ con produzione di elettricità "zero emission"									
B1	Cattura della CO ₂ ad elevata temperatura (ZECOMIX())	Set 2012	3215	225	80	150	0	70	525
B2	Studi sui processi di cattura della CO ₂ con solventi (ammine)	Set 2012	1000	70	25	10	200	40	345
B3	Sviluppo di bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di H ₂	Set 2012	1500	105	198	30	0	30	363
B4	Tecnologie numeriche per ottimizzazione ossi-combustione	Set 2012	1800	126	20	15	0	60	221
Linea C: tecnologie di sequestro e utilizzo della CO₂ e progettazione di un impianto dimostrativo completo									
C1	Studio cinetico e termodinamico della reazione di metanazione	Set 2012	1000	70	75	15	0	0	160
C2	Studi su tecnologie di fissaggio della CO ₂ con metodi chimici	Set 2012	700	49	30	10	0	60	149
C3	Impianto dimostrativo con sequestro CO ₂ zona del Sulcis	Set 2012	800	56		10	200	60	326
D. Collaborazioni internazionali		Set 2012	500	35	0	15	0	0	50
TOTALE			13715	960	560	350	1600	530	4000

a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca (di cui 1600 k€ per attività della partecipata SOTACARBO)

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA
Tematica di Ricerca	TECNOLOGIE DI RISPARMIO ELETTRICO E NEI SETTORI COLLEGATI INDUSTRIA E SERVIZI
Progetto 3.1	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi</i>

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il Piano Triennale 2009-2011 della Ricerca di Sistema Elettrico ha dato molta rilevanza al tema degli usi finali dell'elettricità, con l'obiettivo sia di individuare come le proposte di innovazione si calino e si adattino ai bisogni ed alle condizioni d'uso dei consumatori, sia per far emergere dal comportamento quotidiano degli utilizzatori le esigenze di ricerca da riportare al mondo produttivo.

E' l'utilizzatore finale che decreta il successo di un prodotto o di una proposta sulla base non solo delle prestazioni formali ma anche della flessibilità e della facilità d'uso, ugualmente anche il prezzo viene spesso percepito in rapporto stretto alle prestazioni. Questa miscela di motivazioni tecniche, economiche e di prestazioni percepite rende complesso il passaggio delle innovazioni dal laboratorio all'utente finale, problema questo sempre più rilevante oggi quando la grande industria, con le sue scelte formalizzate, perde il ruolo di consumatore principale di elettricità, sorpassata dal settore civile, servizi e residenziale.

L'obiettivo dell'attività è quello di promuovere e diffondere l'implementazione di tecnologie efficienti per la riduzione dei consumi elettrici nel settore dei servizi. Il riferimento programmatico è il Piano di Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica che intende mobilitare la società civile, i responsabili politici e gli operatori del mercato e trasformare il mercato interno dell'energia, in modo da fornire ai cittadini infrastrutture, prodotti, processi e servizi energetici che siano globalmente i più efficienti sul piano energetico.

Il Piano mette in luce l'importanza di applicare norme minime di rendimento energetico a un ampio ventaglio di apparecchiature e prodotti (dagli elettrodomestici come i frigoriferi ed i condizionatori, televisori, scalda-acqua, ecc., fino ai motori e agli inverter industriali), per gli edifici e per i servizi energetici. In questo contesto verranno proseguite le attività per l'adeguamento della normativa nazionale alla legislazione europea in merito a requisiti minimi (Eco-Design) e etichettatura.

Inoltre, un ruolo principale viene assegnato alla promozione dell'autoproduzione di energia e diffusione della cogenerazione nel settore terziario e dei servizi allo scopo di abbattere gli ostacoli e le barriere che ancora si frappongono all'estensione del mercato, anche attraverso l'analisi di meccanismi di incentivazione normativi ed economici.

Infine, un altro aspetto cruciale affrontato dal presente progetto riguarda lo sviluppo di strumenti e servizi per l'efficienza energetica con il duplice scopo di contribuire a ridurre i consumi aggiungendo "intelligenza" a sistemi complessi (sistemi di controllo per ecobuildings, reti attive di distribuzione, integrazione di sistemi di produzione di energia basati su fonti rinnovabili) oltreché sui singoli componenti consentendo di ottimizzare le operazioni nell'ottica di un minore consumo.

L'insieme delle precedenti azioni punta ad un modello di sviluppo in cui possano articolarsi in modo armonico sia i fattori connessi alla necessità di un'immediata riduzione dei consumi, sia quelli connessi alla necessità di preparare un cambiamento tecnologico industriale. In tale contesto le politiche centrate sullo stimolo della domanda hanno elevato considerevolmente il livello d'informazione sulle singole tecnologie e la disponibilità di normative forzanti o incentivanti, rendendo economicamente attraente il ricorso alle tecnologie efficienti ed all'integrazione delle fonti rinnovabili.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il Piano Nazionale per l'Efficienza Energetica, presentato nel luglio del 2007, ha individuato gli orientamenti che il Governo Italiano ha inteso perseguire per il raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica e dei servizi energetici. Dalla data di emissione del Piano ad oggi sono state emanate nuove disposizioni legislative, norme attuative (D.Lgs.115/08, legge 99/2009, ecc.) e atti di indirizzo che si collocano sul percorso che porta al raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Tali norme identificano la necessità di accelerare e assicurare l'attuazione dei programmi in corso, attraverso la definizione di misure anche di tipo strutturale che possano indirizzare gli sforzi e gli investimenti verso azioni per concretizzare le potenzialità.

Dunque, se si vuole allontanare l'orizzonte tecnologico occorre comprendere che il perseguimento del risparmio energetico deve includere la valutazione di un'offerta integrata che comprenda tecnologie, componenti e sistemi efficienti, impianti distribuiti di produzione di energia alimentati da fonti rinnovabili, strumenti di controllo e gestione, servizi energetici innovativi e strumenti di finanziamento efficaci che coinvolgano il sistema finanziario e le banche.

In tal senso l'approccio territoriale favorisce la creazione di veri e propri distretti energetici caratterizzati da tecnologie di generazione e di utilizzo integrate, monitorate e gestite a livello sistemico. In questo settore la situazione nazionale mostra un certo ritardo, ma l'occasione per un notevole sviluppo è ancora aperta grazie alla specificità territoriale, che vede l'Italia in posizione climaticamente e geograficamente avvantaggiata nell'ambito del bacino del Mediterraneo e particolarmente favorita per la generazione diffusa da fonte rinnovabile.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Lo stato attuale delle tecnologie per i principali usi finali ha permesso di migliorare mediamente del 30-40% la loro efficienza energetica rispetto agli anni '90, anche se l'attuale etichetta energetica ha perso efficacia in quanto la maggior parte dei modelli dei prodotti etichettati sono ormai nella massima classe di efficienza; questo problema verrà superato con l'applicazione del nuovo schema di etichettatura energetica. I requisiti di eco-progettazione, sia specifici che generici, approvati negli anni 2008-2010 non sono ancora entrati in vigore per la maggior parte dei prodotti. Importante sottolineare come l'ambito di applicazione della nuova etichettatura e dei requisiti di eco-progettazione sia stato ampliato a coprire non solo tutti i prodotti che consumano energia nella fase d'uso ma anche quelli che pur non consumando direttamente energia ne influenzano il consumo quando installati.

Il maggiore programma nazionale di promozione della diffusione di interventi di uso efficiente dell'energia, basato sulla creazione di un mercato per Titoli di Efficienza Energetica legati alla realizzazione di specifici interventi, dal 2005 ha realizzato interventi per un totale di 5,23 Mtep, di cui 3,88 di elettricità. Attualmente il programma mostra una serie di criticità e necessita, dunque, di una fase di riorganizzazione e di rilancio.

Questo programma individua le imprese di distribuzione come soggetti obbligati a disporre di Titoli, sia realizzati direttamente che acquistati dalle società di servizi energetici o ESCo (Energy Service Company), soggetti questi ultimi individuati come operatori potenziali del business degli interventi di efficienza energetica da realizzare presso milioni di utilizzatori.

Per questo è necessaria un'azione forte che richiede studi approfonditi su come sono cambiati i vari operatori coinvolti, in particolare le imprese produttrici e le ESCo e la ricerca di strumenti innovativi di finanziamento dei progetti di efficienza energetica che siano compatibili, in base al criterio dell'equa remunerazione cumulativa, con gli altri strumenti di incentivazione delle tecnologie efficienti.

Si evidenzia l'esigenza di sviluppare nuove metodologie e aggiornare le metodologie esistenti per la quantificazione semplificata dei risparmi energetici in applicazioni tecnologiche innovative/efficienti nell'ambito del meccanismo dei titoli di efficienza energetica; verranno eseguiti studi sui parametri di riferimento (condizioni di riferimento - *baseline*, algoritmi di valutazione dei risparmi conseguiti, addizionalità, ecc.) per la predisposizione di linee guida per le valutazioni dei progetti a consuntivo.

In tale contesto, la tecnologia di sistemi in assetto co-trigenerativo assumono un ruolo importante soprattutto se si valuta il potenziale del mercato disponibile. Tale mercato, che interessa tutti i principali settori dell'economia, industriale, civile e terziario è piuttosto diversificato per ciò che riguarda le necessità in termini di potenza e specifiche di funzionamento, ma lo stato dell'arte dimostra che la molteplicità delle tecnologie, delle apparecchiature e delle differenti tipologie di connessione offrono all'utente una vasta offerta.

In particolare, nel settore industriale nel 2010 si stima che circa 700 MW di impianti di cogenerazione di alta potenza dovranno essere sostituiti per fine vita; nel settore residenziale, esiste un potenziale bacino per applicazioni, soprattutto di microcogenerazione (< 50 kWe), rappresentata dai circa 13 milioni di edifici per un totale 27 milioni di appartamenti, senza considerare gli edifici monofamiliari per i quali sono adeguate macchine di taglia piccola (inferiori al kWe) che copiano le fattezze delle tradizionali caldaie murali e comprendono al loro interno anche il bruciatore di integrazione.

Infine il settore terziario presenta situazioni molto differenti e spesso con richiesta anche di freddo (necessità di trigenerazione); è anche il settore a maggior crescita della domanda energetica negli ultimi anni. Le dimensioni molto variabili potrebbero far ricadere in alcuni casi nella microcogenerazione (< 50 kWe), ma il mercato più consistente dovrebbe essere quello di taglie superiori, anche oltre la piccola cogenerazione (> 1 MWe). Le ore all'anno di utilizzo tendono a essere maggiori, anche per il frequente abbinamento ad assorbitori per la deumidificazione e il raffrescamento estivo.

In questo contesto, tuttavia, si frappongono notevoli barriere, che ostacolano un'ampia diffusione di queste tecnologie e che consistono: per gli utilizzatori nella difficoltà di ottenere i benefici previsti, e per i venditori nell'assistere gli utenti nell'apprendere come adattare il generatori alle proprie esigenze.

Un contributo al superamento di questi ostacoli e al generale miglioramento dell'efficienza energetica può essere fornito da un cambiamento verso un modello di produzione di energia distribuito, che vede nelle fonti rinnovabili e nei sistemi di autoproduzione i mattoni principali su cui costruire la propria architettura e che necessita di una maggiore integrazione e interoperabilità tra i vari componenti base a livello locale (utenze-edifici-impianti). E' proprio questo ultimo aspetto che mostra maggiore carenza di tecnologie mature e necessità di sviluppo di opportuni modelli simulativi, a scala prototipale, per verificare la fattibilità e le potenzialità tecniche di differenti configurazioni di reti e l'incidenza delle diverse strategie di controllo e gestione e manipolazione adottabili.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo finale dell'attività consiste nella realizzazione di strumenti e metodi, che mirano alla promozione di tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di favorire il mercato di prodotti più efficienti sia a livello di componenti, che consumano energia, sia a livello di sistemi che la producono, e all'integrazione di tali tecnologie e all'ottimizzazione della loro gestione in un contesto territoriale circoscritto per mezzo di una configurazione di rete secondo il modello di generazione distribuita orientata al settore dei servizi.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Le attività si articoleranno attraverso i seguenti temi:

1. Adeguamento della normativa nazionale (legislazione e standardizzazione) alla legislazione europea in merito a requisiti minimi di efficienza energetica ed eco-progettazione e all'etichettatura.
2. Supporto tecnico in Commissione Europea per la preparazione di specifiche tecniche per prodotti di particolare interesse per l'industria nazionale.
3. Messa a punto di metodi di misura delle prestazioni funzionali e del consumo energetico.
4. Definizione di criteri per la creazione di centri di validazione e qualificazione delle prestazioni energetiche degli apparecchi efficienti.
5. Studi e analisi dati (anche attraverso casi applicativi) relativi a sistemi di autoproduzione allo scopo di favorirne la diffusione e creare nuovi meccanismi di incentivazione.

6. Strumenti per la simulazione e valutazione dei consumi del sistema edificio-impianto per la progettazione e la programmazione degli interventi di riqualificazione energetica a larga scala su interi distretti.
7. Analisi e studi di prefattibilità di una configurazione di rete in grado di integrare sistemi di autoproduzione e fonti non programmabili ad utenza in un contesto territoriale localizzato.

I risultati ottenuti nella precedente annualità sono sintetizzati nel seguito:

A. Sviluppo delle specifiche per la progettazione eco-compatibile: promozione della nuova etichetta energetica

L'attività svolta ha portato alla pubblicazione il 30 novembre 2010 dei primi 4 Regolamenti delegati che implementano l'etichetta per frigoriferi e congelatori, lavatrici, lavastoviglie e televisori, che si affiancano ai requisiti di ecodesign precedentemente definiti per gli stessi prodotti. L'approccio italiano di sviluppare in parallelo la legislazione sull'etichettatura e quella sull'eco-progettazione, definendo requisiti sinergici per aumentare il risparmio energetico ottenibile, è stato pienamente accolto per i quattro prodotti. Lo stesso approccio è ora seguito per la negoziazione in corso per altri prodotti: cappe aspiranti, condizionatori, scaldacqua e boiler; l'etichetta per i condizionatori è stata adottata dalla Commissione a inizio maggio 2011 ed è ora al vaglio del Parlamento Europeo e del Consiglio.

In parallelo è continuata l'azione di preparazione dei metodi di misura – soprattutto per gli elettrodomestici del lavaggio (lavatrici, asciugatrici, lavasciuga) - che sono alla base dei requisiti di etichettatura/ecodesign in quanto permettono di misurare i parametri oggetto della legislazione comunitaria. Attualmente sono in fase di avanzata preparazione la nuova edizione dello standard IEC per le asciugatrici e lavasciugatrici e di quello europeo CENELEC per le lavatrici che fra l'altro contiene le nuove condizioni di prova per i cicli di lavaggio a pieno e mezzo carico utilizzati nella nuova etichetta energetica.

Infine ENEA ha definito un approccio metodologico, tecnicamente realizzabile ed economicamente sostenibile, per la verifica della conformità dei prodotti che è stato quindi applicato ad un campione di 80 modelli di frigoriferi e congelatori selezionati sul mercato europeo, per verificarne la conformità all'etichettatura energetica. I risultati dei test sono stati presentati a Bruxelles nell'aprile di quest'anno e hanno evidenziato da un lato come il controllo del mercato sia non solo essenziale, ma anche praticamente fattibile e non presenti difficoltà insormontabili e dall'altro che il livello di conformità ai requisiti dell'etichetta energetica debba migliorare.

B. Implementazione e controllo dell'etichettatura energetica e dei requisiti di Ecodesign

E' stata aggiornata la rete dei laboratori, in particolare per quanto riguarda le prove su forni elettrici: i laboratori sono stati contattati ed è stato preparato un elenco di laboratori, ciascuno con le sue caratteristiche, tipo di apparecchi su cui è possibile eseguire test, capacità di prova e riferimenti.

Per quanto riguarda il potenziamento dei laboratori di ENEA (Ispra) a livello europeo non sono emerse indicazioni per testare nuovi prodotti, pertanto ci si è concentrati sullo sviluppo di metodi di prova innovativi sui prodotti già di competenza dei laboratori (apparecchi del freddo e forni elettrici). Inoltre è stata definita l'acquisizione di strumentazione per la misura dei volumi degli apparecchi tramite laser scanner 3d. Il volume, infatti, è un parametro importante per la determinazione dell'efficienza energetica di un elettrodomestico e la misura dei volumi è apparentemente semplice (viene attualmente effettuata manualmente in tutti i laboratori); tuttavia l'interpretazione della normativa in materia è a volte difficoltosa. La nuova strumentazione permette quindi di sperimentare metodi innovativi di misura con la ricostruzione di un modello 3d dell'apparecchio.

C. Studi per la promozione delle tecnologie ad alta efficienza e delle ricadute sulle imprese della produzione e dei servizi

E' stato condotto uno studio sull'impatto del meccanismo dei certificati bianchi, un argomento cruciale rispetto alla diffusione delle tecnologie per il miglioramento dell'efficienza energetica soprattutto in settori meno sensibili, da questo punto di vista, come il settore terziario e industria.

Lo studio ha analizzato come tale meccanismo sia riuscito ad agevolare lo sviluppo di migliori competenze nel settore dell'efficienza energetica. In particolare si è evidenziato che il sistema dei certificati bianchi presenta un saldo economico positivo, ha incentivato la realizzazione di numerosi interventi di miglioramento energetico, quindi, presenta interessanti possibilità economiche in diversi settori; il sistema, però, presenta ancora delle difficoltà e degli ostacoli, e sono stati messi in evidenza tali problematiche e proposte alcune soluzioni. Infine è stata realizzata un'analisi per individuare quali modifiche, integrazioni o variazioni dell'attuale normativa, potrebbero dare una nuova spinta al meccanismo e aprire nuove strade a settori che non si sono ancora interessati al sistema.

Lo studio si è poi esteso ad altri strumenti di incentivazione che finora si sono poco diffusi a livello nazionale e locale, come ad esempio i fondi di garanzia, esaminandone le principali caratteristiche e riportando alcuni casi di riferimento.

D. Sviluppo e diffusione di modelli per la simulazione e la validazione di strategie ottimali di gestione del sistema edificio-impianto in un contesto di rete complessa

E' stato realizzato lo sviluppo di strumenti software per la valutazione dei risparmi energetici relativi al sistema edificio-impianto anche all'interno di distretti energetici territoriali.

Le attività si sono articolate attraverso diverse fasi che hanno riguardato: la definizione di edifici benchmark rappresentativi del parco edilizio nazionale per profili di utilizzo, forma e caratteristiche strutturali sui quali è stata condotta un'attività di valutazione e validazione della piattaforma (ODESSE) con simulazioni comparative mediante i *tools* TRNSYS e Energy Plus; lo sviluppo in ambiente Matlab/Simulink del modello di assorbitore a bromuro di litio, sia a carico nominale, che a carico parziale e della relativa torre evaporativa, l'integrazione dell'interfaccia utente del Solar DEC all'interno della piattaforma ODESSE, dei modelli ausiliari (chiller elettrico, accumulo e collettore solare) all'interno di diversi layout impiantistici del sistema Solar DEC e implementazione del relativo sistema di controllo.

Inoltre sono stati sviluppati in ambiente Matlab/Simulink, vari layout che rappresentano le configurazioni d'impianto che sfruttano i modelli sviluppati in ODESSE ed utilizzabili in maniera semplificata dall'utente; in particolare è stato anche integrato un modello di assorbitore a bromuro di litio nel modello di motore a combustione interna per cogenerazione di piccola taglia già presente in ODESSE per la simulazione di un sistema trigenerativo

Infine è stata svolta un'attività di monitoraggio e misura sperimentale per verificare le reali criticità di gestione remota di macchine con diverse tecnologie interfacciate bidirezionalmente con la rete elettrica e con reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento.

E. Comunicazione e diffusione dei risultati

Allo scopo di informare gli operatori del settore sulle scelte adottate a livello europeo, è stata svolta un'attività di diffusione dei risultati delle prove di verifica della conformità alla legislazione comunitaria per i frigoriferi e i congelatori, attraverso la partecipazione a workshop e seminari organizzati insieme alle associazioni di categoria. E' stato inoltre realizzato uno specifico workshop nazionale presso la Sede ENEA di Roma per presentare i risultati dell'azione di verifica dei prodotti alle parti sociali coinvolte, in particolare ai consumatori, dettaglianti e autorità nazionale di sorveglianza del mercato.

Inoltre sono stati redatti alcuni articoli scientifici, per quanto riguarda lo sviluppo di modelli per la gestione del sistema-edificio impianto e sono stati realizzati dei seminari e corsi di formazione.

In relazione alle attività dell'obiettivo A ENEA ha realizzato una serie di incontri con gli attori del mercato (consumatori, NGO, ESCO) e nelle scuole per la promozione della nuova etichetta comunitaria e del "green procurement"; questi incontri proseguiranno per tutto il 2011.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha ritenuto opportuno disporre la costituzione di gruppi di lavoro per garantire il coordinamento tra i soggetti affidatari (CNR, ENEA, RSE) delle attività svolte su tematiche affini allo scopo di evitare sovrapposizioni e valorizzare le risorse messe a disposizione attraverso azioni sinergiche.

Le attività relative al presente tema di ricerca sono state discusse e approfondite dal Gruppo di Coordinamento del progetto: *"Ricerche su reti attive, generazione distribuita e sistemi di accumulo di energia elettrica"*.

Il Gruppo di Coordinamento ha predisposto una Proposta Operativa di Coordinamento (gennaio 2011), ovvero uno strumento che assicura la pianificazione in termini quantitativi, qualitativi e temporali delle attività svolte dagli affidatari e agevola la procedura di controllo da parte degli organi preposti.

Gli obiettivi, le attività, i risultati attesi, le risorse e i tempi di realizzazione fissati in ciascun PAR costituiscono quindi i riferimenti rispetto ai quali sono state definite le modalità e le azioni di coordinamento; per quanto attiene il presente tema di ricerca le attività per cui è stato previsto il coordinamento riguardano la tematica "Integrazione di generazione distribuita e sistemi di accumulo nella rete elettrica di distribuzione" secondo la seguente articolazione:

- integrazione con rete in corrente continua: controllo bus dc e convertitori dc/dc;
- studio di reti di distribuzione attive in MT e BT;
- sviluppo sistemi di accumulo avanzati integrati nelle reti elettriche nelle seguenti applicazioni: Power Quality, Peak Shaving, servizi ancillari, sistemi ibridi a fonte rinnovabile (minieolico, fotovoltaico) operanti in isola, trasporto elettrico.

A seguito di un'attenta e approfondita analisi dei risultati ottenuti grazie alle attività delle precedenti annualità del Programma da parte dei tre affidatari si sono individuati i seguenti obiettivi comuni per quanto attiene alle tematiche svolte nell'obiettivo C del presente tema di ricerca.

1. Studio di reti di distribuzione attive in MT e BT

RSE metterà a disposizione per attività comuni le proprie competenze sul sistema elettrico e sulla pianificazione, esercizio e monitoraggio di reti distribuzione AC (in assenza e in presenza di Generazione Distribuita) per definire i requisiti delle future reti attive ed in particolare delle funzionalità che le risorse distribuite dovranno rendere disponibili per consentire una gestione attiva della rete.

CNR ed ENEA terranno presenti i requisiti sopra definiti nelle loro attività relative ai sistemi di accumulo elettrico e di generazione da connettere alla rete di distribuzione AC, affinché esse possano fornire alla rete i servizi e le prestazioni richieste. In particolare ENEA sta conducendo la progettazione di due casi applicativi relativi alla transizione verso reti attive, l'area "Capanna" nel centro Casaccia di Roma e l'isola di Pantelleria; a tale proposito ENEA terrà presente gli studi effettuati da RSE sul tema delle architetture di gestione e controllo di microreti e, in particolare, gli algoritmi sviluppati da RSE sull'argomento specifico. RSE d'altra parte potrà usufruire dei risultati delle applicazioni concrete in termini di qualificazione e validazione degli algoritmi sviluppati.

Un'attenzione particolare sarà dedicata all'auto elettrica e alla sua relazione con la rete. I risultati degli studi che RSE sta conducendo nel PAR 2010, relativi all'analisi dell'impatto della diffusione dei veicoli elettrici sulla rete di distribuzione costituiranno il riferimento comune per le valutazioni di sistema. In questo i tre affidatari affronteranno il problema di come le tecnologie di accumulo veicolari potranno essere impiegate nei servizi di supporto alla rete elettrica (Vehicle to Grid, V2G).

Anche per questo obiettivo il coordinamento si realizzerà tramite specifici incontri tecnici in cui saranno messe in comune le specifiche.

2. Sviluppo sistemi di accumulo avanzati integrati nelle reti elettriche nelle seguenti applicazioni: Power Quality, Peak Shaving, servizi ancillari, sistemi ibridi a fonte rinnovabile (minieolico, fotovoltaico) operanti in isola, trasporto elettrico

RSE fornirà le proprie competenze sulla qualità della tensione e la gestione di piccole reti isolate con fonti rinnovabili. RSE metterà anche a disposizione la propria test facility di GD in bassa tensione che potrà essere utilizzata per prove di sistemi di accumulo innovativi finalizzate alla Power Quality. Per le attività che prevedono lo sviluppo e la realizzazione di convertitori elettronici sperimentali, collegati a sistemi di accumulo e/o alla rete, si attiverà uno scambio di esperienze relativamente alle soluzioni adottate per la realizzazione dei prototipi. I risultati, conseguiti dai tre affidatari sull'impiego di sistemi di accumulo integrati nelle reti elettriche, saranno condivisi attraverso riunioni periodiche nelle quali si pianificheranno le attività dei prossimi PAR con l'obiettivo di massimizzare le possibili sinergie, evitando sovrapposizioni non necessarie.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

A. Etichettatura Energetica ed Ecodesign: sviluppo di specifiche, implementazione e controllo di mercato

In funzione del piano di lavoro della Commissione Europea (DG Energia e DG Impresa) proseguirà l'azione di supporto allo sviluppo (partecipazione ai Comitati delle diverse Direttive e al controllo gruppo ADCO) della legislazione europea sull'etichettatura e i requisiti minimi per l'efficienza energetica per nuovi prodotti, in particolare saranno presi in considerazione sia grandi prodotti (gli scaldacqua e le caldaie per il riscaldamento domestico e la produzione d'acqua calda sanitaria) che piccoli apparecchi (aspirapolvere, asciugatrici, macchine per il caffè, ecc.). Per quanto riguarda invece il controllo della corretta implementazione dell'etichettatura energetica, verrà realizzata un'analisi sulla presenza nel mercato nazionale delle etichette energetiche (per i prodotti coperti da direttive/regolamenti di etichettatura già entrati in vigore) in modo anche da valutare la velocità di sostituzione dei modelli nei punti vendita attraverso l'analisi del rapporto fra la presenza della "vecchia" e della "nuova" etichetta per lo stesso prodotto.

In funzione dell'implementazione di requisiti di Etichettatura o Ecodesign su altri tipi di apparecchi o della realizzazione da parte della Commissione Europea di studi preparatori all'ecodesign per specifici prodotti, si potranno attivare le relative procedure di prova nei laboratori. Al momento sono state esaminati i metodi di prova per altri apparecchi per la cottura (forni a microonde) o piccoli elettrodomestici, come ferri da stiro o aspirapolvere. Proseguirà l'azione a livello mondiale (IEC) ed europeo (CENELEC) di preparazione dei metodi di misura per i parametri prestazionali (efficienza energetica e prestazioni funzionali) e del rumore degli apparecchi per il lavaggio (lavatrici, asciugatrici, lavasciugatrici). Si proseguirà nell'aggiornamento del network dei laboratori per la sorveglianza di mercato.

Poiché l'etichettatura energetica e la sorveglianza del mercato sono due temi di grande attualità anche per il loro contributo al raggiungimento dei target nazionali ed europei di riduzione del consumo energetico, proseguirà l'azione di disseminazione presso i consumatori e le parti sociali delle nuove etichette energetiche, nonché degli eventuali risultati delle prove di conformità e sarà effettuata una nuova analisi sulle abitudini dell'utenza finale.

Risultati/Deliverable:

- **Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività di sviluppo di nuovi metodi e implementazione a livello nazionale della legislazione europea sull'etichettatura e i requisiti minimi per l'efficienza energetica**
- **Rapporto tecnico contenente risultati dei test svolti sulle apparecchiature e della sorveglianza sui laboratori di riferimento**

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

B. Promozione della microgenerazione in un contesto di micro-rete attiva per applicazioni nel settore civile

Nel contesto della generazione distribuita e delle reti elettriche intelligenti, la microgenerazione diffusa di taglia <10 kWe potrebbe assumere un ruolo decisamente importante nella gestione e controllo delle microreti attive, soprattutto se si valuta anche il potenziale mercato disponibile costituito da un bacino di applicazioni rappresentato dai circa 13 milioni di edifici per i quali adeguate macchine di taglia piccola potrebbero sostituire o integrare le tradizionali caldaie murali.

In questo contesto, proseguendo l'attività iniziata nella precedente annualità, si intende procedere allo sviluppo e validazione, anche attraverso test sperimentali, di nuovi modelli matematici per la simulazione di motori endotermici alimentati a gas di taglia compresa tra 1 e 10 kWe in assetto cogenerativo classico o in modalità MGHP cioè con un principio di funzionamento simile a quello delle Pompe di Calore elettriche (EHP) con la differenza fondamentale che l'azionamento del compressore avviene tramite il motore endotermico invece che attraverso un motore elettrico. Inoltre, i modelli sviluppati verranno integrati all'interno della piattaforma di simulazione edificio-impianto, sviluppata nelle precedenti annualità, per valutare e analizzare nuove configurazioni impiantistiche ibride in grado di migliorare ulteriormente le prestazioni elettriche e termiche dei generatori di piccola taglia.

La microgenerazione diffusa soffre ancora di una posizione del tutto marginale, tuttavia nella comunità scientifica internazionale molteplici risorse vengono concentrate sull'argomento specifico, con particolare attenzione alle applicazioni per uso residenziale. Tali approfondimenti vengono svolti in relazione a specifiche tecnologie (motori stirling, pompe di calore geotermiche, ecc.) che si devono adattare alle caratteristiche climatiche del territorio e ai profili di utenza; le attività del presente obiettivo mirano anche a caratterizzare tali peculiarità nel caso nazionale.

Risultati/Deliverable:

- **Rapporto tecnico contenente i risultati dell'attività di modellazione e di assessment**

Principali collaborazioni: Politecnico di Torino (Dipartimento DENER), FIRE

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C. Sviluppo di strategie ottimali di gestione delle reti termiche

Per raggiungere obiettivi di risparmio di energia primaria e di contenimento di emissioni, rispetto alla tradizionale "produzione" separata, devono essere presi in esame sistemi energetici complessi, di piccola taglia e ad elevata efficienza di conversione, in grado di soddisfare "in situ" richieste frigo-termo-elettriche differenziate. Le potenzialità di contenimento delle emissioni e dei consumi energetici dei dispositivi di poligenerazione distribuita derivano prevalentemente dalla riduzione delle "perdite" energetiche legate al vettoriamento dell'energia ad elevata distanza ed ai frequenti funzionamenti a carichi parziali tipici degli impianti di taglia elevata. Inoltre esistono vantaggi economici e benefici dovuti alla maggiore indipendenza energetica dell'utenza e legati ad un più razionale utilizzo stagionale del gas naturale e dell'energia elettrica.

In tale contesto, proseguendo l'attività iniziata nella precedente annualità, si intende procedere allo sviluppo e validazione, attraverso test sperimentali, di algoritmi per la gestione telematica e remota di dispositivi di poligenerazione per applicazioni distribuite in utenze residenziali e del piccolo terziario (distretto energetico).

Risultati/Deliverable:

- **Rapporto tecnico contenente le caratteristiche degli algoritmi e i risultati ottenuti**

D. Sviluppo di modelli per il contenimento dei consumi energetici nel sistema edifici-impianti connesso ad una rete complessa

Allo scopo di realizzare una progettazione ottimizzata nell'ottica dei distretti energetici e/o cluster di edifici proseguendo le attività iniziate nelle precedenti annualità si intende ampliare le caratteristiche della piattaforma, già sviluppata, con l'introduzione del modello multi-edificio, focalizzando l'attenzione alle problematiche connesse alla previsione dei carichi elettrici e termici (con particolare riferimento ad alcune applicazioni tipiche del settore terziario) e alla gestione intelligente della rete elettrica nell'ottica della generazione distribuita.

In tale contesto, in particolare, si intende procedere all'acquisizione dei profili di consumo elettrico orario di utenze "tipo" per i settori residenziale e terziario nelle diverse zone climatiche italiane al fine di individuare un andamento giornaliero indicizzato del carico e i relativi fattori di utilizzazione e contemporaneità in modo che possano essere di supporto alla determinazione del carico reale per una rete attiva a servizio di più utenze presenti all'interno di un distretto locale.

Verrà inoltre data particolare attenzione alla caratterizzazione del profilo elettrico orario dei centri di elaborazione dati (CED), essendo, assieme alla climatizzazione ambientale, uno dei principali centri di consumo per gli edifici del settore terziario.

A seguito di un monitoraggio elettrico dei CED presenti in diverse strutture pubbliche e private, verranno effettuate delle valutazioni parametriche rispetto ad indicatori di consumo appropriati in grado di stimare i benefici apportati alla rete e all'edificio in termini energetici derivanti sia dall'utilizzo di tecnologie più efficienti nell'elaborazione dei dati (processori più performanti, ecc.) sia l'adozione di nuovi paradigmi (cloud computing, ecc) nonché l'applicazione di strategie e tecniche innovative per la climatizzazione ambientale.

Mediante simulazioni dinamiche verranno individuati possibili strategie di miglioramento rispetto all'attuale stato dell'arte, in relazione a:

- analisi di innovativi sistemi per la regolazione e controllo dell'impianto di climatizzazione;
- analisi di innovative tecniche passive per il recupero energetico e la climatizzazione (free cooling, innovativi scambiatori di calore, ecc.);
- valutazione del riutilizzo della potenza termica recuperata per la climatizzazione dell'edificio;
- selezione di tipologie impiantistiche appropriate.

Nella prospettiva di consentire un'analisi completa dei distretti energetici locali connessi a complessi sistemi di poligenerazione distribuita, si intende ampliare la piattaforma di simulazione con modelli matematici in grado di valutare i principali parametri elettrici (tensione, potenza) ed energetici (perdite) della rete di distribuzione e delle cabina di MT a servizio del sistema di generazione distribuita.

Lo strumento da mettere a punto in ambiente dedicato, a partire da idonea modellazione in termini probabilistici e parametrici della richiesta elettrica delle unità considerate e della quota parte di tale richiesta destinata al fabbisogno termico, consentirà di rappresentare a modello il sistema elettrico a servizio del distretto. Per esso sarà possibile sviluppare una valutazione della possibilità di rendere specifici servizi ancillari, di eventuali congestioni (attraverso anche l'impiego di tecniche dedicate di tracciabilità dei flussi di potenza), oltre alla stima e valutazione dello stato del sistema (profilo delle tensioni).

In tal modo, la nuova piattaforma di simulazione consentirà al progettista di valutare oltre richieste frigo-termo-elettriche differenziate del distretto locale anche le problematiche connesse al vettoriamento dell'energia elettrica sulla rete. In tale contesto verranno analizzati e validati algoritmi sviluppati nell'ambito del Programma Ricerca del Settore Elettrico anche da altri affidatari.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico contenente i risultati delle attività di sviluppo e validazione dei modelli

Principali Collaborazioni: Politecnico di Milano (Dipartimento di Ingegneria Elettrica), Università di Roma La Sapienza (CITERA), Università di Palermo (Dipartimenti DREAM e DIET)

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

Al fine di dare ampia comunicazione dei risultati ottenuti, oltre alla diffusione dei rapporti di ricerca realizzata attraverso il sito istituzionale, dal quale saranno resi scaricabili i deliverables, sono previste e programmate numerose altre iniziative di disseminazione.

Il Ministero dello Sviluppo Economico sarà tra i soggetti verso cui saranno indirizzate le attività di diffusione dei risultati ottenuti, sia in relazione agli studi specificamente per esso sviluppati (supporto allo sviluppo della legislazione europea sull'etichettatura e i requisiti minimi per l'efficienza energetica per nuovi prodotti), sia più in generale in relazione alla caratterizzazione di tecnologie efficienti la cui diffusione viene stimolata attraverso meccanismi di incentivazione.

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 associazioni di categoria e/o professionali.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

Un uso più diffuso di tecnologie innovative ed efficienti e una migliore e razionale gestione dell'energia consentono, insieme a concreti benefici economici in termini di riduzione dei costi di approvvigionamento energetico per le utenze finali (tra cui principalmente le aziende che attueranno programmi di efficienza energetica seguendo un approccio di tipo sistemico), una complessiva riduzione dei consumi energetici ed una migliore integrazione dei carichi energetici locali nelle reti energetiche nazionali.

Tali obiettivi si possono raggiungere solo attraverso un programma articolato di azioni sinergiche che da un lato mirano a selezionare nel mercato solo prodotti ad alta efficienza, ad esempio il sistema comunitario di etichettatura energetica e la direttiva Eco-Design hanno infatti spinto i produttori a migliorare i propri apparecchi. Dall'altro, soprattutto nel settore dei servizi, tendono a sviluppare nuove soluzioni e architetture di impianto in contesti territoriali localizzati con forte componenti di autoproduzione di energia e fonti rinnovabili.

In tal senso considerando gli indubbi vantaggi che potrebbe apportare la cogenerazione in termini di riduzione del fabbisogno di energia primaria (fino al 30% rispetto alla produzione separata) e di impatto ambientale (450 g di CO₂ evitato per ogni kWh elettrico generato rispetto alla produzione separata), si considera necessario promuovere e diffondere sul territorio nazionale le tecnologie integrate di piccola taglia (da 1 a 15 kW elettrici).

L'aumento del numero degli impianti di piccola-media dimensione collegati alla rete distributiva o a sistemi di accumulo produce maggiore efficienza produttiva e riduce il costo di distribuzione. La vicinanza degli impianti di produzione dell'energia ai punti di consumo finale (utenza) consente un minore trasporto dell'energia elettrica e una minore dispersione nella rete distributiva. Come qualsiasi modello di economia a rete, il sistema "distribuito" garantisce una maggiore capacità di adattamento e flessibilità dei centri di produzione in relazione ai centri di consumo (centri commerciali, centri direzionali, quartieri, abitazioni).

Progetto 3.1 “Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi”
Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Etichettatura Energetica ed Ecodesign: sviluppo di specifiche, implementazione e controllo di mercato	Sett 2012	1140	80	20	20	0	0	120
B	Promozione della microgenerazione nel settore civile	Sett 2012	1070	75	0	15	40	0	130
C	Sviluppo di strategie ottimali di gestione delle reti termiche	Sett 2012	1215	85	10	10	0	90	200
D	Sviluppo di modelli per il contenimento dei consumi energetici nel sistema edifici-impianti	Sett 2012	1215	85	60	10	0	100	250
TOTALE			4640	325	90	55	40	190	700

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA
Tematica di Ricerca	RISPARMIO DI ENERGIA ELETTRICA NELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA
Progetto 3.2	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>Innovazione nella illuminazione pubblica: nuove tecnologie ed integrazione smart con altre reti di servizi energetici</i>

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Innovazione nella illuminazione pubblica: nuove tecnologie ed integrazione smart con altre reti di servizi energetici

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il prodotto dell'attività è un insieme di proposte, logiche e fisiche, mirate ad aumentare l'efficienza energetica nella pubblica illuminazione, intesa in senso lato, cioè comprendendo situazioni di illuminazione di ambienti pubblici non solo in esterni.

In ottica "smart", l'infrastruttura del sistema di illuminazione a sua volta viene utilizzata come struttura portante di una rete di sensori, di sistemi di comunicazione e di applicazioni intelligenti il cui scopo è quello di rendere più efficiente dal punto di vista energetico e funzionale la gestione di reti urbane connesse a servizi energetici pubblici: per questo il prodotto è lo sviluppo di una serie di tecnologie ICT (compresi sensori, rete di trasporto dati, sistemi intelligenti di regolazione... in una unica piattaforma informativa) per un approccio adattivo dell'illuminazione (Energy on demand) con tele gestione, monitoraggio del traffico e aperta ad altri sviluppi. Il vantaggio è una riduzione dei costi rispetto ad approcci parziali e anche un minor costo per la rete infrastrutturale, che viene condivisa da più applicazioni, elemento importante per la "smart city".

L'attività di ricerca è più efficace se evidenziata da installazioni sperimentali o dimostrative, con una forte comunicazione e trasferimento tecnologico verso gli operatori del settore, le pubbliche amministrazioni e gli utenti finali. Pertanto anche questo aspetto viene opportunamente valorizzato nel progetto.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

L'efficienza energetica di un qualunque dispositivo, illuminazione compresa, è legata all'efficacia del dispositivo stesso, ovvero alla sua capacità di ottenere i risultati voluti.

E' necessario quindi svolgere attività di ricerca, sia teorica che sperimentale, sui singoli elementi che compongono la "catena illuminotecnica": sorgenti di luce, apparecchi di illuminazione, parametri illuminotecnici critici, tipi di impianto, caratteristiche del manto stradale, parzializzazione del flusso luminoso in relazione alle condizioni locali, ecc.

In parallelo è necessario studiare, per minimizzare, gli effetti negativi dell'illuminazione artificiale: tipicamente il flusso disperso verso l'alto negli impianti in esterno, che va a comporre quello che comunemente si chiama "inquinamento luminoso". L'illuminazione artificiale notturna ha anche un impatto ambientale sull'ambiente naturale e urbano ed è importante cercare un primo approccio per scegliere, tra differenti alternative di attuazione di un progetto, quelle a minore impatto ambientale possibile.

E' altrettanto importante svolgere attività di ricerca sull'interazione della luce artificiale con l'uomo, principale utilizzatore della stessa, in quanto all'evolversi della tecnologia alcune assunzioni finora utilizzate per quantificare parametri illuminotecnici stanno diventando insufficienti. Tipico è il caso del color rendering index (CRI), pensato per misurare quanto una sorgente luminosa preserva l'apparenza cromatica degli oggetti osservati sotto di essa. I nuovi sistemi di illuminazione, basati su LED, possono avere un CRI

basso, ma un piacevole aspetto visivo (visual appeal) ed una buona preservazione della sensazione di colore. E' importante anche collegare l'indice di resa cromatica con il contrasto locale percepito in una reale condizione di utilizzo dell'illuminante, oppure studiare la curva di sensibilità dell'occhio (V_{λ}), che collega le grandezze fotometriche a quelle radiometriche in funzione delle nuove sorgenti luminose. Questi problemi sono di grande importanza non solo per l'architettura o il design, ma anche per l'ergonomia e in definitiva per l'efficienza energetica.

Il documento SEC(2009) 1295 della Commissione Europea (la technology roadmap per il SET PLAN) dichiara che per raggiungere nel 2020 una riduzione delle emissioni di gas serra del 40 % attraverso l'uso sostenibile e la produzione di energia è necessario adottare approcci sistemici ed innovazione organizzativa che includono efficienza energetica, tecnologie "low carbon" e gestione "smart" della produzione e della domanda di energia, in particolare misure su edifici, reti energetiche locali e trasporti dovrebbero essere i componenti principali delle iniziative. La tematica "smart city" è presentata come una delle sette misure prioritarie per affrontare la problematica energetico-ambientale, terza misura in termini di consistenza dell'investimento europeo. Per l'attuazione del SET PLAN sono partite a livello europeo due importanti iniziative, la "Smart City European Industrial Initiative" ed il Joint Program su "Smart City" della EERA (European Energy Research Alliance). ENEA coordina le attività di EERA ed ha un ruolo significativo nel gruppo sulle Smart City dove coordina la rete italiana ed una delle quattro aree in cui sono organizzate le attività europee (urban network integration).

A livello internazionale l'attenzione sul tema Smart Cities è crescente, dimostrato anche da progetti pilota di varia natura. In Italia esistono esperienze separate nei vari settori citati (illuminazione ad alta efficienza, mobilità sostenibile, edifici a controllo remoto) ma non esiste un progetto che mira allo sviluppo di una piattaforma integrata che permetta di condividere le informazioni sensoristiche raccolte tramite il sistema di illuminazione pubblica ed utilizzarle in modo trasversale secondo un approccio adattivo.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Lo sviluppo delle tecnologie e la penetrazione sul territorio stanno avvenendo a velocità diverse.

Si assiste ad esempio alla crescita molto rapida dell'efficienza luminosa dei LED, mentre non è ancora ben definita una metodologia unica per la valutazione delle prestazioni fotometriche, anche a lungo termine, dei sistemi di illuminazione a stato solido. Sul mercato si presentano quindi soluzioni molto valide e altre poco accettabili, ma è spesso difficile per i potenziali acquirenti, primi tra essi. le amministrazioni pubbliche, effettuare una valutazione completa (energetica, di durata, prestazionale...) di quanto offerto.

Sul fronte normativo europeo, l'emissione dei Regolamenti di Ecodesign del 2009 ha portato una piccola "rivoluzione" soprattutto sulle lampade per uso domestico, mentre l'influenza sul mercato dell'illuminazione professionale è visibile, anche se in parte mascherata soprattutto dal forte incremento di soluzioni a LED in illuminazione outdoor. E' in corso una fase consultiva su requisiti per nuovi prodotti (partendo da lampade direzionali per uso domestico), ma si sta anche pensando all'efficienza dell'intero impianto installato, oltre che dei singoli componenti.

L'efficienza dell'impianto è anche alla base delle nuove schede standardizzate per Certificati Bianchi sull'illuminazione stradale, emesse recentemente dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG), che superano il concetto delle vecchie schede dove il parametro fondamentale era la semplice sostituzione di lampade.

Dall'esperienza passata si è visto che è importantissimo non solo il trasferimento tecnologico ma anche la comunicazione in sé, proprio per fornire a tutti la possibilità di scelta "consapevole" delle nuove tecnologie disponibili sul mercato.

L'evoluzione della rete di illuminazione pubblica verso le tecnologie "smart", cioè in grado di supportare molti altri servizi intelligenti, è di per sé uno degli elementi più significativi e maggiormente in movimento nel settore della illuminazione pubblica in quanto la pone al centro della infrastruttura cittadina di governo della stessa città. Ne rappresenta pertanto una evoluzione notevole sia nella direzione di innovazione tecnologica che di capacità di accogliere investimenti produttivi. L'unione con le tecnologie a stato solido

dove le esigenze di telecontrollo e gestione della luce sono facilitate, costituisce l'elemento di innovazione più importante in questa fase di sviluppo.

Tale ruolo, che va molto oltre il ruolo tradizionalmente coperto dalla rete di illuminazione pubblica, si va consolidando grazie al fatto che, per sua natura, presenta una diffusione capillare sul tessuto urbano. Inoltre l'uso di tecnologie e di telegestione punto-punto (basata su tecnologia PLC, Power Line Communication o tecnologie ZigBee o wifi) costituisce di fatto le fondamenta abilitanti per gli smart services. Ove le condizioni infrastrutturali siano buone, la tecnologia PLC è in grado di sostenere un flusso di dati molto elevato e con significativa accuratezza, per cui il palo della illuminazione può evolvere verso il palo "intelligente", ossia che supporta sensori di varia natura che operano nelle vicinanze del palo (fisse o mobili) e che comunicano in modalità wireless con il palo stesso (es: tecnologia Zigbee, piccole antenne digitali a bassa potenza) ed invia le informazioni verso altre componenti urbane fisse o mobili e successivamente avviati su reti ad alta velocità verso un server di raccolta per l'analisi e l'utilizzo.

Particolarmente interessanti sono i servizi che possono essere messi in gioco per il monitoraggio, diagnostica ed ottimizzazione remota della gestione di reti di edifici. Sia nel caso degli edifici del terziario e sia in quelli del settore residenziale. L'idea di base è che la rete di illuminazione pubblica possa essere integrata con tale rete fino a trasportare servizi di supporto alla gestione stessa del singolo appartamento o di un condominio o di un ufficio. Ovviamente tali servizi richiedono la presenza di una infrastruttura urbana che attualmente non esiste ma che potrebbe essere supportata dalla rete della pubblica illuminazione. Per questo è quindi necessaria una attività di ricerca e di comunicazione anch'essa a diversi livelli.

OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

Il progetto si sviluppa su più linee di attività:

- ricerca sull'interazione della luce con l'uomo e con l'ambiente
- ricerca su materiali per dispositivi a OLED e LED
- sviluppo di sistemi innovativi di smart lighting
- sviluppo di un sistema di gestione di una rete di edifici integrata con il sistema di illuminazione pubblica
- sviluppo di una sperimentazione dimostrativa di "smart village" e metodi di progettazione
- partecipazione ai network nazionali e internazionali
- sperimentazione territoriale ed assessment dei prodotti del Network Lumiere

Le diverse linee di attività si svolgono tutte fondamentalmente in parallelo e hanno la durata di un anno.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Il progetto parte dai risultati raggiunti nel PAR 2008-2009 e nel PAR 2010 e ne sviluppa l'implementazione e nuove tecnologie.

Nel PAR 2008-2009 la ricerca su LED / OLED ha portato allo sviluppo di una metodologia per la valutazione dell'affidabilità degli apparecchi di illuminazione a LED, a partire dai dati forniti dai costruttori dei semiconduttori per arrivare a validare il modello attraverso delle prove in laboratorio sull'intero prodotto/prototipi. Sono state eseguite misure della distribuzione spettrale nello spazio di sorgenti e apparecchi a LED. E' stato progettato un elemento illuminante modulare a LED per illuminazione pubblica, chiamato PLUS, per quanto riguarda la parte ottica e di design, e, nel PAR 2010 è stato sviluppato un progetto funzionale di un sistema integrato con sensori di altra natura (es: micro-videocamere). E' stato realizzato un prototipo funzionale con i nuovi elementi di STAPELIA (foglia a LED, nuovo dispositivo per il bilanciamento dei moduli fotovoltaici e per la gestione della batteria). Attualmente è in fase di test sul campo. Sono stati realizzati test percettivi per la valutazione di differenti indici di resa cromatica e per la valutazione del contrasto di immagini digitali ed è stato realizzato un tool software per tali valutazioni.

Nel PAR 2011 tale attività proseguirà in tre direzioni: quella della ricerca sulla interazione della luce con l'uomo e con l'ambiente; quella specifica sui materiali per dispositivi a OLED o LED; quella dello sviluppo di

complessi sensoriali innovativi per la smart lighting. Nel primo caso per approfondire limiti ed opportunità dell'impatto delle nuove tecnologie (LED, OLED, colore) sull'uomo e sull'ambiente (in particolare animali); nel secondo caso per esplorare nuove possibilità in un territorio tecnologico (OLED) ancora in gran parte inesplorato; nel terzo caso verranno condotte sperimentazioni e sviluppi sui pali intelligenti a LED il cui sviluppo è nel PAR 2008-2009 (PLUS STAPELIA).

Nel contesto del PAR 2008-2009 (Progetto 3.2 task C: "Realizzazione pilota di illuminazione efficiente in una situazione applicativa complessa") sono state completate le attività di monitoraggio sulla situazione attuale nelle zone campione del Comune di Marcallo con Casone (Comune Pilota), ed è in corso la rilevazione dei dati illuminotecnici di un edificio pubblico (palazzo del Comune). I lavori per per la realizzazione del primo impianto innovativo, a seguito del Bando del 2010 (PAR 2007) nello stesso Comune hanno avuto inizio a settembre 2011, per ragioni di tipo amministrativo, e quindi il monitoraggio sul campo degli interventi, per una verifica del risparmio energetico e del maggior comfort visivo ottenuti, non è stato fisicamente possibile entro la chiusura del PAR 2008-2009. E' attualmente in corso la campagna sull'inquinamento luminoso, sempre nel Comune di Marcallo con Casone (partendo dalle misure in ambiente extraurbano, con misure in ambiente urbano): è uno studio delle caratteristiche di impianti di illuminazione stradali ai fini della valutazione della luce dispersa verso l'alto, per confrontare, a parità di caratteristiche prestazionali, l'impatto ambientale di diverse tipologie di impianti di illuminazione stradale; proporre parametri per la classificazione degli impianti riguardo alla luce dispersa verso l'alto e proporre un algoritmo di previsione dell'impatto ambientale di un impianto. E' stato svolto uno studio comparativo su diversi indicatori di efficienza energetica degli impianti stradali. E' proseguita l'attività normativa / prenormativa, a vari livelli: in ambito UNI ci sono state varie attività su norme, soprattutto per esterni (strade e gallerie), in ambito CEI è in corso la redazione di linee guida tecniche su impianti di illuminazione efficienti. A livello europeo proseguono i lavori su Ecodesign in illuminazione e ci saranno riunioni consultive a breve. In ambito CIE sono stati proposti i primi report sull'attività sulla luce dispersa, mentre continuano i lavori per la revisione della CIE 126.

Nel PAR 2011 sarà effettuata una raccolta ed analisi dei dati di illuminazione pubblica sia provenienti dal comune pilota che da altre realizzazioni. Per quanto riguarda i pali intelligenti verranno sperimentati in campo i sistemi prototipali sviluppati nel PAR 2008-2009.

Nel PAR 2010 è stata studiata la possibilità di integrazione di smart sensor che includono sistemi di visione per il monitoraggio della domanda di illuminazione e sistemi di comunicazione direttamente sul corpo del lampione creando la possibilità di una rete di pali intelligenti (PAR 2008-2009, Progetto 3.2 task A: "Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street"; PAR 2010, Progetto 3.2.1, task B: "Sviluppo della intelligenza per la smart lighting e sviluppo del sistema sensoriale"). Una struttura prototipale di un impianto di smart lighting è stato realizzato presso il Centro Ricerche della Casaccia dell'ENEA dove tutto il fronte di illuminazione delle torri faro (circa 24 Kw) è controllato in modo adattivo sulla base della ricostruzione della domanda (passaggi di veicoli e persone). Sullo stesso centro è stata effettuata anche una realizzazione di uno smart building (realizzato nel progetto 3.4 del PAR 2008-2009 task C: "Sistemi di regolazione, monitoraggio e controllo degli impianti di climatizzazione in edifici complessi e/o distretti energetici") e sviluppata una modellistica per la diagnostica esteso al concetto di rete (realizzato nel progetto 3.2.1 del PAR 2010 task D: "Sviluppo del sistema di predizione ed interazione della rete di edifici). Per supportare tali applicazioni è stata sviluppata una piattaforma software diretta verso la "smart town" (PAR 2010, Progetto 3.2.1, Task A: "Progettazione della architettura funzionale per una piattaforma integrata per la smart city e realizzazione di un frame-work software prototipale") in grado di raccogliere contemporaneamente dati ed inviare controlli su tre diversi settori applicativi integrati sulla stessa rete della IP: gestione della illuminazione pubblica, gestione di veicoli elettrici e gestione di una rete di edifici. La piattaforma include l'acquisizione dei dati, la organizzazione dei datatase, lo sviluppo dei modelli di diagnostica e lo sviluppo dei modelli di regolazione ottimale.

Nel PAR 2011 l'attenzione verrà concentrata sui soli due settori della illuminazione pubblica e delle reti di edifici. Verranno analizzati i dati provenienti dalla installazione già realizzata delle torri faro nel CRE Casaccia al fine di quantificare le reali prestazioni, qualificare la modellistica utilizzata con eventuale assessment della piattaforma stessa, definire i reali costi di investimento, i reali risparmi energetici, i reali tempi di ritorno, la reale capacità di centrare gli obiettivi di adattività e miglioramento del comfort propri dell'approccio "energy-on-demand". Verrà inoltre progettata e realizzata una nuova installazione

dimostrativa (“smart village”) su scala più ampia (estensione della installazione nel CRE Casaccia o presso realtà urbana) che includerà sia gli aspetti connessi allo smart lighting che quelli connessi alla gestione ottimale della rete di edifici. Infine sempre nel PAR 2010 è iniziata una importante funzione di ENEA di rappresentante italiano nel Gruppo EERA smart city (PAR 2010, Progetto 3.2.1 task E: “Partecipazione ai network europei ed identificazione di un modello di smart town competitivo per applicazioni a breve termine”) creando un network italiano e coordinando una delle quattro aree di riferimento del gruppo EERA SC, quella che si riferisce in particolare alle integrazioni delle funzionalità smart nella illuminazione pubblica. Nel PAR 2011 verrà e, continuata questa attività di partecipazione e coordinamento italiano che avrà come scopo la definizione di un Joint Programme, l’avvio del programma stesso, il coordinamento del network italiano.

Nel PAR 2008-2009 (Progetto 3.2, task E: “Comunicazione e diffusione dei risultati”) è stato consolidato lo sviluppo del Network Lumiere dei paesi che si candidano ad intraprendere percorsi di innovazione nella illuminazione pubblica con notevole successo di adesioni e ritorni ai comuni (circa 200 paesi aderenti, molti workshop con forte coinvolgimento di attori del territorio). Tali risultati sono stati ottenuti attraverso la creazione di 4 differenti pool operativi che, costituiti da soggetti pubblici e privati, hanno gratuitamente e volontariamente collaborato per promuovere l’efficienza energetica nell’illuminazione pubblica. (Network dei Comuni, Network delle Esco, Produttori delle tecnologie, Promotori della Sostenibilità). Si è individuata e definita una metodologia per intervenire in modo costruttivo ed operativo sul territorio al fine di coinvolgere le amministrazioni sia nella individuazione delle loro lacune ed ostacoli riscontrati sia nell’individuazione ed elaborazione delle proposte risolutive, siano esse tecnologiche, economiche, sociali ecc. Sono stati realizzati audit energetici gratuiti presso impianti significativi di Comuni aderenti al Network e sono stati organizzati Workshop di trasferimento dei risultati del Progetto ai Comuni. Sono state elaborate le Linee Guida Economico-Finanziarie per la realizzazione d’interventi di riqualificazione energetica degli impianti d’illuminazione pubblica a supporto dei pubblici amministratori affinché le possano utilizzare sia come percorso standardizzato di riferimento per una gestione energeticamente efficiente dei loro impianti sia come punto di partenza per l’acquisizione di una maggiore competenza e consapevolezza nella gestione energetica del territorio. E’ stato elaborato un Modello sperimentale di audit energetico degli impianti il cui scopo è quello di poter progettare interventi di riqualificazione energetica che garantiscano il raggiungimento del miglior risultato possibile in termini di efficienza energetica conseguibile. Il valore dell’audit standardizzato è nel offrire maggiori garanzie del rispetto degli obiettivi e dei tempi di rientro degli investimenti ipotizzati per la realizzazione degli interventi grazie ad una valutazione puntuale dell’impianto e dei risparmi energetici previsti tramite l’elaborazione dei progetti di riqualificazione. E’ stato pubblicato il sito del Progetto Lumière.

Nel PAR 2011 l’attività si orienterà verso una vera e propria sperimentazione territoriale in cui alla attività di diffusione si affiancherà una attività di supporto, monitoraggio e validazione per quegli enti (comuni, provincie) aderenti al Network Lumiere che sceglieranno di applicare i modelli di intervento sviluppati, presso i loro territori. Accanto alle tematiche legate alla illuminazione verranno estesi i modelli di intervento verso la “smart town” selezionando le tecnologie più consolidate e competitive come già iniziato nello stesso programma del PAR 2010 nei confronti dei paesi aderenti al Network Lumiere.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Per le attività sui sistemi di illuminazione innovativi RSE sta attrezzando il laboratorio per ricerca di base per la produzione di dispositivi a LED (sviluppo semiconduttore e connessione con ottica secondaria). Entro marzo 2012 dovrebbe essere disponibile il prototipo di LED da sottoporre alla caratterizzazione, consistente nel chip, contattature e ottica primaria. Poiché il laboratorio nasce per la realizzazione di dispositivi fotovoltaici, il prototipo dovrebbe produrre luce arancio-rosso. Tale prototipo una volta sviluppato sarà qualificato da ENEA. ENEA ha la capacità di prove necessaria per la caratterizzazione di flusso luminoso, intensità, resa cromatica, temperatura correlata di colore, parametri elettrici, e quindi anche efficienza della sorgente in termini di lm/W.

Il CNR invece non si occupa dell’argomento illuminazione pubblica.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

A. Ricerca sull'interazione della luce con l'uomo e con l'ambiente

Sarà svolta una indagine sulla quantificazione del benessere e del comfort in alcuni ambienti di interni pubblici. Sarà svolta attività sperimentale, in laboratorio e anche "sul campo" su percezione e benessere, come: esame di indici alternativi di resa cromatica, misura del contrasto di illuminazione percepito, valutazione della curva di sensibilità dell'occhio umano per le nuove sorgenti, test sul metamerismo dell'illuminante. L'attività sarà mirata anche al confronto con le sorgenti tradizionali (a scarica o incandescenza). Sarà elaborata una metodologia per la valutazione dell'impatto ambientale prodotto dall'illuminazione artificiale notturna sull'ambiente naturale ed urbano, per offrire un criterio di scelta per la realizzazione di impianti. Particolare attenzione sarà rivolta agli effetti prodotti dall'inquinamento luminoso sugli animali (es. pipistrelli, insetti e anfibi). Inoltre, si metteranno in evidenza anche i disturbi all'accrescimento delle piante prodotti dalla luce che illumina le aree verdi urbane.

Risultati / Deliverable:

- Rapporto con i risultati dell'indagine sul benessere e comfort, sulla attività sperimentale svolta e sulla interazione luce artificiale notturna – ambiente naturale

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano (Dipartimento InDACO), Università di Milano (Facoltà di Informatica e Comunicazione), Università di Roma Sapienza (Dipartimento DIAEE)

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Ricerca su materiali per dispositivi a OLED e LED

Realizzazione di prototipo OLED finalizzato allo studio e messa a punto di particolari aspetti del suo processo di realizzazione e del suo funzionamento: estrazione ottica e tempo di vita, strato protettivo. Lo studio e l'ottimizzazione di questi particolari passi di processo si inquadrano in termini di efficienza energetica e risparmio energetico e mirano a portare valore aggiunto a prodotti della industria italiana di settore. Il prototipo potrà essere utilizzato come sorgente luminosa di segnalazione per interni. La ricerca potrà concentrarsi su diversi aspetti, quali 1) per lo studio del tempo di vita, realizzazione di OLED su vetro con la finalità di testare e sperimentare sia materiali assorbitori di ossigeno e vapore d'acqua sia sostanze sigillanti per aumentarne il tempo di vita. 2) per lo studio dell'ottica primaria, realizzazione di diversi tipologie di strati per migliorare l'accoppiamento ottico dei dispositivi, ovvero strutture per modificare gli effetti di intrappolamento di luce o di guida d'onda per LED o OLED, sperimentando nuovi approcci al problema quali l'inserimento di nuovi strati nel dispositivo: strati scatteranti (es. nanoparticelle disperse in polimeri di opportuno indice di rifrazione), strati di sequenze di opportune microlenti di materiale polimerico, testurizzazioni del substrato, delle superfici di interfaccia substrato-anodo e/o anodo polimero. (strato protettivo) 3) per lo studio sullo strato protettivo, sperimentazione su materiali sigillanti per la realizzazione dello strato protettivo (al momento è a base di PMMA (Polimetilmetacrilato)), testando vari materiali (es: PDMS, PS, etc.) che offrano un giusto compromesso in termini di indice di rifrazione e di trasmittanza alle lunghezze d'onda di emissione dei LED, facendo attenzione alle prestazioni in termini di degrado termico e temporale.

Sui dispositivi realizzati saranno effettuate misure delle performance fotometriche prima e dopo il ciclo di invecchiamento.

Risultati/Deliverable:

- Realizzazione di un prototipo OLED per dimostrare l'impatto su Efficienza e Risparmio Energetico degli studi proposti, svolti anche in collaborazione con l'industria italiana
- Rapporto tecnico dove si analizzerà l'impatto che i risultati raggiunti possono avere sulle prestazioni di prodotti futuri e sui test di laboratorio eseguiti

Principali collaborazioni: Università Napoli Federico II

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C. Sviluppo di sistemi innovativi di smart lighting

Sarà aggiornato lo stato dell'arte della tecnologia LED, in particolar modo per quanto concerne le applicazioni stradali, con un approfondimento specifico sulle sorgenti LED per illuminazione stradale dotate di pannello fotovoltaico integrato con eventuale sviluppi di nuovi concept LED o OLED.

Il design dell'elemento illuminante PLUS, sarà aggiornato (PLUS 2) mediante la definizione delle nuove funzionalità luminose ed intelligenti (riferite al concetto di Smart Street) all'interno del modulo stesso, e/o con l'utilizzo di nuovi possibili materiali per le lenti. Sarà realizzato un prototipo funzionale di PLUS2.

Saranno studiate anche nuove funzionalità per l'apparecchio a LED con alimentazione fotovoltaica STAPELIA. Sarà realizzato un impianto sperimentale, per qualificare i singoli componenti sviluppati nel presente progetto (es. STAPELIA, PLUS), presso il Centro ENEA di Ispra ed analizzati i dati sperimentali..

Risultati / Deliverable:

- Realizzazione di impianto sperimentale prova componenti a Ispra
- Realizzazione di un prototipo funzionale PLUS2.
- Rapporto tecnico sui sistemi innovativi di smart lighting e loro sperimentazione (LED, PLUS2, STAPELIA)

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano (Dipartimento InDACO), Università di Milano (Facoltà Informatica e Comunicazione), Università di Roma Sapienza (Dipartimento DIAEE)

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Sviluppo di una sperimentazione dimostrativa di "smart village" e metodi di progettazione

In questo task verrà sviluppata una nuova realizzazione dimostrativa ed analizzati i dati di una serie di impianti già realizzati al fine dello sviluppo di metodologie di progettazione.

D1. Realizzazioni dimostrativa

Verrà progettato e realizzato un impianto sperimentale di "smart village" che include le funzionalità di illuminazione led, telegestione punto-punto con rete digitale PLC (Power line communication a larga banda), funzionalità adattiva con rilevazione video e ricostruzione del profilo di utenza (veicoli e persone), monitoraggio e diagnostica di una rete di edifici. L'impianto verrà sviluppato su una area edificata (la cui estensione sarà funzione del budget disponibile) ed operato in condizioni di reale esercizio (CRE Casaccia o su una realtà urbana qualora fosse possibile ottenere tutte le autorizzazioni nei tempi compatibili con le scadenze progettuali). Verrà realizzata una control room per il monitoraggio, diagnostica, controllo ed ottimizzazione real time dell'intero sistema dotata sia del server di raccolta dei dati che della piattaforma di diagnostica, ottimizzazione e controllo remoto sviluppata nel PAR 2010. A tal fine si prevede un assessment della modellistica contenuta nella piattaforma stessa o delle sue funzionalità. In particolare saranno rielaborati ed estesi i modelli relativi alla analisi dei sensori di immagine, alla regolazione adattiva della illuminazione, alla diagnostica della rete di edifici per renderla idonea (robusta, accurata, sicura) a lavorare su applicazioni in scala reale. La progettazione e l'assessment della piattaforma verranno supportati dalla analisi sperimentale dell'impianto di smart lighting delle torri faro realizzato presso il CRE ENEA della Casaccia (vedi PAR 2008-2009) e da eventuali sperimentazioni o database disponibili presso partners esterni. In particolare la sperimentazione verterà sia nella direzione della quantificazione delle reali prestazioni delle architetture hd-sw sviluppate e sia nella direzione della qualificazione della modellistica utilizzata.

D2. Analisi dati di impianti realizzati e metodologie di progettazione

Verranno svolte una serie di campagne sperimentali presso installazioni differenziate realizzate da ENEA o da altri di impianti illuminotecnici innovativi. Su questi impianti verranno analizzate le prestazioni, i risparmi

energetici, il bilancio costo-investimento ed i tempi di ritorno dell'investimento evidenziando problematiche applicative, punti di forza e di debolezza. In relazione alla disponibilità di dati di impianti significativi già realizzati verranno effettuate misure e valutazioni come casi studio esemplari di luce qualitativa e risparmio energetico che potrebbero poi essere replicati su scala nazionale. Sono considerati significativi impianti innovativi di illuminazione urbana (inclusa tutta l'analisi dei dati, qualora disponibili, provenienti dal paese pilota Marcallo con Casone) e impianti di illuminazione in-door (es. stazioni ferroviarie, aule ed edifici scolastici, biblioteche, uffici). Sulla base dei risultati di misura verranno sviluppate delle metodologie di progettazione sui possibili miglioramenti dal punto di vista del risparmio energetico e sul comfort delle situazioni esaminate. Potranno essere recepite ed applicate le linee guida in corso di stesura nel comitato CEI cui partecipano ENEA e Politecnico. Verrà svolta un'analisi critica delle attuali metodologie di progettazione con l'obiettivo di definire le strategie per l'individuazione degli scenari di illuminazione urbana nel contesto architettonico, nel rispetto dei tre principi fondamentali della progettazione dell'illuminazione urbana: sicurezza, riduzione dell'inquinamento luminoso, risparmio energetico i cui risultati potranno essere portati in ambito normativo.

Risultati/Deliverable:

- Progettazione e realizzazione impianto sperimentale di "smart village"
- Rapporto tecnico sulla sperimentazione del sistema delle torri faro presso il CR Casaccia, sulla architettura funzionale dell'impianto dimostrativo di smart lighting e sulla rielaborazione della piattaforma multifunzionale "smart town" sviluppata nel PAR 2010
- Rapporto tecnico sulle analisi dei dati di impianti esistenti (incluso Marcallo con Casone) e relativa analisi critica delle metodologie di progettazione

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre, Politecnico di Torino, Università di Roma "La Sapienza", Università di Pisa, Politecnico Milano (Dipartimento InDACO), Università di Roma La Sapienza (Dipartimento DIAEE), INRIM, AIDI, Amministrazione pubblica (Comune di Marcallo)

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

E. Sperimentazione territoriale ed assessment dei prodotti del Network Lumiere

E1. Partecipazione ai network nazionali e internazionali

Il progetto prevede la partecipazione a network europei in particolare verso le iniziative "EERA (European Energy Research Alliance) Smart City" e "Smart City European Industrial Initiative", entrambe iniziative avviate dal SET Plan Europeo. Nel primo network lo scopo è quello di mappare le iniziative europee sulla smart city e l'ENEA ha la funzione di delegato nazionale italiano, nel secondo caso l'obiettivo è quello di costruire sistemi dimostrativi a livello cittadino.

Proseguirà la partecipazione alle attività normative in Italia (UNI, CEI), presso la Commissione Europea e in ambito CIE, dove verranno presentati i risultati delle attività sperimentali del progetto.

E2. Sperimentazione territoriale ed assessment dei prodotti del Network Lumiere

Verrà sviluppata una attività di supporto, monitoraggio e validazione per quegli enti (comuni, provincie) aderenti al Network Lumiere che sceglieranno di applicare i modelli di intervento sviluppati, presso i loro territori con eventuale supporto per la effettuazione di studi di fattibilità su specifiche situazioni. In particolare lo sviluppo del Progetto prevede un trasferimento capillare ai Comuni di tutte le tematiche affrontate nella fase di sviluppo ed individuate quali fondamentali per una corretta ed efficiente gestione energetica degli impianti d'illuminazione pubblica ed una loro sperimentazione nelle diverse realtà territoriali.

Tale sperimentazione prevede l'inclusione nelle tematiche originali del Network Lumiere delle tematiche della illuminazione "smart". L'obiettivo è il test nelle situazioni reali degli standard (piattaforme tecnologiche di riferimento, audit energetico, linee guida economico-finanziarie, procedure di gara, sperimentazione della procedura CONSIP, format dei workshop di coinvolgimento delle PA comunali) sviluppati nelle due precedenti annualità al fine di valutarne vantaggi, barriere, punti di debolezza quando tali soluzioni vengano applicate nelle situazioni reali. A questa fase seguirà una ridefinizione puntuale degli

standard. Accanto a questi verranno elaborati altri prodotti tra cui un sistema di "auto-diagnosi" svolto dal comune stesso (audit preliminare e diagnosi della qualità del sistema illuminotecnico) secondo una procedura messa a punto da ENEA e con l'ausilio di una metodologia di calcolo sviluppato da ENEA.

La realizzazione della piattaforma tecnologica di Marcallo e dello "Smart Village" consentirà la chiusura del cerchio del percorso di riqualificazione, affiancando agli aspetti cognitivi, economico e finanziari necessari anche quelli tecnologici attraverso l'offerta di una "soluzione tecnologica di riferimento" come "prodotto" che potrà essere replicato/applicato nelle realtà urbane dei nostri Comuni, ormai preparati, sufficientemente informati e/o competenti a comprenderne le potenzialità e gestirne l'applicazione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico che include argomenti tematici di approfondimento correlati alle tematiche delle Linee guida Economico-Finanziarie tra cui:
 - Linee Guida per la redazione dei Bandi illuminazione pubblica
 - Revisione del Modello di Audit energetico e sua eventuale certificazione
 - Metodologia di "auto-diagnosi" del comune
 - Elaborazione di una fotografia dello stato dell'arte dell'illuminazione pubblica nazionale attraverso l'analisi degli impianti di almeno 200 Comuni italiani
 - Analisi degli audit energetici gratuiti realizzati al fine di elaborare delle ipotesi e proiezioni sui possibili rientri dei capitali investiti per riqualificare gli impianti grazie ai TEE ottenibili dai risparmi energetici conseguiti a seguito delle riqualificazioni.
- Organizzazione di 1 workshop di trasferimento risultati e coinvolgimento Comuni sullo stato di avanzamento e sviluppo progetto
- Realizzazione di 5 audit energetici gratuiti al fine di averne realizzati almeno uno per Regione
- Rapporto sulle partecipazioni ai network internazionali

Principali collaborazioni: Università Milano Bicocca, Associazioni ESCO, CONSIP, ANCI, ASSIL, Associazioni comunali, province, comuni

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

La diffusione dei risultati sarà svolta verso il mondo della ricerca e dei professionisti tramite la pubblicazione di articoli su periodici del settore o con la partecipazione a workshop e convegni nazionali e internazionali. Sarà inoltre organizzato un workshop di trasferimento risultati indirizzato al coinvolgimento dei Comuni sullo stato di avanzamento e sviluppo del progetto Lumière

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

I benefici sono legati al risparmio energetico legato al miglioramento del comfort visivo. La ricerca infatti, identificando meglio le necessità dell'utilizzatore, può indirizzare lo sviluppo delle tecnologie verso soluzioni efficaci. Dall'altra parte la ricerca contribuisce allo sviluppo delle nuove tecnologie stesse e contemporaneamente investiga sulle conseguenze – positive e negative - derivanti dall'utilizzo di tali tecnologie. Illuminazione migliore, quindi, di qualità e in quantità "giusta", con impatto ambientale e consumi energetici minimizzati.

A questo si aggiunge, in contesti urbani, il potenziale abbattimento dei consumi elettrici di importanti servizi pubblici in particolare connessi con l'illuminazione pubblica, con la mobilità pubblica e la mobilità elettrica, con reti di edifici pubblici.

Le situazioni scelte come casi pilota rappresentano realtà fortemente replicabili in Italia, che stanno già suscitando manifestazioni di interesse (es. nel Network dei Comuni (Lumière).

Inoltre i risultati della ricerca possono essere validi contributi in campo legislativo e normativo a livello internazionale.

L'approccio "smart town" offre inoltre la possibilità di un maggiore accesso del cittadino alla gestione della energia elettrica con una conseguente sensibilizzazione alle tematiche della sostenibilità. Inoltre lo sviluppo e la penetrazione di tali tecnologie di integrazione porterebbe anche allo sviluppo di un indotto produttivo e la possibilità di un maggiore accesso del cittadino alla gestione della energia elettrica con una conseguente sensibilizzazione alle tematiche della sostenibilità.

L'azione sul territorio e il trasferimento diretto, ai Comuni e agli altri stakeholders, dei risultati della ricerca, infine, sono aiuto diretto perché l'efficienza energetica in questo settore possa essere ottenuta in modo capillare

Progetto 3.2 "Innovazione nella illuminazione pubblica: nuove tecnologie ed integrazione smart con altre reti di servizi energetici"

Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Ricerca sull'interazione della luce con l'uomo e con l'ambiente	Set 2012	1500	105	8	5	0	50	168
B	Ricerca su materiali per dispositivi a OLED e LED	Set 2012	1500	105	8	5	0	25	143
C	Sviluppo di sistemi innovativi di smart lighting	Set 2012	1600	112	40	5	0	50	207
D	Sviluppo di una sperimentazione dimostrativa di "smart village" e metodi di progettazione	Set 2012	2457	172	220	10	10	185	597
E	Sperimentazione territoriale ed assessment dei prodotti del Network Lumiere	Set 2012	2000	140	0	15	0	30	185
			9055	634	276	40	10	340	1300

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA
Tematica di Ricerca	RISPARMIO DI ENERGIA ELETTRICA NEL SETTORE CIVILE
Progetto 3.3	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile</i>

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il prodotto è una serie di strumenti, quali linee guida, modelli di progettazione e programmi di calcolo, per la determinazione e l'ottimizzazione dei consumi energetici degli edifici con particolare riferimento al condizionamento estivo e all'interazione con l'illuminazione, al fine di facilitare il recepimento della direttiva 91/2002 /CE che prevede l'adozione di norme specifiche per l'efficienza energetica negli edifici non solo per i consumi energetici invernali ma anche per quelli estivi e la Direttiva 31/2010/CE che modifica ed integra la precedente direttiva con definizioni e richieste che comportano studi e analisi sulle caratteristiche del parco immobiliare nazionale e sulla definizione di standard delle prestazioni energetiche dell'involucro e degli impianti per ottenere edifici definiti "Nearly Energy Zero Building". Tra gli aspetti da approfondire e sviluppare è da mettere in evidenza quello relativo ai consumi energetici dovuti all'utilizzo di impianti per il condizionamento estivo nel residenziale e nel non residenziale, quelli per la ventilazione e quelli di illuminazione per gli edifici del non residenziale.

In particolare poiché negli edifici non residenziali il consumo per illuminazione artificiale rappresenta circa il 25% dei consumi elettrici, e l'impiego di sistemi di illuminazione artificiale poco efficienti ha un considerevole impatto sui consumi per il condizionamento estivo, è necessario sviluppare l'impiego di sistemi integrati intelligenti in grado di gestire efficientemente gli impianti di illuminazione e quelli di condizionamento.

La normativa, che consente il calcolo del fabbisogno energetico per il condizionamento estivo degli edifici, necessita di ulteriori studi e sviluppi per la definizione di un indicatore climatico, analogo al Grado Giorno, da utilizzare per la classificazione delle zone climatiche in relazione alla caratteristiche del clima estivo. A tal fine si dovrà sviluppare la metodologia sull'Indice di Severità Climatica per estenderlo a tutto il territorio nazionale e determinare questo indice per tutti i Comuni italiani.

Questo consentirà di utilizzare per il condizionamento estivo la stessa metodologia prevista per il riscaldamento invernale (DPR 412/93, DLgs 192/05 e smi). Sarà, comunque, necessario sviluppare strumenti normativi e tecnici, al fine di disciplinare il mercato e promuovere un'offerta energeticamente efficiente.

Scopo dell'attività è quello di mettere a disposizione del legislatore gli strumenti tecnici (parametri climatici, metodologie di calcolo, tool informatici, parametri caratteristici e linee guida per la progettazione di impianti a bassi consumi energetici, dell'involucro trasparente e degli elementi schermanti) atti a rendere possibile la piena attuazione delle direttive europee con particolare riferimento al contenimento dei consumi energetici per condizionamento estivo degli edifici. L'attività che verrà svolta servirà anche come supporto dell'applicazione dei decreti sull'efficienza energetica di recente emanazione e per il recepimento della direttiva 2010/31/CE sull'efficienza energetica degli edifici, in particolare per quanto riguarda lo sviluppo e la definizione di edifici di riferimento per il residenziale e non residenziale (scuole, uffici, alberghi, centri commerciali ecc.), lo sviluppo di metodologie di diagnosi energetica e di metodologie di valutazione degli interventi di recupero energetico di edifici pubblici e privati.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

In Italia al momento non esiste una normativa definita che consenta il calcolo del fabbisogno energetico per il condizionamento estivo degli edifici. Le direttive UE 91/2002 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 fino a 1000 m², e il calcolo dell'indicatore energetico per l'illuminazione, per gli edifici del terziario; tuttavia mancano delle linee guida su come utilizzare detti schermi e sull'influenza che questi hanno sulla illuminazione naturale degli edifici.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Attualmente si registra una fase critica, dovuta alla situazione economica e alle difficoltà del mercato di poter far riferimento a strumenti e applicazioni, per quanto concerne lo sviluppo di tecnologie e materiali innovativi (sistemi di controllo e regolazione, sistemi schermanti, materiali ad alta efficienza per l'involucro opaco e trasparente ecc.) e lo sviluppo di metodologie di diagnosi energetica e di metodologie di valutazione degli interventi di recupero energetico di edifici, pubblici e privati, e in particolare per quelli di pregio architettonico e nelle aree archeologiche di proprietà pubblica. Pertanto la necessità di poter disporre di dimostrativi e di indicazioni operative per la riqualificazione energetica degli edifici è una esigenza molto sentita dagli operatori del settore.

OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo finale dell'attività è dare un significativo contributo all'efficienza energetica degli edifici esistenti e nuovi in modo specifico per:

- raggiungere gli impegni europei;
- rispondere ai requisiti richiesti dalle direttive europee e dal quadro legislativo vigente;
- mettere a punto nuove metodologie e strumenti avanzati per la certificazione energetica e le valutazioni tecnico-economiche degli interventi;
- sviluppare nuovi materiali e componenti e sistemi per l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto.

Queste attività saranno indirizzate per poter ottenere edifici a consumo energetico quasi zero (Nearly Energy Zero Building- NEZB) che dovrà essere rispettato, per i nuovi edifici del settore pubblico, dal 2018 mentre per tutti gli altri edifici nuovi dal 2020.

Per raggiungere l'obiettivo finale saranno sviluppate le seguenti tematiche:

- Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva;
- Edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani;
- Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile;
- Efficienza energetica in edifici di pregio architettonico con destinazione non residenziale/aree archeologiche di proprietà pubblica;
- Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Le attività del Progetto sono la continuazione di quelle iniziate nelle precedenti annualità. E' da evidenziare che nelle precedenti annualità dell'Accordo di Programma, le tematiche in esame erano comprese nei temi di ricerca "Sviluppo di linee guida e indici di riferimento per il legislatore" e "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione". La tematica dell'efficienza energetica, che comprende aspetti di sviluppo tecnologico, normativi e legislativi, nonché aspetti socio-economici e logistici legati al territorio, deve essere trattata e gestita attraverso lo sviluppo di sistemi e componenti innovativi, anche in partenariato con il mondo produttivo, favorendo l'integrazione tra domanda e offerta con l'utilizzo di diversi sistemi di diffusione (informazione, formazione, diagnostica, analisi e studi).

Le attività svolte hanno riguardato lo sviluppo di tecnologie e materiali innovativi (sistemi di controllo e regolazione, sistemi schermanti, materiali termo cromatici e a selettività spettrale) lo sviluppo di metodologie di diagnosi energetica e di metodologie di valutazione degli interventi di recupero energetico di edifici pubblici, di pregio architettonico e nelle aree archeologiche di proprietà pubblica.

In particolare, sono state analizzate le possibili opzioni tecnologiche che consentono al settore edilizio di rispettare le disposizioni delle nuove direttive comunitarie in tema di efficienza energetica degli edifici che obbliga le nuove costruzioni, realizzate dopo il 2018 per il pubblico e dopo il 2020 per tutti gli edifici, ad essere ad "emissioni quasi zero".

Sono stati studiate e valutate anche le opzioni e i pacchetti di tecnologie che consentono di raggiungere l'obiettivo evitando incrementi significativi dei costi di costruzione, considerando anche i benefici in termini di risparmi energetici generati applicando tecnologie, sistemi e componenti avanzati ed integrati per il controllo, gestione e regolazione degli impianti di condizionamento, elettrici e illuminazione

Le attività di ricerca svolte hanno riguardato:

- *Analisi della normativa vigente in ambito nazionale ed europeo.* E' stato realizzato uno studio sui provvedimenti legislativi e normativi, nazionale e dei Paesi della UE, collegati al settore dell'energia elettrica in modo da poterne valutare i punti deboli e le opportunità in grado di portare ad un miglioramento dell'efficienza lato produzione, trasporto, distribuzione e usi finali per inquadrare i continui sviluppi e aggiornamenti della materia.
- *Analisi statistica sul parco edilizio residenziale e non residenziale e lo sviluppo di modelli di calcolo semplificati.* Definizione degli indici e livelli di fabbisogno dei vari centri di consumo energetico degli edifici. E' stata svolta un'analisi statistica per l'individuazione e la definizione dei parametri costruttivi del campione di edifici non residenziali su cui svolgere indagini ed utilizzarli nelle attività di modellazione e simulazione. Le categorie esaminate sono state uffici, alberghi, scuole di primo grado, residenziale e ospedali, e si prevede di allargare l'indagine alle altre categorie di edifici per i consumi per riscaldamento, condizionamento, ventilazione ed illuminazione. E' stata, anche, messa a punto una metodologia di analisi per i consumi energetici per gli elettrodomestici e gli apparecchi elettronici.
- *Valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati.* E' stata definita una metodologia di benchmark da applicare ai consumi degli edifici, applicata a "centri commerciali". La metodologia necessita di ulteriori sviluppi ed applicazioni ad altre categorie del terziario per una sua validazione.
- *Creazione di un database di sistemi e tecnologie di generazione distribuita.* L'attività di ricerca svolta ha riguardato la creazione di un database di sistemi di microgenerazione, con l'indicazione degli indici di prestazione energetica e dei componenti del sistema di conversione energetica, finalizzato al progettista di impianti ed al funzionario pubblico.
- *Aggiornamento Archivio Dati Climatici e Censimento Stazioni Meteo.* E' stata sviluppata una metodologia di elaborazione dei dati climatici per l'aggiornamento della UNI 10349 ed è stata applicata a tutte le regioni e Province Autonome del territorio nazionale. Sono stati definiti i nuovi dati climatici. (conclusione dell'attività fissata a settembre 2011)

- E' stata sviluppata una metodologia per il *calcolo dell'Indice di Severità del Clima*. L'attività sull'Indice di Severità Climatica (ISC) necessita di verifiche e sviluppo per la definizione dell'ISC per i Comuni italiani, attualmente è stato definito l'ISC per le sole Province, per cui si prevede la continuazione nelle successive annualità. Tale attività consentirà la realizzazione di una zonizzazione del territorio nazionale ai fini della determinazione dei limiti di consumo ammissibili per la climatizzazione estiva.
- *Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile*. Le attività riguardano lo sviluppo, applicazione e valutazione di tecnologie, sistemi, componenti e dispositivi per il controllo, la gestione e la regolazione intelligente degli impianti (Smart Building) per minimizzare i consumi energetici negli edifici. Il progetto prevede l'integrazione di impianti di illuminazione, di climatizzazione invernale e estiva integrati anche con nuovi sistemi a pompe di calore ad assorbimento, di climatizzazione assistiti da calore solare, sistemi innovativi di illuminazione efficiente, applicazioni di tecnologie informatiche per la razionalizzazione dei consumi energetici ed il controllo ambientale che troveranno applicazione in un complesso urbano significativo. A conclusione delle attività del PAR 2008-2009 si prevede di definire un kit domotico "fai da te", indirizzato all'utente, facilmente utilizzabile con un minimo di assistenza tecnica.
- *Sviluppo e analisi di componenti trasparenti innovativi per l'involucro edilizio*. Caratterizzazione di materiali e componenti semitrasparenti (componente vetrato più elementi schermanti) di facciata: individuazione delle tipologie e famiglie di prodotti trasparenti ed ombreggianti, definizione delle loro proprietà energetiche e luminose più rilevanti ed interazione condizionamento-illuminazione. L'attività sperimentale è stata mirata a caratterizzare i materiali semitrasparenti ed opachi di facciata, per una accurata valutazione delle prestazioni energetiche ed illuminotecniche degli edifici. È stata valutata l'influenza dei sistemi semitrasparenti sulle prestazioni energetiche e luminose degli edifici. E' stato sviluppato un software denominato WINSHELTER che consente di calcolare le proprietà termiche, solari e luminose dei serramenti e dei sistemi di schermatura solare, secondo l'attuale quadro normativo di riferimento nazionale ed europeo.
- *Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale*. Si sono concluse le attività relative allo sviluppo e sperimentazione di materiali innovativi (termo cromatici, a selettività spettrale, ecc.) per le coperture e le facciate degli edifici, che limitano l'apporto solare e la richiesta energetica per il raffrescamento, elaborazione di linee guida e sviluppo dimostratori.
- *Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile*. L'attività riguarda lo sviluppo di tecnologie, sistemi e componenti per il controllo, la gestione e la regolazione degli impianti di condizionamento, elettrici e illuminazione, finalizzata all'ottimizzazione dei consumi energetici in funzione dei carichi, dei profili di utenza e degli scambi energetici con la rete elettrica, attraverso l'applicazione di tecnologie e sistemi intelligenti (Smart Building) avanzati per il sistema integrato edificio-impianto-clima-utente. A tal fine nel quadro delle attività 2011 si prevede di utilizzare il Laboratorio Casa Intelligente dell'ENEA per effettuare le azioni di R&S su componenti e dispositivi.
- *Efficienza energetica in edifici di pregio architettonico con destinazione non residenziale/aree archeologiche di proprietà pubblica*. L'attività, di cui è previsto il proseguimento, riguarda: lo sviluppo di una metodologia per l'analisi e le indagini sul sito e/o sull'edificio; l'elaborazione di schede tecniche di riferimento per materiali, componenti e sistemi degli interventi più ricorrenti; la stesura di linee guida per la redazione di un piano di intervento per la riduzione dei consumi energetici e dei costi per la gestione e di quelli per la manutenzione del sistema edificio-impianto, tenendo presenti le caratteristiche di pregio architettonico dell'edificio. Individuazione di casi studio replicabili su altri edifici di pregio presenti sul tutto il territorio nazionale.
- Partecipazione agli Implementing Agreement Energy Conservation in Building and Community Systems e Solar Heating and Cooling dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA). Analisi e raccolta delle esperienze di ricerca più significative in corso e completate sull'Illuminazione, climatizzazione, ventilazione e componenti di involucro efficienti in ambito di progetti nazionali ed internazionali. Supporto al MSE-DG ERM per il coordinamento della partecipazione nazionale .

In sintesi nell'annualità 2011 sono previste le seguenti attività:

- A. Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva
- B. Edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, Applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani
- C. Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile
- D. Efficienza energetica in edifici di pregio architettonico con destinazione non residenziale/aree archeologiche di proprietà pubblica
- E. Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio
- F. Partecipazione agli Implementing Agreement Energy Conservation in Building and Community Systems dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) ed attività di supporto ai Ministeri.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha promosso la costituzione di gruppi di lavoro per il coordinamento delle attività relative alla Ricerca di Sistema Elettrico, affidate tramite Accordi di Programma ai soggetti ENEA, RSE S.p.A. e CNR. I gruppi di lavoro per il coordinamento hanno lo scopo di garantire quanto previsto nel Piano triennale della Ricerca di Sistema Elettrico 2009-2011, ovvero coordinare le attività comuni ed affini tra i vari soggetti affidatari con lo scopo di ottimizzare il lavoro ed evitare sovrapposizioni.

Nel Piano triennale 2009-2011, specificatamente nella sezione introduttiva in cui vengono fissate le risorse minime per aree di intervento ed in funzione della tipologia di attività di ricerca ("a" o "b"), viene rappresentata l'esigenza per le attività di tipo "a", ovvero quelle interamente finanziate dal fondo, sulla base dell'esperienza pregressa, di introdurre strumenti per garantire il coordinamento, tra i soggetti affidatari, delle attività svolte sulla stessa tematica o su tematiche affini.

A tale scopo il MSE, accogliendo anche le indicazioni presentate dai comitati di sorveglianza degli Accordi di Programma, ha ritenuto opportuno disporre la costituzione di gruppi di lavoro che abbiano lo scopo di garantire quanto previsto nel Piano triennale, ovvero coordinare le attività comuni ed affini tra i vari soggetti affidatari con lo scopo di evitare inutili sovrapposizioni. In tal senso è stata attivata una Procedura Operativa di Coordinamento (POC) per la redazione di appositi rapporti sulle attività.

Le attività del presente progetto sulle quali ENEA si sta coordinando con gli altri enti affidatari, all'interno del GdL "Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia nei settori: industria, servizi e civile", sono quelle riferite agli obiettivi A e D.

Obiettivo A. Questa attività prevede per il POC, un coordinamento ENEA-RSE. I due Enti stanno supportando il MSE per l'adeguamento della normativa nazionale alle direttive europee per gli aspetti relativi all'efficienza energetica e servizi energetici. In particolare, ENEA svilupperà l'indice di severità climatica per la classificazione dei Comuni per il periodo estivo e definirà una zonizzazione del territorio italiano per il periodo estivo a supporto della bozza del decreto sul condizionamento estivo. ENEA ed RSE parteciperanno ai lavori del MSE, eseguendo le analisi e le valutazioni tecniche richieste sia per la stesura di nuovi decreti di attuazione che per il completamento degli adempimenti relativi alle Direttive 2002/91/CE e Recast 2010/31/CE e per la verifica della metodologia comparativa prevista dalla Direttiva Recast.

Obiettivo D. Come per il precedente obiettivo, si prevede per il POC, un coordinamento ENEA-RSE per le fasi di diagnostica per la caratterizzazione delle superfici opache dell'involucro edilizio. In particolare la messa a punto del nuovo strumento diagnostico, utilizzabile per certificare l'efficienza degli edifici attraverso la determinazione speditiva della trasmittanza termica delle pareti opache, potrà trovare applicazione nelle fasi di indagine da effettuare negli edifici del Parco di Monza.

La qualificazione di tale strumento, al termine della fase di sviluppo, potrà avere luogo anche facendo ricorso come test ai materiali innovativi, in via di sviluppo presso ENEA, in grado di limitare gli apporti solari

verso le pareti e le coperture degli edifici. Una volta qualificato esso potrà essere utilizzato per la determinazione non intrusiva della trasmittanza delle pareti di edifici di pregio architettonico e storico, in vista dell'attuazione di interventi finalizzati al contenimento dei loro consumi energetici.

Le attività presentano una forte componente di integrazione che vedono lo strumento, in via di sviluppo da RSE, come un fattore integrante le attività, che verranno svolte da ENEA, nell'ambito della determinazione, sul parco edilizio esistente, dei valori di trasmittanza delle pareti opache, che al momento non trovano adeguati strumenti di misura con le caratteristiche di flessibilità e utilizzo in campo necessarie per le audit da effettuare sugli involucri edilizi.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

A. Definizione parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione energetica estiva

A partire dalla metodologia di calcolo dell'Indice di severità del Clima, e relativa zonizzazione per Province messa a punto precedentemente, verrà realizzata una proposta di zonizzazione ai fini della determinazione dei limiti di consumo ammissibili per la climatizzazione estiva per tutti Comuni italiani. Tale attività risulta fondamentale per la corretta applicazione delle norme UNI TS 11300.

Risultati/Deliverable:

- Proposta di definizione dell'indice di severità climatica per i comuni nazionali ai fini del contenimento dei consumi energetici per condizionamento in base all'Indice di Severità del Clima

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, applicabilità di strumenti innovativi per le audit energetiche

Verrà proseguita l'attività impostata nelle precedenti annualità, che ha prodotto un set di edifici tipo ad uso ufficio, alberghiero, scolastico, grande distribuzione commerciale ed istituti di credito ed assicurativi. L'attività di calcolo dei benchmark è stata svolta mediante campagne di monitoraggio, ed attraverso campagne di simulazione dinamica condotte sugli edifici tipo identificati nel corso delle precedenti annualità. Si prevede di continuare l'attività con una campagna di indagine sugli edifici del residenziale per determinare il consumo da bolletta per le utenze energetiche definendo un campione rappresentativo del parco residenziale suddiviso per le zone climatiche del territorio nazionale.

Verrà proseguita l'attività relativa alla metodologia per l'audit energetico degli edifici del civile con lo studio e lo sviluppo di un software applicativo semplificato per le audit energetiche degli edifici esistenti

L'attività risponde alle disposizioni introdotte con il Dlgs 115/08 in materia di monitoraggio dei consumi degli edifici ed alla revisione delle Direttive 2002/91/CE e 2011/31/CE. In questo ambito sarà svolta un'attività per la implementazione della recente norma CEN160001 con due casi applicativi in edifici del terziario e la stesura di linee guida per favorirne l'applicazione.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico della ricerca sui consumi energetici del settore residenziale
- Realizzazione del SW per le audit energetiche

Principali collaborazioni: Università di Pisa

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C. Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile

Nel settore del civile, residenziale e non residenziale, la domanda di energia è in crescita, soprattutto per quanto investe il settore elettrico. Molto sentita è l'esigenza di promuovere e sviluppare studi e ricerche per migliorare l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto, utilizzando sistemi di Domotica e/o di Smart Building e sistemi integrati da fonte rinnovabile. Negli ultimi anni diverse attività si sono focalizzate sullo studio e sviluppo di questi sistemi, ma con approcci poco integrati e con scarsa disponibilità di dati relativi all'effettiva efficacia di questi impianti per l'efficienza energetica. La ricerca ha lo scopo di definire e valutare le soluzioni, ad elevata valenza tecnologica, integrate nel complesso edificio-impianto, con un elevato grado di competitività e replicabilità, e di indagare e comprendere le condizioni socio-economiche in modo da poter fornire il necessario supporto per avviare quelle azioni, a livello di policy e di mercato, che concorrano ad una diffusione di massa di tali sistemi, basati sull'efficienza energetica.

Le attività prevedono l'applicazione di nuovi componenti innovativi, il monitoraggio e la valutazione dei sistemi, componenti e dispositivi per il controllo, la gestione e la regolazione intelligente degli impianti (condizionamento invernale, condizionamento estivo e illuminazione) installati nell'edificio ENEA F51. Tale attività consentirà di verificare l'effettivo risparmio energetico e le valutazioni tecnico-economiche del cost-effectiveness di tali installazioni come richiesto dalla Direttiva Recast 2010/31/CE.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico di valutazione delle prestazioni energetiche e del parametro cost-effectiveness del sistema di Building Management System

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Efficienza energetica in edifici di pregio architettonico con destinazione non residenziale/aree archeologiche di proprietà pubblica

L'efficienza energetica in edifici di pregio architettonico è un tema che risulta essere ancora poco indagato. Anche se il quadro normativo non prevede per questi edifici particolari prescrizioni, il tema dell'efficienza energetica è molto sentito dagli operatori del settore. Questo specifico settore, dal punto di vista prestazionale energetico necessita di indagini e studi che possano caratterizzare il parco degli edifici e definirne il potenziale di risparmio.

Si continueranno le attività del precedente anno con la realizzazione, nel Parco di Monza, di quattro impianti dimostrativi da fonte rinnovabile; solare termico, solare fotovoltaico, mini idraulica e geotermia integrati con tecnologie di Energy Building Management System. Tali impianti saranno realizzati in edifici del Parco di Monza individuati con i Responsabili del Parco stesso e saranno inseriti in un percorso pedonale/ciclabile didattico formativo. Sarà previsto anche uno studio di prefattibilità per l'utilizzo di veicoli ad alta efficienza, elettrici e/o ibridi, come dimostratore per la mobilità sostenibile. Saranno considerate le caratteristiche di pregio architettonico dell'edificio/area e i vincoli paesaggistici del Parco.

Il progetto di ricerca sarà realizzato tenendo conto anche delle indicazioni e di specifiche esigenze espresse dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali, in relazione ad eventuali altre iniziative che esso vorrà intraprendere in questo ambito.

Questa attività, facendo parte del progetto EXPO 2015, sarà integrato anche con i percorsi e gli allestimenti previsti per questa manifestazione che coinvolgono, in particolare, l'utilizzo di ville di pregio adiacenti l'area del Parco di Monza.

I risultati di questa attività potranno essere utilizzati dal MIBAC per promuovere interventi ed azioni mirate alla riduzione dei consumi energetici e gestionali in strutture e siti di sua competenza e dal MSE per proporre, ad integrazione del Dlgs 192/05 e s.m.i., standard per l'efficienza energetico-ambientale degli edifici di pregio e poter definire degli indicatori energetici per questa tipologia di edifici.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle tecnologie applicate e le valutazioni energetiche degli impianti installati

Principali collaborazioni: Parco di Monza, Politecnico di Milano

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

E. Impatto e mitigazione del clima urbano per la riduzione dei consumi elettrici ed il miglioramento del comfort termico negli edifici

Il trend dei consumi energetici, ed elettrici in particolare, nel settore civile evidenzia un impatto sempre maggiore della climatizzazione estiva sulle prestazioni energetiche degli edifici. Il fenomeno è particolarmente evidente nelle aree urbane dove, per una serie di motivi, si assiste ad un innalzamento dei profili termici con conseguente incremento dei consumi elettrici e gravi fenomeni di discomfort termico, nell'ambiente costruito e negli spazi urbani. A questo si aggiunge il problema della sicurezza dell'approvvigionamento energetico, reso più complesso per la richiesta di picco durante le ondate di calore estive.

Si proseguiranno le attività dell'annualità precedente, con particolare attenzione alla valutazione delle tecniche di mitigazione delle temperature a scala urbana e l'impatto sulle prestazioni dell'ambiente costruito. Particolare attenzione sarà posta ai fenomeni di invecchiamento dei materiali ad elevata riflessione solare ed alla riduzione delle prestazioni in opera, rispetto agli standard previsti. Saranno poi implementate delle metodologie atte a valutare l'intensità dell'isola di calore urbana, l'impatto energetico a larga scala, nonché tecniche di previsione del fenomeno, anche al fine di minimizzare i rischi per l'approvvigionamento energetico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico

Principali collaborazioni: Università, CNR-IIA

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

F Partecipazione all'Implementing Agreement dell'IEA "Energy Conservation in Building and Community Systems"

La partecipazione ai gruppi di lavoro (Annexes) dell'Implementing Agreement ECBCS della Agenzia Internazionale dell'Energia consente di essere inseriti in attività di ricerca sviluppate ai massimi livelli internazionali. I gruppi di lavoro dell' ECBCS sviluppano i temi definiti nelle varie annexes, dopo un severo controllo delle finalità, degli obiettivi e dei deliverables da produrre, attuato dai membri del comitato esecutivo. I prodotti delle varie annexes sono in genere linee guida e/o tools informatici per la progettazione, database di sistemi e componenti etc. La partecipazione a questi gruppi di lavoro consente di indirizzare lo sviluppo di detti strumenti alle effettive necessità della realtà tecnologica ed economica italiana, oltre a facilitare un efficace raccordo con i massimi esperti del campo dell'efficienza energetica negli edifici a livello internazionale. ENEA rappresenta l'Italia nell'Implementing Agreement su mandato del MSE dal 1992, è membro del comitato esecutivo, coordina la partecipazione di Università ed enti di ricerca italiani alle varie Annex alle quali spesso partecipa direttamente.

Sarà assicurata la partecipazioni ai gruppi di lavoro dell'IEA nell'ambito dell'Implementing Agreement Energy Conservation in Building and Community Systems. E' prevista la partecipazione ai lavori delle seguenti Annexes:

- Annex 52 Net Zero Energy Buildings) - Scopo dell'Annex è lo sviluppo di concepts per la progettazione e la realizzazione di edifici a zero emissioni.
- Annex 53 Benchmark - Scopo dell'Annex è lo sviluppo di metodologie e strumenti per la misura e l'analisi dei consumi energetici degli edifici.

- Annex 56 Energy + GHG Optimised Building Renovation - L'obiettivo dell'annex è di promuovere un concetto di ristrutturazione degli edifici economicamente e tecnicamente ottimizzato, al fine di contribuire all'efficientamento del parco edilizio esistente e alla mitigazione dei cambiamenti climatici.
- Annex 5 Air Infiltration and Ventilation Centre - L'obiettivo è quello di promuovere ulteriore collaborazione sul tema della ventilazione efficiente negli edifici, con una modifica di focus e di modalità operative rispetto al precedente AIVC.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici sulle attività degli Annex 52, 53, 56 e 5

Principali collaborazioni: Politecnico Milano, Università di Torino, Università di Venezia, Università di Palermo

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

L'obiettivo prevede sia attività specifiche di comunicazione e diffusione dei risultati ottenuti nel progetto che il supporto ai Ministeri competenti attraverso la partecipazione a gruppi di lavoro internazionali.

Per quanto riguarda la comunicazione e diffusione dei risultati, si prevede di organizzare dei Workshop tematici e di:

- realizzare, con un linguaggio efficace dal punto di vista comunicativo, materiali informativi destinati ai vari target di riferimento, beneficiari finali delle attività (Enti Locali, Sistema delle Imprese, professionisti ecc.) nonché al grande pubblico e relativi a:
 - finalità complessive delle attività
 - tematiche scelte come prioritarie e motivazioni di tali scelte
 - obiettivi specifici, destinatari e modalità di conduzione delle ricerche sulle singole tematiche
 - risultati conseguiti e ricadute sull'utente finale;
- elaborare e attuare un Piano di comunicazione e diffusione capillare di queste informazioni e, soprattutto, dei risultati conseguiti e delle ricadute sull'utente finale;
- utilizzare il sito www.enea.it, oltre al banner dedicato alla "Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale", per diffondere tramite la rete web, con i link delle maggiori Associazioni di categoria che partecipano al progetto REQUEST, i risultati della ricerca.

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 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.

Progetto 3.3 “Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile”
Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Definizione dei parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione energetica estiva	Set 2012	1500	105	0	3	0	0	108
B	Edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, Applicabilità di strumenti innovativi oer le audit energetiche	Set 2012	1140	80	0	3	80	30	193
C	Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile	Set 2012	1140	80	10	3	0	30	123
D	Efficienza energetica in edifici di pregio architettonico con destinazione non residenziale/aree archeologiche di proprietà pubblica	Set 2012	1285	90	15	4	0	40	149
E	Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio	Set 2012	1215	85	10	3	15	25	138
F	Partecipazione all'Implementing Agreement dell'IEA "Energy Conservation in Building and Community Systems"	Set 2012	1140	80	0	9	0	100	189
TOTALE			7420	520	35	25	95	225	900

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA
Tematica di Ricerca	UTILIZZO DELL'ENERGIA ELETTRICA E SOLARE PER CONDIZIONAMENTO ESTIVO
Progetto 3.4	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva</i>

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

La domanda di energia per il condizionamento degli ambienti è aumentata considerevolmente negli ultimi decenni ed il trend è ancora fortemente in crescita. Le tecnologie tradizionalmente utilizzate per il condizionamento estivo (sistemi a compressione con motori elettrici) sono causa di notevoli sovraccarichi della rete elettrica di distribuzione con conseguente rischio di black-out elettrici. In particolare il rischio è di dover aumentare significativamente la potenza installata senza un corrispondente aumento del consumo con il risultato di un costo dell'energia più alto.

Negli ultimi anni diverse attività di ricerca e sviluppo tecnologico si sono focalizzate sullo studio di processi per il condizionamento degli edifici basati su tecnologie innovative che utilizzano l'energia solare (solar cooling) o comunque fonti di energia alternative.

L'impiego dell'energia solare nella stagione estiva per il condizionamento dell'aria costituisce una soluzione tecnica molto interessante dal punto di vista energetico, vista la coincidenza della domanda con la disponibilità di energia solare.

Per analizzare tale tipo di tecnologia abbiamo sviluppato presso il C.R. di Casaccia alcune facility di prova dei vari componenti ed un impianto di solar cooling opportunamente strumentato a servizio dell'Edificio F51 avente destinazione d'uso "uffici".

I risultati del monitoraggio di questo impianto sono stati molto sorprendenti, soprattutto quelli relativi al periodo di funzionamento invernale dell'impianto. Si è infatti constatato che i pannelli solari, utilizzati per alimentare l'impianto di riscaldamento dell'edificio (solar heating), hanno assicurato un risparmio di circa il 40% dell'energia termica necessaria a riscaldare gli ambienti (mesi novembre 2010-marzo 2011). Gli stessi pannelli che in estate producono l'energia termica necessaria ad alimentare la pompa di calore ad assorbimento dedicata alla climatizzazione estiva assicurano anche una ottima percentuale di energia termica dedicata al riscaldamento degli ambienti durante il periodo invernale. In questo modo il tempo di ritorno degli investimenti risulta sensibilmente ridotto e lo stesso componente (pannello solare ad alta efficienza) gioca un ruolo fondamentale durante entrambe le stagioni.

L'attività ha inoltre approfondito la possibilità di utilizzare l'energia solare in ausilio a pompe di calore dedicate al riscaldamento degli ambienti durante il periodo invernale: queste pompe di calore sono identificate come "elioassistite". Sono delle macchine tradizionali, del tipo acqua-acqua, che se abbinata ad impianti a pannelli solari termici di basso costo, riescono a garantire dei COP (Coefficient Of Performance) comparabili con quelli ottenibili abbinando queste macchine a delle sonde geotermiche. In zone dove difficilmente sarebbero proponibili impianti di tipo geotermico, l'adozione di pompe di calore elioassistite garantirebbe degli ottimi risultati ottenibili con costi di investimento di gran lunga inferiori.

Per le zone climatiche "rigide", dove la temperatura esterna scende sotto i 2°C, si è analizzata la possibilità di utilizzare delle pompe di calore che utilizzano come refrigerante la CO₂ (R744) per garantire il riscaldamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria. Anche in questo caso i risultati ottenuti sono risultati molto interessanti: sicuramente questa tecnologia è una valida alternativa alle caldaie che utilizzano combustibile fossile in zone dove lo stesso è difficilmente reperibile.

Il prodotto di queste attività di ricerca è quindi lo sviluppo di un ventaglio di soluzioni valide e performanti che tengono conto delle zone climatiche dove le stesse amplificano i vari punti di eccellenza di ciascuna tecnologia. L'energia elettrica, abbinata e non all'energia resa disponibile dal sole, può quindi essere un'ottima alternativa ai combustibili fossili che in alcuni casi possono del tutto essere sostituiti dall'accoppiamento di questi due tipi di energia.

SITUAZIONE 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.

In questi due anni di ricerca, con gli impianti sperimentali realizzati, si è potuto constatare quanto questa tecnologia sia valida se vista nel complesso del suo utilizzo (estate e inverno): bisogna ancora sviluppare alcuni componenti specifici e ottimizzare al massimo il sistema di regolazione e controllo di questo tipo di impianti. Le potenzialità di ottimizzazione delle performance ci sono e sono ben note: le principali indicazioni le stiamo ottenendo proprio dagli impianti sperimentali che, durante il loro funzionamento costantemente monitorato, ci "suggeriscono" i punti chiave sui quali agire.

In questo panorama sono presenti alcune industrie italiane che, in collaborazione con Università ed Enti di ricerca, sono in grado di realizzare impianti dimostrativi utilizzando e/o sviluppando tecnologie innovative.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Solar Cooling

Il Solar Cooling comprende una famiglia di tecnologie che permettono il raffrescamento degli edifici utilizzando in massima parte l'energia solare.

La tipologia di impianto principalmente utilizzata è quella basata sull'impiego di pannelli solari 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. Una caldaia di integrazione è normalmente prevista per garantire il funzionamento dell'impianto in assenza di sole.

Questi impianti si differenziano in base al tipo della macchina ad assorbimento utilizzata:

a) Macchine ad Acqua-Bromuro di Litio a singolo effetto.

Queste macchine, di produzione giapponese, americana ed ultimamente cinese, necessitano tipicamente di acqua calda a 95-100 °C per il loro azionamento, producibile mediante pannelli solari a bassa concentrazione. Le prestazioni frigorifere (COP) di queste macchine sono normalmente pari a 0,7 rispetto al calore di alimentazione. Lo smaltimento del calore prodotto dal ciclo termodinamico avviene a temperature di 30-40 °C e pertanto per il loro funzionamento è indispensabile una torre evaporativa, che comporta ingombri e consumi aggiuntivi e potenziali pericoli per colture batteriche. Dal momento che utilizzano acqua come fluido refrigerante non possono essere generalmente impiegate come pompe di calore invernali, salvo rari casi.

b) Macchine ad Acqua-Bromuro di Litio a doppio effetto.

Molto simili alle precedenti, di cui sono la versione ad alta efficienza, presentano COP frigoriferi molto elevati, pari a circa 1,1, necessitano di acqua calda o vapore a circa 160 °C, producibili soltanto con più costosi pannelli solari a medio-alta concentrazione.

c) Macchine ad Acqua-Ammoniac

Da poco prese in considerazione per il Solar Cooling, hanno un COP di circa 0,6-0,7 e richiedono temperature di funzionamento di circa 190 °C, ottenibili con gli stessi pannelli solari a concentrazione del caso precedente. I vantaggi aggiuntivi di queste macchine consistono nel poter funzionare *senza bisogno di torri evaporative*, e soprattutto nella *reversibilità* del funzionamento: la stessa macchina può funzionare anche per il riscaldamento invernale permettendo, in assenza di sole, un risparmio di combustibile pari a circa il 50% rispetto alle caldaie tradizionali ad alta efficienza.

Macchine di nuova concezione, non derivate da quelle alimentate a fiamma diretta, richiedono temperature di azionamento minori (~100 °C) a vantaggio dell'efficienza dei pannelli solari, ma necessitano dell'impiego di torri evaporative per lo smaltimento del calore.

d) Desiccant

Si tratta di apparecchi che essiccano l'aria (desiccant cooling), abbassandone quindi la temperatura di rugiada, per mezzo di sostanze igroscopiche (silica gel, cloruro di calcio) che vanno poi rigenerate mediante aria calda prodotta con pannelli solari.

Appositi umidificatori e recuperatori di calore completano questo tipo di ciclo termodinamico di tipo aperto, dove cioè il fluido refrigerante (acqua) viene continuamente rinnovato, per ottenere il desiderato grado di benessere nel locale condizionato.

Anche in questo caso l'elevato costo dei componenti del sistema ne pregiudica la competitività attuale sul piano prettamente finanziario.

Heat Pipe

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.

Gli Heat Pipe trovano alcune notevoli possibili applicazioni nel campo della climatizzazione degli edifici, in particolare, negli impianti di condizionamento ad aria dove è necessario deumidificare: il sistema consente di post riscaldare l'aria, precedentemente raffreddata fino a temperature prossime alla saturazione, in modo da far condensare l'acqua in essa presente. Poiché non è possibile immettere in ambiente aria così fredda, è necessario riscaldarla utilizzando energia termica: questa energia è fornita dagli Heat Pipe, senza dover far ricorso a caldaie integrative o batterie di tipo elettrico.

Gli Heat Pipe sono inoltre utilizzati in pannelli solari di tipo evacuato per la produzione di acqua calda sanitaria.

Macchine con sonde geotermiche

Queste applicazioni sono abbastanza diffuse in Europa del nord, proprio a causa delle condizioni invernali più rigide che non permettono un impiego soddisfacente di quelle aria-aria.

Il terreno è un cattivo conduttore di calore, per cui sono necessari molti m² di superficie di scambio per prelevare il calore richiesto. Lo scambio è fatto sia con scambiatori orizzontali, se è disponibile una grande superficie libera nelle vicinanze dell'edificio, oppure verticali, ottenuti trivellando il terreno con numerosi pozzi profondi da 80 a 160 m, in cui vengono calati tubi in polietilene che scambiano calore, più un riempitivo (filler) che serve a garantire il contatto termico.

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.

L'elevato costo delle sonde geotermiche condiziona la competitività attuale sul piano prettamente finanziario.

Macchine elioassistite

Queste applicazioni risalgono agli inizi degli anni '80; l'idea di base nasce dal fatto che con un collettore piano a basso costo non è difficile raggiungere una temperatura prossima a 25-30 °C anche in inverno.

Con queste temperature all'evaporatore, una pompa di calore a compressione può raggiungere COP anche molto elevati, fino a 5, con un indubbio vantaggio energetico.

Il costo dei pannelli solari varia tra 50 e 400 €/m², ed è quindi molto più basso del costo delle sonde geotermiche: il loro rendimento, a così basse temperature, è molto alto (60-65 %) e tale da permettere campi solari di dimensioni più contenute di quelle delle normali applicazioni.

Nel funzionamento estivo devono però essere previsti sistemi aggiuntivi di smaltimento del calore, quali torri evaporative od aerotermini.

Pompe di calore a CO₂

Queste pompe di calore utilizzano la CO₂ (R744), quindi un fluido naturale, come fluido refrigerante e sono in grado di produrre, sfruttando l'energia elettrica, acqua calda ad alta temperatura.

Le pompe di calore sono del tipo aria-acqua e possono essere dedicate alla produzione di acqua calda sanitaria ed al riscaldamento degli ambienti. Il tipo di refrigerante utilizzato consente il funzionamento della macchina anche a temperature esterne prossime a -25 °C.

La pompa di calore può raggiungere COP di circa 3,5-4: il rendimento può essere più elevato se, come nel caso precedente, è abbinata a dei pannelli solari di integrazione.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

Lo scopo principale del progetto è quello di favorire una crescita nel ricorso a queste tecnologie avanzate di climatizzazione degli edifici. Tale obiettivo richiede parallelamente lo sviluppo di:

- a. componenti innovativi e competitivi, in grado di fornire adeguate prestazioni a costi contenuti;
- b. una varietà di soluzioni tecnologiche che consenta la scelta ottimale per ogni situazione climatica presente nel territorio nazionale.

L'analisi dei dati di reale funzionamento degli impianti installati negli edifici "dimostratori" consentirà, validando i modelli di ottimizzazione multiparametrica appositamente sviluppati, di poter realmente conoscere il tempo di pay-back di questi impianti di climatizzazione innovativa. In parallelo tale analisi sarà fondamentale per permettere di valutare il comportamento reale dei vari componenti innovativi atti a realizzare il sistema integrato.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

L'attività sulla climatizzazione innovativa si sviluppa su due linee di attività fondamentali, concentrando gli sforzi e le risorse verso la realizzazione di laboratori e lo sviluppo di componenti innovativi:

- la prima linea è quella dello sviluppo e qualificazione di tecnologie per lo sfruttamento della componente rinnovabile per il condizionamento estivo. In particolare vengono studiate pompe di calore ad assorbimento, pompe elettriche elio-assistite, heat pipe, pompe di calore a CO₂, sistemi desiccant, pompe geotermiche. A questo scopo si realizzeranno impianti prototipali, laboratori di qualificazione e si assicurerà la partecipazione a network di ricerca internazionali (IEA);
- la seconda linea di attività riguarda l'integrazione del sistema di climatizzazione, cioè la costruzione di sistemi integrati che possano essere robusti e competitivi assolvendo l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale. In questo contesto si svilupperanno: sistemi integrati pilota e dimostratori dove tali sistemi sono integrati nell'edificio; sistemi di controllo ed ottimizzazione in linea della integrazione tra sistema di climatizzazione ed edificio e telediagnostica con sistemi di monitoraggio remoto.

Le attività svolte nel precedente Piano sono sintetizzate nel seguito:

- è stata avviata l'analisi sperimentale di una pompa di calore ad assorbimento del tipo ad acqua-ammoniaca. La macchina fa parte di un innovativo impianto di solar cooling, che sfrutta anche il vantaggio di un impianto di tipo elioassistito per aumentare il rendimento dell'intero sistema: l'impianto realizzato andrà a garantire la climatizzazione estiva ed invernale dell'edificio F92;
- sono stati analizzati i comportamenti di vari tipi di heat pipe, al variare del grado di riempimento e del tipo di fluido utilizzato. Resta da analizzare cosa succede al variare della geometria, del grado di vuoto e della sua inclinazione;
- è stato effettuato il monitoraggio durante il periodo invernale dell'impianto di *solar cooling* a servizio dell'edificio F51: i risultati ottenuti sono da ritenere ottimi, considerando anche le ulteriori possibilità di aumento delle performance di questo impianto che si possono ottenere agendo sia su

alcuni componenti che andremo a sostituire nella prossima annualità che sulla logica di regolazione e controllo attualmente in fase aggiornamento;

- è stata avviata la facility di prova della pompa di calore elioassistita: i risultati ottenuti sono stati davvero sorprendenti ed oggetto di pubblicazioni e presentazioni in numerosi convegni del settore. Si sta validando il metodo di simulazione utilizzato per la progettazione preliminare;
- è stata completata la progettazione ed è in fase di realizzazione l'impianto di *solar cooling* innovativo a servizio dell'edificio F92, che utilizza una pompa di calore ad assorbimento reversibile. L'impianto consentirà la possibilità di provare diversi tipi di macchine ad assorbimento, allo scopo di poterne confrontare le diverse performance;
- è stata realizzata una facility di prova di una macchina frigorifera aria-aria che utilizza come fluido refrigerante la CO₂ (R744). I risultati ottenuti, in termini di temperature massime raggiunte, confermano la possibilità di utilizzare queste macchine per il riscaldamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria. E' stata inoltre completata la progettazione di una pompa di calore a CO₂ del tipo acqua-acqua ed è in fase di realizzazione una facility di prova che consentirà di monitorarne il funzionamento sia durante il periodo invernale che estivo;
- è stato completato il geodatabase open source dei Dati geo-litologici nazionali; il geodatabase è stato integrato con stratigrafie rappresentative di quattro aree scelte nelle città di Palermo, Napoli, Roma e Milano. Il geodatabase rappresenta un importante strumento di informazione condivisa, a supporto della diffusione della tecnologia delle pompe di calore geotermiche;
- è stata realizzata, presso il Centro Ricerche Trisaia dell'ENEA, una piattaforma sperimentale per la caratterizzazione di collettori solari a media temperatura per applicazioni nel solar cooling e calore di processo. Le prove su questi tipi di collettori hanno consentito l'analisi delle varie tecnologie e l'individuazione dei "punti critici" di questi tipi di collettori che ne abbatterebbero i rendimenti. Il laboratorio si è rivelato un ottimo strumento per la diagnosi energetica dei vari tipi di collettori che, una volta modificati, sono stati nuovamente sottoposti a qualifica riscontrando e quantificando i miglioramenti attesi. Si è inoltre partecipato ad organismi di formazione europea in ambito CEN per la definizione delle specifiche norme e per i sistemi ibridi solare-fotovoltaico;
- è stata avviata l'attività inerente i sistemi di regolazione, monitoraggio e controllo degli impianti di climatizzazione in edifici complessi. I primi risultati emersi durante lo sviluppo dell'attività hanno messo in evidenza le potenzialità notevoli di risparmio energetico (30% circa) basate su sistemi di automazione di basso costo (il concetto di "kit minimo di automazione" ma particolarmente efficace), ma con gestione avanzata della diagnostica e della climatizzazione;
- è stato realizzato un portale web dedicato ai "Sistemi di climatizzazione estiva ed invernale assistiti da fonti rinnovabili", dove è possibile approfondire i vari temi ed analizzare le facility di prova che è possibile visitare presso il C.R. di Casaccia ed il C.R. di Trisaia;
- è stata assicurata la partecipazione italiana ai gruppi di lavoro IEA - Solar Heating and Cooling e SolarPACES.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

Il Ministero dello Sviluppo Economico ha promosso la costituzione di gruppi di lavoro per il coordinamento delle attività relative alla Ricerca di Sistema Elettrico, affidate tramite Accordi di Programma ai soggetti ENEA, RSE S.p.A. e CNR. I gruppi di lavoro per il coordinamento hanno lo scopo di garantire quanto previsto nel Piano triennale della Ricerca di Sistema Elettrico 2009 -2011, ovvero coordinare le attività comuni ed affini tra i vari soggetti affidatari con lo scopo di ottimizzare il lavoro ed evitare sovrapposizioni.

A tale scopo il Ministero, accogliendo anche le indicazioni presentate dai comitati di sorveglianza degli Accordi di Programma, ha ritenuto opportuno disporre la costituzione di gruppi di lavoro che abbiano lo scopo di garantire quanto previsto nel Piano triennale, ovvero coordinare le attività comuni ed affini tra i vari soggetti affidatari, con lo scopo di evitare inutili sovrapposizioni.

Le attività sulle quali ENEA, RSE S.p.A. e CNR si stanno coordinando sono di seguito elencate:

- definizione di procedure di prova comuni per componenti innovativi per un sistema integrato di solar cooling;
- monitoraggio delle prestazioni energetiche di impianti realizzati in diverse condizioni climatiche e con differenti soluzioni tecnologiche per individuare necessità di sviluppo tecnologico mirate a correggere i problemi di funzionamento in esercizio;
- attività comuni di disseminazione.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

A. Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi

L'attività prevede la progettazione, realizzazione, messa in funzione e quindi l'analisi sperimentale del funzionamento di prototipi di componenti innovativi costituenti il sistema integrato in grado di assolvere l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale.

In particolare, si riportano di seguito le principali azioni, sulle quali si concentrerà la sperimentazione.

- A1. Messa in funzione, analisi sperimentale e caratterizzazione dell'innovativo impianto di solar cooling realizzato a servizio dell'edificio F92 del Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA. L'obiettivo è quantificare, in termini di risparmio energetico, i vantaggi di abbinare un impianto di solar heating ad una pompa di calore elioassistita del tipo ad assorbimento ad acqua-ammoniaca, e non a compressione di vapore;
- A2. Messa in funzione, analisi sperimentale e caratterizzazione della pompa di calore a CO₂ (R744) invertibile, installata a servizio di un edificio prefabbricato altamente strumentato e dotato di un innovativo impianto di supervisione e controllo;
- A3. Analisi sperimentale di un prototipo di pompa di calore a CO₂ (R744) invertibile del tipo aria-aria, dedicato alla climatizzazione di gallerie commerciali e grossi edifici del terziario che si trovano in zone climatiche rigide. La macchina sarà del tipo Roof-top ed andrà ad assicurare la climatizzazione degli ambienti ed il ricambio d'aria necessario agli stessi e previsto dalla normativa vigente (UNI 10339). Allo stato attuale queste macchine, se installate in zone climatiche rigide, necessitano dell'ausilio di batterie integrative ad acqua calda alimentate da una centrale termica a combustibile fossile. L'attività vuole investigare la possibilità di realizzare un prototipo di macchina che con la sola energia elettrica riesca ad assicurare non solo la climatizzazione estiva ma anche il riscaldamento invernale degli ambienti dove la temperatura esterna è inferiore ai 2°C: l'obiettivo è evitare i consumi energetici che hanno le macchine utilizzando refrigeranti tradizionali, legati alla necessità di effettuare lunghi cicli di sbrinamento delle batterie esterne;
- A4. Progettazione e realizzazione di un serbatoio di accumulo a cambiamento di fase. L'aleatorietà nella disponibilità di energia solare, l'alternanza di giorno e notte e la variabilità dei carichi di impianto hanno sempre suggerito di prevedere in tutti gli impianti di solar cooling almeno un accumulo. Una capacità importante di accumulo caldo consente di non dimensionare la macchina, elemento assai costoso dell'impianto, per le punte di disponibilità dell'energia solare, che possono essere adeguatamente smussate dall'accumulo. Questi accumuli sono stati generalmente realizzati con acqua: per ridurre le dimensioni di questi accumuli (ed anche le dispersioni termiche che si realizzano) appare quindi opportuno ricorrere a sistemi diversi ed in particolare a sostanze che operano in cambiamento di fase (tipicamente da liquido a solido e viceversa) che proprio per l'elevato calore di cambiamento di fase possono garantire grandi capacità di accumulo anche a fronte di volumi limitati;
- A5. Studio, progettazione e realizzazione di un sistema di smaltimento statico del calore. Il mancato utilizzo (es. periodi di ferie prolungati, bassa richiesta di energia termica e frigorifera) dell'energia termica prodotta dai pannelli solari previsti a servizio di impianti di solar cooling o di produzione di acqua calda sanitaria comporta la necessità di prevedere degli opportuni sistemi di sicurezza atti a smaltire l'energia termica in eccesso. Le sicurezze previste secondo la normativa ISPEL garantiscono l'incolumità degli utilizzatori dai possibili problemi che potrebbero nascere dall'aumento incontrollato

di pressione e temperatura all'interno dell'impianto, ma causano lo svuotamento dell'impianto stesso e quindi la necessità dell'intervento di un operaio specializzato per il suo riavvio (sono, appunto, sistemi di sicurezza/emergenza). Lo scopo è quello di realizzare un sistema statico di smaltimento dell'energia termica in eccesso costituito da una batteria alettata opportunamente dimensionata in grado di smaltire il calore per convezione naturale che si aziona prima dell'intervento degli organi di sicurezza comunque previsti.

- A6. Analisi sperimentale sugli heat pipe per verificarne il comportamento termico al variare della geometria, del grado di vuoto e della sua inclinazione. L'obiettivo è creare un legame tra questi parametri e le prestazioni ottimali legate all'impiego nella zona geografica dove l'heat pipe verrà installato. In generale, i risultati ottenuti mediante la sperimentazione dovranno consentire lo sviluppo di una piccola utility dedicata alla selezione dell'heat pipe che meglio soddisfa l'applicazione per la quale verrà utilizzato;
- A7. Realizzazione di un prototipo di macchina frigorifera caldo/freddo dedicata al settore alimentare, utilizzando un refrigerante a basso impatto ambientale (R744). Allo stato attuale, per esempio, la fase di pastorizzazione delle macchine che preparano gli alimenti a base di latte necessitano di due fasi, la prima di riscaldamento (affidata a delle resistenze elettriche) e la seconda di raffreddamento (affidata ad una macchina solo freddo) del preparato. Lo scopo è abbattere i consumi elettrici di circa il 70% durante la fase di riscaldamento del prodotto (grazie al COP della pompa di calore), attualmente affidata a delle resistenze elettriche aventi un COP unitario. Con lo stesso circuito frigorifero verrà poi fornita l'energia necessaria alla conservazione del preparato a bassa temperatura;
- A8. Realizzazione di un impianto di solar heating and cooling a servizio di una serra per culture intensive. L'impianto andrà a servire la serra a contenimento del CR Casaccia di tipo sperimentale, per l'allevamento di piante GM e per lo svolgimento di attività di ricerca in condizioni ottimali e di biosicurezza di livello 2, realizzato per essere conforme alle normativa prevista in materia di sicurezza dall'Italia e dalla Unione Europea (direttiva 2001/18/CEE recepita con Decr. Leg.vo 224/2003). La serra a contenimento occupa una superficie complessiva di 210 mq circa ed è suddivisa al suo interno in otto moduli indipendenti di circa 14 m² ciascuno: ogni modulo è dotato di impianti automatizzati indipendenti con relativi quadri di comando e regolazione per il riscaldamento, il raffreddamento, l'illuminazione e l'ombreggiamento in modo da realizzare all'interno di ogni modulo livelli microclimatici e di illuminazione differenziati. Lo scopo è quello di provare l'impianto di solar heating and cooling a servizio di una serie di "Moduli Tipo" per poi estendere i risultati della ricerca agli altri moduli. Dai dati di funzionamento della serra, si rileva che il carico elettrico maggiore dell'impianto serra riguarda il gruppo di refrigerazione (sempre acceso) con picchi di consumo durante l'estate di 3.840 kWh/giorno: l'obiettivo prefissato è quello di ridurre di oltre il 60% i consumi attuali.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulla sperimentazione dell'impianto innovativo di solar cooling realizzato a servizio dell'edificio F-92 del CR ENEA Casaccia
- Rapporto tecnico sulla sperimentazione del sistema con pompa di calore a CO₂
- Prototipo pompa di calore a CO₂ (R744) invertibile del tipo aria-aria (ROOF-TOP) e rapporto tecnico
- Prototipo serbatoio di accumulo a cambiamento di fase e rapporto tecnico
- Prototipo sistema di smaltimento statico del calore e rapporto tecnico
- Rapporto tecnico sulla sperimentazione heat pipe
- Prototipo macchina frigorifera caldo/freddo dedicata al settore alimentare, utilizzando un refrigerante a basso impatto ambientale (R744) e rapporto tecnico
- Rapporto tecnico sull'analisi energetica dell'impiego di un impianto di solar heating and cooling a servizio di una serra per culture intensive; sarà inoltre progettato e realizzato un impianto sperimentale a servizio di una serie di "Moduli tipo" della serra.
-

Principali collaborazioni: Università di Padova, Università di Napoli, Università di Roma 3

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Caratterizzazione di componenti solari per applicazioni di solar cooling

L'attività si focalizzerà sullo sviluppo di una facility per la prova e la caratterizzazione di componenti e sistemi destinati ad applicazioni di climatizzazione estiva ed invernale elio-assistite ed in particolare:

- B1. Sviluppo di componenti solari a "debole" concentrazione ($T_{\text{lavoro}} = 150\text{-}200 \text{ }^{\circ}\text{C}$) a basso costo, per applicazioni di climatizzazione nel settore civile e terziario e/o di produzione di calore di processo nel settore industriale. Tale attività si articolerà nello studio e nella messa a punto sia del sistema ottico di concentrazione che del sistema di conversione dell'energia solare in energia termica, attraverso lo sviluppo di modelli che permettano di determinare le configurazioni ottiche e termo-fluidodinamiche più adeguate alle varie applicazioni d'interesse.
- B2. Realizzazione di un simulatore solare per l'esecuzione di prove indoor su prototipi al fine di analizzare e verificare, in condizioni controllate, le performance energetiche di nuovi componenti solari in vista anche della validazione dei modelli ottici e termo-fluidodinamici sviluppati nella fase precedente. L'attività consisterà principalmente nella progettazione e realizzazione di un sistema di generazione artificiale della radiazione solare che sarà abbinato ad un circuito termo-idraulico già in dotazione al laboratorio per le prove indoor su collettori di diverse tipologie.
- B3. Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi allo stato pre-industriale o di prototipo per applicazioni solari a bassa e media temperatura. A tale scopo si utilizzeranno le diverse stazioni sperimentali di test già allestite presso il Laboratorio solare del CR ENEA Trisaia (circuiti di prova per collettori a bassa e media temperatura, circuito prova accumuli, circuito di prova per sistemi, ecc.), che consentiranno di provare i diversi componenti solari in accordo alle vigenti normative europee.

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici

Durata: Ottobre 2011 - Settembre 2012

C Partecipazione agli Implementing Agreement dell'IEA

Sarà assicurata la partecipazione, quali rappresentanti italiani ai lavori dell'Implementing Agreement "Solar Heating and Cooling".

In particolare, nell'ambito IEA sarà assicurata la partecipazione alle Task 40 "Towards Net Zero Energy Solar Buildings", Task 41 "Solar Energy and Architecture", Task 42 "Compact Thermal Energy Storage: Material Development and System Integration", Task 44 "Solar and Heat Pump Systems", Task 47 "Sustainable Renovation in Non-Residential Buildings".

Sarà ancora assicurata la partecipazione, quali rappresentanti italiani, ai lavori del "SolarPACES, Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems" della Agenzia Internazionale per l'Energia.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulla attività svolta nel corso del periodo di riferimento

Principali collaborazioni: Università di Palermo

Durata: ottobre 2011 – settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

Per quanto riguarda le attività di comunicazione e diffusione dei risultati, si prevede di:

- realizzare, con un linguaggio efficace dal punto di vista comunicativo, materiali informativi destinati ai vari target di riferimento, beneficiari finali delle attività (Enti Locali, Sistema delle Imprese, professionisti ecc.) nonché al grande pubblico e relativi a:
 - finalità complessive delle attività;
 - tematiche scelte come prioritarie e motivazioni di tali scelte;
 - obiettivi specifici, destinatari e modalità di conduzione delle ricerche sulle singole tematiche;
 - risultati conseguiti e ricadute sull'utente finale;
- elaborare e attuare un Piano di comunicazione e diffusione capillare di queste informazioni e, soprattutto, dei risultati conseguiti e delle ricadute sull'utente finale;
- lanciare con dei convegni mirati (es. Installatori qualificati, Progettisti, Università,..) il sito internet dedicato ai "Sistemi di climatizzazione estiva ed invernale assistiti da fonti rinnovabili".

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

Le attività previste consentono lo sviluppo di componenti e soluzioni tecnologiche innovative dedicate alla climatizzazione assistita da solare. Queste attività consentiranno di individuare soluzioni non solo energeticamente efficienti, ma soprattutto economicamente convenienti, contribuendo ad una capillare diffusione di queste tecnologie in Italia, con evidenti benefici per la bolletta elettrica del sistema paese.

Progetto 3.4 "Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva"

Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Sperimentazione e Qualificazione di componenti e sistemi	Set 2012	2285	160	130	40	0	110	440
B	Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni di solar cooling	Set 2012	1285	90	40	15	0	25	170
C	Partecipazione agli Implementing Agreement dell'IEA	Set 2012	570	40	0	15	0	35	90
TOTALE			4140	290	170	70	0	170	700

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA
Tematica di Ricerca	RISPARMIO DI ENERGIA ELETTRICA NEI MEZZI DI TRASPORTO ELETTRICI
Progetto 3.5	STUDIO PER LO SVILUPPO DI MATERIALI INNOVATIVI PER IL RISPARMIO DI ENERGIA NEL SETTORE ELETTRICO CON PARTICOLARE ATTENZIONE AI MATERIALI PER I MEZZI DI TRASPORTO COLLETTIVI: <i>Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto</i>

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Rimane confermato il quadro presentato l'anno scorso, con un cambiamento, la ridefinizione degli obiettivi B e C ed il loro accorpamento in un obiettivo unico, e conseguente riduzione del numero degli obiettivi da 7 a 6. Infatti, completate le valutazioni tecnico-economiche degli accumuli misti, previsti all'Obiettivo B del piano 2008-2009, e verificato che le attività di ricerca sull'accumulo misto ricadono essenzialmente nel campo della gestione dei flussi di potenza, dove è centrale il tema dei convertitori di potenza, si è deciso di raggruppare gli obiettivi B e C. Nell'ambito dei componenti dei sistemi di trazione gli obiettivi si riducono quindi a due, A (inerente la tecnologia degli accumuli elettrici) e B (inerente essenzialmente la tecnologia dei convertitori).

Nell'ambito del nuovo Obiettivo B è stato ampliato il tema della ricarica dei veicoli elettrici al servizio di rete (accumulo distribuito/smart grid) e, nell'ambito dell'Obiettivo C alle attività di Life Cycle Assessment (LCA) sono state aggiunte anche attività di Risk Assessment.

Nel campo dei materiali le attività del secondo anno prevedono l'upscaling dei processi di produzione dei materiali cellulari metallici e sub componenti (estrusi riempiti e Aluminum Foam Sandwich) e lo sviluppo di modelli di calcolo per la progettazione e la simulazione del comportamento di componenti reali da utilizzare su vettori per il trasporto collettivo. Tali attività, associate al prosieguo degli studi per l'applicazione delle tecnologie di saldatura HDE laser e/o plasma, sono propedeutiche alla definizione di elementi prototipali da realizzare nel corso della terza annualità.

Nel settore dei materiali compositi rinforzati con fibre naturali, si è allargato il campo di utilizzo dei materiali, includendovi anche materiali biodegradabili sotto forma di pre-impregnati a secco (commingled) e delle loro tecniche di stampaggio.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

La trazione elettrica, in particolare l'uso di batterie al litio nei mezzi elettrici senza linea aerea, è uno degli approcci più promettenti per la soluzione dei problemi di carattere ambientale e l'esigenza di diversificazione delle fonti di energia. I costi attuali delle batterie al litio non consentono una massiccia diffusione dei sistemi elettrici, per cui, vista anche l'assenza di produttori nazionali per le batterie avanzate, si rende necessario un ulteriore sforzo di ricerca e sviluppo mirato a creare le giuste potenzialità per la penetrazione del mercato.

L'ENEA ha già una pluriennale esperienza nello studio dell'impiego di batterie al litio per applicazioni veicolari: sono stati eseguiti studi di fattibilità scientifico-tecnici per individuare le principali necessità di ricerca di base e definire le potenzialità applicative ed eventuali limitazioni ambientali, e sono stati condotti studi economici per stimare i costi attesi. Alla luce dell'esperienza pregressa, si può ritenere che un valido argomento per conseguire la diminuzione dei prezzi è rappresentato dalla modularità: l'adozione di elementi modulari standard, consentirebbe ad un ipotetico operatore economico di poter soddisfare le

esigenze delle varie applicazioni gestendo un medesimo prodotto e ciò si tradurrebbe in alti volumi di produzione, o acquisto, e quindi in un contenimento dei prezzi. La modularità, associata all'impiego di moduli di piccola taglia e ad un insieme di infrastrutture di ricarica, permetterebbe anche di conseguire una riduzione del peso del pacco batterie, altro fattore limitante, in quanto peggiorativo dei consumi chilometrici.

Per quanto riguarda i materiali polimerici, in Europa e negli Stati Uniti, la produzione dei compositi a matrice polimerica sta passando da una fase in cui le applicazioni erano principalmente orientate a nicchie di mercato ad elevato valore aggiunto (aerospaziale e aeronautico ecc.) ad un'altra in cui ai settori tradizionali si affiancano applicazioni meno sofisticate e produzioni di massa in settori come quello automobilistico e dei beni comuni.

Guardando un po' più al futuro, oltre all'interesse sempre presente verso i nanocompositi specie da parte dell'industria automobilistica (Toyota, GM) invece due sono le aree principali in cui sta crescendo l'interesse sia in campo industriale che in quello della ricerca:

- sostituzione delle matrici termoindurenti con quelle termoplastiche in settori di mercato attualmente non coperti;
- utilizzo di resine e fibre da fonti naturali.

Per quanto riguarda i materiali metallici cellulari, l'attività in Europa e nel mondo sulle schiume metalliche è in continuo fermento con innovazioni continue che vanno dallo sviluppo di procedimenti per la schiumatura delle leghe di acciaio per usi strutturali fino alla ibridizzazione con materiali polimerici per incrementare le proprietà di questi tipi di materiale e la realizzazione di sandwich multilayer da utilizzare in applicazioni speciali e scudi balistici.

Le tecnologie per la produzione di schiume metalliche ad Aluminum Foam Sandwich (AFS) per impiego strutturale sono basate principalmente sulla tecnologia della Metallurgia delle Polveri (MP). Dal punto di vista commerciale il gruppo Alulight ha attualmente in mano il mercato e i principali laboratori di ricerca nell'ambito della produzione di materiali metallici cellulari ed AFS strutturali prodotti mediante metallurgia delle polveri. Questi materiali hanno ancora un costo piuttosto elevato e quindi tali da renderli utilizzabili esclusivamente per automobili di alta fascia ed allo stato attuale principalmente come elementi front end ed in generale per l'assorbimento degli urti. Un impiego su larga scala di questo tipo di materiali, che dovrebbe portare alla riduzione dei costi, attualmente non esiste, mentre esistono alcuni studi per la realizzazione di *body in white* di autoveicoli dedicati principalmente a *concept* di auto sportive con dimostratori prototipali che evidenziano come associato ad una riduzione del peso vengano notevolmente migliorate le proprietà di *crashworthiness*.

L'ENEA da ormai oltre un decennio si è inserita nel settore della ricerca sui materiali polimerici e compositi a matrice polimerica ricavandosi una nicchia tecnico-scientifica di grande visibilità in campo nazionale nel settore delle applicazioni dei materiali polimerici nanostrutturati in tre campi specifici:

- compositi polimerici nanostrutturati ottenuti per intercalazione-esfoliazione da fuso o da polimerizzazione intercalativa in situ, finalizzati al miglioramento della reazione al fuoco e all'alleggerimento strutturale;
- compositi polimerici a base di grafite nanostrutturata ottenuta per *ball milling*, finalizzati, tra le altre applicazioni, all'isolamento termico;
- compositi polimerici a base di fibre naturali.

Per quanto riguarda i materiali metallici cellulari l'ENEA assieme ai consorzi partecipati (CALEF e CETMA) ha ottime conoscenze in termini di caratterizzazione ed applicazione di AFS sviluppate nell'ambito dei progetti MAVET e SINAVE che hanno visto la progettazione, la realizzazione e la caratterizzazione di prototipi (duomo di carrozza ferroviaria, container) con l'impiego di estrusi di alluminio ed AFS saldati mediante tecnologie laser-arco e TIG ed anche incollaggio strutturale.

Inoltre l'ENEA sviluppa tecnologie per la produzione di materiali metallici cellulari, in particolare un buon posizionamento a livello nazionale sulla metallurgia delle polveri è presente nel C.R. Faenza che ha il know how per la produzione di microsferiche cave con diversi tipi di materiali che possono essere efficacemente utilizzate nella progettazione e realizzazione di materiali cellulari ibridi polimero-metallo.

Il ciclo di vita, infine, nel settore trasporti può essere schematizzato in 5 fasi principali:

- la produzione del veicolo: estrazione dei materiali grezzi, la loro trasformazione e l'assemblaggio del veicolo;
- la produzione e la sostituzione di pezzi di ricambio (pneumatici, batterie, lubrificanti and refrigeranti);
- lo smaltimento del veicolo, il riuso di materiali e il trattamento dei rifiuti (end-of-life, EOL);
- il processo di trasformazione del combustibile a monte del consumo di carburante (well-to-tank, WTT), dall'estrazione dell'energia primaria, alla produzione e distribuzione del carburante;
- l'uso del veicolo (tank-to-wheel, TTW).

In questo studio i primi tre processi sono considerati insieme in un'unica fase chiamata "Materiali"; le fasi "WTT" e "TTW" insieme rappresentano la catena completa della conversione dell'energia, il cosiddetto ciclo Well-to-Wheel (WTW) .

Studi di LCA sono stati svolti prevalentemente sulle fasi al ciclo del combustibile (WTT) ed alla fase d'uso dei veicoli (TTW). Valutazioni di LCA sulla fase della produzione e EOL del veicolo sono state sviluppate all'interno delle diverse strutture aziendali, mentre, a livello di grandi centri di ricerca, il Massachusetts Institute of Technology (MIT) è stato il primo a pubblicare studi su questi processi nel 2000, e ha pubblicato recentemente un aggiornamento sulla stima dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra nell'intero ciclo di vita del veicolo.

In ambito europeo, lo studio più recente di Life Cycle Assessment in ambito automobilistico è il rapporto commissionato dalla Commissione Europea al JRC, che presenta uno studio di LCA sia sulle vetture passeggeri europee in circolazione che sulla evoluzione futura delle tecnologie veicolari e dei combustibili alternativi .

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Attualmente i canali usuali per l'approvvigionamento di batterie al litio passano attraverso produttori coreani o cinesi, a prezzi piuttosto elevati e con sistemi di controllo e gestione spesso insoddisfacenti.

Le batterie al litio per il veicolo elettrico costituiscono infatti un sistema complesso ed integrato di chimica, elettrochimica, ingegneria ed elettronica, dove il sistema, costituito dalle singole celle o moduli, dal sottosistema di gestione e controllo (BMS, Battery Management System) e dal sottosistema di condizionamento termico, richiede, fin dalla fase di progettazione, una finalizzazione alle necessità dell'utente, il costruttore del veicolo. Questo esula dalle possibilità della piccola e media industria nazionale operante in tale ambito e si assiste quindi, anche nel caso di aziende di medie dimensioni, ad una progettazione molto cautelativa che si traduce in un sovradimensionamento dell'accumulo e/o in una sottostima di alcune problematiche essenziali, come il condizionamento termico, spesso necessario anche in fase di scarica. Le conseguenze sulla velocità di introduzione di queste tecnologie innovative sul mercato sono quindi molto negative, perché i possibili utilizzatori spesso sono dissuasi dal proseguimento dello sviluppo e commercializzazione dei prototipi dalle problematiche insorte in fase di sperimentazione iniziale. Non è infrequente, ad esempio, il caso di utilizzo parziale (anche sotto il 50%) della capacità per effetto di strategie di equalizzazione "bottom balancing" e/o, peggio ancora, di danneggiamenti di singole celle con effetti a volte distruttivi sull'intero sistema.

A riguardo della ricarica rapida, si assiste alla presenza di numerosi studi, non bilanciati al momento da altrettante applicazioni. L'intermodalità tra trasporto pubblico, possibilmente elettrico, e trasporto individuale a basso impatto ambientale richiede infatti interventi sulla struttura del trasporto urbano, con un nuovo ruolo dei parcheggi di scambio e stazioni di servizio con ricarica rapida per veicoli elettrici ed ibridi plug-in. Ma la ricarica rapida, specie se applicata a sistemi non adeguatamente progettati, esalta i problemi prima evidenziati. Anche per questo settore, necessitano quindi ulteriori sviluppi ed incentivi, da affiancare a quelli per le batterie. Parlando, infine, di sistemi di trazione, mentre azionamenti ed i convertitori di media e grande potenza hanno subito un'evoluzione tale da essere oggi disponibili sul mercato prodotti con rendimenti molto alti, nel campo delle piccole potenze analoghi progressi sono stati fatti solo per i convertitori di piccola potenza sviluppati per l'uso delle rinnovabili (fotovoltaico e micro-eolico), e non per azionamenti di piccola potenza.

Per quel che riguarda poi le tecnologie dei materiali, i materiali compositi con fibre naturali vengono realizzati principalmente tramite estrusione a caldo in caso di utilizzo di rinforzo in polvere, mentre per rinforzi a fibra lunga vengono impiegati fondamentalmente processi di impregnazione di tessuti naturali anche misti (commingled).

La tecnologia per la produzione di materiali metallici cellulari è basata su processi di metallurgia delle polveri (MP) che permette sia la produzione di materiali metallici cellulari sia di AFS. Essa si basa sull'opportuna miscelazione e pressatura di polveri di alluminio, particelle di SiC ed agente schiumante che portato ad opportune temperature si decompone dando origine alla formazione di macrovuoti. Il materiale più ampiamente impiegato come agente schiumante è l'idruro di titanio mentre la dispersione di particelle di SiC ed eventuali altri additivi permettono di controllare la fluidità e la reologia del materiale allo stato semi liquido. Per la realizzazione di prodotti con celle chiuse omogenee, oltre ad accurati dosaggi e miscelazione dei costituenti del verde, è necessario avere un controllo ottimale dei tempi di schiumatura ed il sistema di arresto della crescita delle celle che ne impedisca la coalescenza.

Esistono altri processi quali la produzione per effetto di rilascio di gas nel fuso dove l'alluminio opportunamente additivato è portato a fusione all'interno della cavità. A fusione completata si aggiunge l'agente schiumante, il contenitore viene chiuso in modo da permettere alla schiuma di riempire tutto il volume e poi rapidamente raffreddato. Questo metodo può essere efficacemente impiegato per la produzione di componenti casting alleggeriti o per crashworthiness. Un ulteriore metodo per la produzione continua di schiume metalliche è l'iniezione di gas nel metallo fuso: la lega di alluminio è portata a fusione con l'aggiunta di opportuni agenti nucleanti. (SiC, allumina, zirconia, boruro di titanio, che aumentano la viscosità del fuso così da migliorare la sua capacità di trattenimento del gas). La formazione della schiuma si ottiene per iniezione di gas nella massa fusa (anidride carbonica, ossigeno, gas inerte ma anche acqua). La schiuma formata viene raccolta nella parte superiore del reattore. Una criticità risiede nel fatto che le lavorazioni di raccolta della schiuma devono effettuarsi a temperature elevate (oltre i 600°C). Teoricamente è la tecnica che si adatta meglio per un completo processo continuo di produzione. Restano però incogniti i principali parametri che influenzano il processo, la dimensione delle celle e la densità della schiuma.

Per quanto riguarda, infine, i materiali cellulari ibridi polimero metallo, che possono risultare particolarmente adatti per elementi assorbitori di energia come ad esempio i front end delle autovetture, delle microsferiche a diversa dimensione opportunamente miscelate ed unite assieme in una matrice polimerica permettono di realizzare componenti estremamente omogenei che a parità di peso permettono un'energia assorbita mediamente maggiore del 15% rispetto ai materiali cellulari metallici tradizionali.

È comunque interessante constatare che nel corso dell'anno si sono resi disponibili sul mercato prodotti di importazione (una batteria di avviamento Li-Ione da 18 Ah, proposta da BMW, un trattoretto cingolato ed una piattaforma aerea proposti dall'azienda italiana Hinowa, elettrificati a 48 V con batterie Li-Ione) che realizzano alcuni dei temi sviluppati nell'ambito di questa scheda in collaborazione con l'industria nazionale.

OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo del programma di attività è quindi confermato, con la realizzazione e il successivo monitoraggio di applicazioni dimostrative di tecnologie elettriche ad elevata efficienza energetica che consentano una diminuzione dei consumi di energia e dell'impatto sulla rete, attraverso lo sviluppo e la messa a punto di tecnologie avanzate nel campo della trazione elettrica con lo sviluppo di moduli Li-Ione; di sistemi di accumulo misti, batterie e supercondensatori per applicazioni mobili; di sistemi di ricarica rapida ed extrarapida; di sistemi di trasporto elettrici (veicoli e sistemi di ricarica fissi e mobili) integrabili nelle smart grid.

Nel campo dei materiali, l'obiettivo finale delle attività riguarda lo sviluppo e la qualificazione di almeno tre classi di materiali, polimerici e metallici, per l'impiego nella realizzazione di vettori per il trasporto a più basso impatto ambientale e maggiore sicurezza passiva. In particolare attraverso lo sviluppo e la caratterizzazione di prototipi in scala e/o componenti si prevede lo sviluppo di sistemi di modellazione per la progettazione di vettori con ampio impiego di questo tipo di materiali che a seconda del tipo di vettore considerato possa permettere una riduzione del peso nell'ordine del 20-30%.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

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

Sviluppo di componenti innovativi

- sviluppo di moduli Litio-Ione che rispondano ai criteri guida di: i) standardizzazione dei sistemi di gestione e controllo, disponendo di schede "slave" integrate, ii) scalabilità, che consenta ai piccoli produttori di veicoli e componentistica di estendere la gamma di prodotti disponibili anche in versioni elettrificate, iii) economicità delle soluzioni adottate, derivante anche dalle economie di scala consentite da i due punti precedenti, per avvicinarsi all'obiettivo di costo dei 300 €/kWh,
- acquisizione, modifica e sperimentazione e sviluppo di BMS, sempre adattabili al concetto master/slave;
- sperimentazione di sistemi d'accumulo misti (batterie + supercondensatori), con effettuazione di prove vita che evidenzino la maggior durata della batteria "assistita" e quantifichino i costi "a fine vita" del sistema, per un confronto con le altre soluzioni possibili;
- realizzazione e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida (hardware e software) e distribuita, dotati di possibilità di colloquio con la rete e con i sistemi d'accumulo; studio di sistemi di accumulo misti "ad alta potenza specifica in carica/scarica" e delle relative strategie di gestione, che rispondano alle specifiche dei sistemi di ricarica extrarapidi;
- effettuazione del Life-Cycle Assessment energetico-ambientale e di Risk Assessment delle tecnologie suddette, Le criticità connesse all'utilizzo di sistemi a base litio sono infatti ben note, ma il lavoro svolto quest'anno ha evidenziato numerose lacune nei dati di sicurezza che accompagnano le batterie litio-ione ed il problema è già sentito a livello industriale e di utilizzatori finali.

Sviluppo di materiali

- studio e sviluppo di processi per la fabbricazione di materiali metallici cellulari: processi di fabbricazione di materiali metallici cellulari a base di leghe di alluminio basati sulla MP e/o sull'iniezione di gas nel fluido, definizione delle miscele lega additivi ottimali per l'omogeneizzazione della distribuzione della dimensione delle celle, e dei parametri operativi di processo gradienti termici di riscaldamento e raffreddamento;
- sviluppo delle tecnologie di giunzione fra AFS e estrusi in lega di alluminio con lo sviluppo di un protocollo di qualificazione basato sul test di flessione su quattro punti. Lo stesso test sarà utilizzato per definire l'efficienza di giunzione fra AFS e fra AFS ed estrusi di alluminio;
- sviluppo di procedure di progettazione e simulazione del comportamento di componenti per l'alleggerimento strutturale di vettori per il trasporto: codici di calcolo per la modellazione del comportamento di diverse tipologie di componenti in schiuma di alluminio e del comportamento di componenti complessi realizzati da pannelli AFS ed estrusi in alluminio validati sulla base dei test meccanici sperimentali; realizzazione di componenti prototipali e loro caratterizzazione per la validazione delle metodologie di modeling;
- sviluppo di pannelli in WPC (Wood Polymer Composite) rinforzati con fibre lunghe di canapa per cercare di migliorare le proprietà meccaniche, mediante l'impiego di fibre sciolte distribuite casualmente o in strati monodirezionali e di pannelli in materiale composito riciclabile a base di resine biodegradabili (PLA-acido polilattico) rinforzate con fibre naturali vegetali anche in forma di tessuto. Verranno anche realizzati pannelli in materiale composito a partire da tessuti pre-impregnati di tipo "commingled", quali PLA/Fibre di lino e PLA/Fibre di canapa. Realizzazione di componenti prototipali e loro caratterizzazione, finalizzati alla realizzazione di *interiors* a basso costo e peso ridotto;
- scale-up del processo di realizzazione delle sfere cave basato sulla metallurgia delle polveri (finalizzata alla produzione di materiali cellulari ibridi a base di resine termoplastiche), con specifico riferimento a quanto riguarda la razionalizzazione delle attrezzature di laboratorio attualmente utilizzate.

Nel seguito si riporta una sintesi dei risultati conseguiti nella precedente annualità.

Nel campo dei componenti innovativi per la trazione

Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS

Lo studio iniziale, realizzato in collaborazione con l'Università di Pisa, ha condotto all'identificazione di una tipologia di chimica (ferro fosfato) particolarmente adatta, per il range di tensioni di funzionamento e per le sue ottime caratteristiche di sicurezza, ad essere proposta come alternativa alle batterie al piombo attualmente impiegate nei veicoli per l'avviamento del motore, l'accensione e l'alimentazione degli ausiliari; la capacità minima, facilmente scalabile, è stata fissata in 30 Ah, più che sufficiente per i classici moduli d'avviamento da 12-14 V nominali. La stessa tipologia è stata poi individuata come la più promettente per i moduli destinati alla propulsione elettrica pura, considerando anche una taglia media, 60 Ah, ed una grande, 90 Ah, stante la grande varietà di tipologie di veicoli da prendere in considerazione. Per la trazione, infatti, la situazione è molto più variegata, in quanto ogni veicolo ha la sua storia e i suoi criteri di dimensionamento, e bisogna inoltre distinguere tra ibridi ed elettrici puri, a batteria.

Nel caso della propulsione ibrida la molteplicità di situazioni (in funzione delle diverse tipologie di ibridi, dal micro-ibrido fino al range-extender, e delle diverse taglie di veicoli, dal veicolo a due ruote all'autobus) ha condotto a rinunciare all'idea di proporre alcuni standard, anche perché la complessità della fase di sviluppo di un ibrido ne restringe le possibilità di applicazione alla grande e media industria che è in grado di stringere intese ad hoc con i produttori di batterie.

Nel campo della propulsione elettrica "pura", a batteria, invece, dove opera una pluralità di soggetti piccoli e medi (dal costruttore di macchine agricole a quelle da cantiere, a quelle per la raccolta rifiuti, etc) è stato ritenuto comunque utile specializzare il settore applicativo a cui riferire lo studio. E' stato quindi effettuata una ricerca di mercato relativa all'elettrificazione di mezzi (già in produzione come elettrici o di possibile interesse) per il settore agricolo ed il movimento terra. Un altro settore in cui si attendono importanti ricadute è quello della nautica: alimentazione ausiliari, specialmente in fonda, e/o propulsione (navigazione in aree protette, manovre in porto). Per i due mercati sopra definiti (terrestre e navale) si è ritenuto, come già detto, di poter utilizzare la stessa tipologia di chimica prescelta per le batterie ausiliarie (ferro-fosfati), considerando naturalmente oltre la taglia piccola (30 Ah) anche una taglia "media", 60 Ah, ed una grande, 90 Ah, accoppiabili ulteriormente in parallelo per realizzare moduli da 120 Ah e 180 Ah.

Per tutte le categorie sopra citate sono state testate celle già in nostro possesso (Thundersky e Kokam) approvvigionate e testate le celle selezionate (Valence, HyPower), è stata effettuata la progettazione preliminare di n. 2 moduli da 12-14 V, con celle di capacità di piccola, media e grande (30, 60 e 90 Ah) e definite in via preliminare le specifiche progettuali dei relativi battery management systems. E' stato realizzato un primo sistema (da laboratorio) costituito da batterie modulari per un trattoretto da giardinaggio (48 V).

In collaborazione con l'Università di Pisa è stata condotta un'analisi delle problematiche di monitoraggio ed equalizzazione comuni a tutte le applicazioni veicolari ed un'analisi bibliografica sullo stato dell'arte dei BMS, completata con l'acquisizione e la valutazione comparata in laboratorio di alcuni sistemi commerciali. Questo al fine di individuare informazioni utili per l'utilizzo- implementazione a livello di BMS di modulo e di sistema (inteso come integrazione di più moduli).

Sono state infine emesse le specifiche tecniche per il BMS di sistema dell'accumulo da 48 V per il trattoretto.

Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori)

Lo studio dei sistemi misti (batterie+supercondensatori) di accumulo di energia, ha permesso di evidenziare per quali applicazioni e sotto quali condizioni questi sistemi possono costituire una valida alternativa alle batterie al litio (Politecnico di Milano).

Iniziali valutazioni sperimentali delle potenzialità applicative della tecnologia sono state condotte su di un sistema a 48 V, costituito da batterie da trazione (6V/200 Ah) e supercondensatori, dove l'erogazione/accettazione di corrente da parte del banco supercondensatori è gestita da una apposita interfaccia sviluppata in collaborazione con l'Università di Padova, che è stata pensata come modulabile, consentendo sia un livellamento totale dell'erogazione di corrente delle batterie sia la soppressione di picchi di corrente

superiori ad un massimo settabile a piacere.

Le prove del sistema hanno permesso, tra l'altro, di misurare l'incremento di "capacità estraibile in cicli dinamici" e quindi di autonomia del veicolo, consentita dall'uso dei supercondensatori, ed il miglior andamento, in funzione dello stato di carica della batteria, della potenza di picco del sistema, che si mantiene elevata fino alla fine della scarica ed estende così l'autonomia "avvertita" della batteria.

Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida

E' stato effettuato uno studio che ha confermato la possibilità di adattamento per un (unico) convertitore di piccola potenza sviluppato per l'uso delle rinnovabili (fotovoltaico e micro-eolico) al quadriciclo ibrido Urb-e dell'ENEA, realizzato nel corso di precedenti attività. Utilizzando i ciclatori del laboratorio, sono state inoltre effettuate prove di ricarica rapida (1C, in 1 ora) ed extrarapida (3C, in 20') su moduli Li-Ione, necessarie ai fine della parametrizzazione dei modelli termici delle stesse. E' stato infine riconvertito in versione "pure electric" il veicolo Urb-e, per la successiva fase di sperimentazione al banco e su strada del convertitore di piccola potenza, e confronto con lo stato dell'arte.

Life-Cycle Assessment energetico ambientale

Oggetto delle attività del primo anno del progetto è stata la raccolta dati, modellazione e quantificazione del Life Cycle Assessment per batterie per autotrazione di ultima generazione.

In particolare, è stata effettuata, con il supporto del Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali dell'Università di Palermo:

- un'analisi dello stato dell'arte internazionale sulla LCA applicata alle batterie Li-Ione. Secondo la letteratura scientifica più recente, è la fase di uso quella responsabile per la maggior quota degli impatti ambientali di una batteria. In particolare, sebbene il litio sia presente nella crosta terrestre con una concentrazione inferiore a 0,01% e quindi si debba considerarlo un metallo a scarsa disponibilità, in una batteria a Li-Ione, il contenuto di litio è molto piccolo (circa 0,7%- 1,4% in peso) e quindi è piccolo anche il suo impatto sulla categoria Abiotic Resource Depletion; inoltre, essendo il processo di estrazione e raffinazione del litio non particolarmente energivoro, è piccolo anche il suo contributo ad altre categorie di impatto correlate con il consumo energetico. Invece gli altri metalli presenti nella batteria e nel BMS e i processi di realizzazione danno un contributo significativo. Un aspetto da approfondire è inoltre il potenziale di risparmio di risorse derivanti dal riciclaggio delle batterie.
- una valutazione energetico-ambientale delle batterie, comprensive del sistema BMS (Battery Management System), realizzata tramite l'applicazione della metodologia LCA (ISO 14040). Questa valutazione ha utilizzato dati di letteratura relativamente alle fasi di produzione e fine vita delle batterie, mentre per la fase di uso, responsabile della maggior parte degli impatti nel ciclo di vita della batteria, sono stati utilizzati dati primari derivanti dalle prove sperimentali di carico/scarico effettuate presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia e dei Sistemi (DESE) Università di Pisa. L'oggetto dell'analisi sono le batterie litio ferro-fosforo, di taglia 30, 60, 90 Ah e con tensione nominale di 14 V. A tal fine, è stato anche predisposto un questionario per la raccolta dati sia presso le case costruttrici di batterie che per le prove sperimentali della fase di uso presso DESE.
- la definizione del data set conforme all'International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook per la gestione e documentazione dei dati raccolti ed elaborati.

Nel campo dei materiali

Analisi dello stato dell'arte e qualificazione chimico/fisica di AFS standard e sviluppo di processi di schiumatura innovativi

Sono stati acquisiti i materiali base commerciali AFS e precursori e sono stati qualificati, in collaborazione con l'Università di Roma Tre, Dipartimento di Ingegneria meccanica ed industriale, dal punto di vista metallurgico mediante test di microscopia ottica ed elettronica con analisi semi quantitativa dei

componenti. Dai risultati ottenuti sono stati definiti i principali materiali costituenti, sotto forma di polveri, che sono attualmente in fase di acquisizione.

Per quanto riguarda la caratterizzazione meccanica dei pannelli AFS è stata progettata un'attrezzatura specifica per la realizzazione di test di flessione su 4 punti che permette di effettuare test in conformità allo standard ASTM C393 "Flexural Properties of Sandwich Constructions" da applicare sulla macchina di prove universali MAYES da 100 kN. L'apparecchiatura è attualmente in fase di realizzazione e sono state già messe a punto le procedure operative per l'effettuazione delle prove di qualifica.

E' stata eseguita con l'Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, l'analisi dello stato dell'arte sui processi di produzione di schiume e pannelli AFS ed è stato individuato il processo di metallurgia delle polveri quale principale processo da investigare per la realizzazione di schiume di alluminio. Questo processo, da quanto riportato in letteratura, risulta il più adatto ad essere integrato nella successiva produzione di pannelli.

Per quanto riguarda i test di schiumatura sono stati acquisiti due tipi differenti di precursori sotto forma di barre tonde e quadre. Lo screening di base sui parametri significativi che agiscono sul processo di schiumatura è in fase di realizzazione mediante la metodologia Design Of Experiment (DOE) su forni preesistenti. Questa tecnica permette di analizzare i dati di risposta dei piani sperimentali in modo statistico ed di individuare sulla base di un numero ridotto di prove dei parametri di processo ottimali.

Allo stesso tempo sono in fase di progettazione ed acquisizione attrezzature specifiche per la produzione dei precursori (pressa/estrusore) e di un apposito forno con doppia camera, calda e fredda, per lo studio del processo di schiumatura mediante monitoraggio continuo del processo di schiumatura.

Sviluppo delle tecnologie di giunzione, con particolare riguardo alle tecnologie di saldatura a basso apporto termico e di eventuali elementi di accoppiamento per la realizzazione di forme complesse ed il collegamento a strutture primarie di tipo tradizionale

Sono stati realizzati i piani sperimentali DOE a due differenti velocità definendo le finestre in termini di focalizzazione, deflessione e corrente di saldatura mediante EBW.

Sono stati testati tre differenti tipi di inserto per l'accoppiamento AFS-AFS e AFS e strutture primarie in Estrusi di alluminio.

Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsferi metalliche con polimeri termoplastici e di processi per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici

Come previsto dal piano operativo della precedente annualità, in questa fase è stato avviato uno studio volto ad inquadrare almeno preliminarmente le tematiche e le linee da perseguire relativamente allo sviluppo di compositi a matrice termoplastica rinforzati con fibre naturali e di materiali cellulari ibridi a base di resine termoplastiche e sfere cave

Le tecnologie che si stanno utilizzando per la produzione di WPC con differenti percentuali di polpa di legno, sono quelle classiche per il processamento dei polimeri o dei compositi polimerici. Adoperando tali tecnologie si cercherà anche di verificare la possibilità realizzare alcuni provini di pannelli rinforzati con fibre lunghe naturali.

Oltre alla realizzazione di WPC, è in corso di sperimentazione la preparazione di compositi polimerici a base di resine riciclabili e biodegradabili rinforzati con fibre naturali.

Il programma prevede:

1. preparazione di compositi mediante melt compounding utilizzando le matrici termoplastiche acquisite e le fibre corte naturali;
2. preparazione di compositi mediante il processo di laminazione utilizzando matrici e fibre naturali;
3. caratterizzazione meccanica mediante prove statiche di trazione (e flessione).

Relativamente invece allo sviluppo di materiali cellulari ibridi a base di resine termoplastiche e sfere cave si è provveduto alla valutazione dei metodi ottimali per la realizzazione di sfere o grani cavi, basati sia sulla tecnica di gocciolamento, con doppio ago, della lega fusa e solidificazione es. in acqua sia sulla tecnica di metallurgia delle polveri, mediante rivestimento di sfere organiche con slurry contenenti polveri di metallo,

successivo dewaxing e sinterizzazione. Attualmente sono in corso prove preliminari, con le tecniche individuate, finalizzate alla produzione di sfere cave ed alla loro caratterizzazione microstrutturale.

COORDINAMENTO CON ATTIVITÀ DI CNR E RSE

L'assenza delle tematiche "di veicolo" dai temi trattati nell'ambito del coordinamento esistente tra ENEA, RSE e CNR, assenza che si propone di sanare al più presto, ha reso necessario un, proficuo, interscambio di informazioni e pareri con i colleghi dei due enti, che, nei limiti di una attività non formalizzata, ha permesso di evidenziare l'esistenza di un solo punto critico di possibile sovrapposizione di attività, relativo al tema delle stazioni di ricarica dei veicoli elettrici.

Questo tema, infatti, si lega strettamente alle attività svolte, anche dall'ENEA, in ambito *smart grid* ed è peraltro esplicitamente citato dal CNR tra quelle proposte dal CNR stesso per il prossimo anno:

- *Dimostratore di una stazione di ricarica per flotte di veicoli ibridi di tipo plug-in (PHEV) con interscambio di energia elettrica tra micro-grid, sistemi di accumulo, impianti utilizzando fonti rinnovabili ed altre utenze.*
- *Dimensionamento, acquisizione e caratterizzazione sperimentale di sistemi di conversione di potenza per la realizzazione di un dimostratore da laboratorio di micro-grid che consenta la ricarica di veicoli ibridi di tipo plug-in (PHEV) e l'interscambio di energia con altre utenze/sorgenti elettriche e rete.*

Nell'ambito del programma che si propone, all'obiettivo "B. Ricarica rapida e V2G (Vehicle-to-Grid)", è previsto il bench-mark di due soluzioni possibili per un minibus da 40-50 kW, caricabatteria a bordo e caricabatteria a terra, con modalità di ricarica extrarapida (5'), seppur parziale (ripristino del 20% dello stato di carica).

Lo studio è finalizzato allo sviluppo di sistemi di trasporto pubblico locale a ricarica frequente e distribuita, a partire dai capolinea, con veicoli di taglia diversa dalle auto per uso privato e potenza di ricarica molto più alte, e si pone inoltre in un ottica diversa, più lato veicolo che lato rete, rispetto alle attività sviluppate in alte linee di attività.

Il coordinamento con le attività RSE e CNR sarà mirato a valorizzare le risultanze prodotte in ENEA ed in RSE nelle altre attività condotte in ambito "Ricerca di Sistema", e specificatamente per l'accumulo stazionario ed il convertitore ac/dc lato rete.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2011

A. Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS ed accumuli misti

A completamento delle attività svolte nel primo anno, si proseguirà con la realizzazione di un modulo standard 12-14 V nominali per l'alimentazione di sistemi ausiliari, completo di BMS di modulo, e la realizzazione di due moduli standard 12-14 V nominali per la propulsione elettrica di macchine agricole ed applicazioni navali (alimentazione ausiliari e/o propulsione per la navigazione in aree protette o manovre in porto), completi di BMS di modulo.

Grazie alla disponibilità dei diversi moduli a 12-14 V e del sistema da laboratorio da 48 V, verranno avviate attività teorico sperimentali per la gestione termica dei moduli e dei sistemi di accumulo. In maggior dettaglio, la progettazione e realizzazione di un circuito di prova e qualificazione termica dei moduli e dei sistemi di accumulo (studio propedeutico per una successiva definizione delle specifiche per il sistema di raffreddamento, presumibilmente ad aria, del sistema a 48 V) e specifiche di montaggio/gestione termica dei moduli in applicazione isolata (batterie ausiliari a 12 e 24 V). Verrà infine realizzato un BMS a livello di sistema batterie come prosecuzione dell'attività del primo anno ed attuazione delle specifiche preliminari in essa delineate.

Nel campo dell'accumulo misto, la disponibilità di un accumulo misto a 48V e dei ciclatori del laboratorio prova batterie, permetterà l'esecuzione (secondo anno) di prove vita con e senza supercondensatori,

necessarie per le valutazioni economiche (incremento di durata delle batterie) di questa tipologia d'accumulo elettrico, che è particolarmente adatto per il retrofit/repowering di batterie piombo-acido.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto relativo allo sviluppo e sperimentazione di un circuito di prova e qualificazione termica di moduli batterie litio-ione fino a 180 Ah
- Specifiche di gestione termica per moduli isolati da 12/24 V
- Rapporto relativo allo sviluppo e sperimentazione di un BMS per sistema di accumulo a 48 V
- Rapporto relativo alle prove vita di un sistema di accumulo misto
- n.3 moduli standard (Litio-Ferro Fosfati da 30, 60 e 90 Ah) e n.3 BMS di modulo (uno per la 30 Ah d'avviamento/ausiliari e n. 2 per le 60 Ah e 90 Ah da trazione)
- Un sistema d'accumulo a 48 V più il suo BMS master

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Pisa

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

B. Ricarica rapida e V2G (Vehicle-to-Grid)

L'insieme delle tecnologie e delle strategie che permettono l'interfacciamento controllato tra una rete elettrica e una stazione di ricarica di batterie (o più in generale, le batterie dei veicoli) è indicato con "vehicle to grid" (V2G).

L'idea alla base del V2G è che le batterie sono dispositivi di accumulo bidirezionali, ossia operino non solo come utilizzatori di energia ma possano a loro volta fornire energia contribuendo in maniera attiva a mantenere le condizioni di operatività della rete all'interno dei limiti specificati sia per quanto riguarda il carico massimo che le variazioni di frequenza della tensione. Infatti, il controllo del flusso di energia tra la rete e le batterie consente al gestore della rete di utilizzare le batterie come generatori distribuiti, capaci non solo di iniettare - secondo le necessità - potenza attiva in rete ma anche di scambiare con essa potenza reattiva sia di segno positivo che negativo. L'azione di scambio di energia reattiva può essere ottenuta mediante un controllo dei convertitori di interfaccia tra rete e batterie che regoli il fattore di potenza del carico costituito dal sistema di ricarica delle batterie.

L'impiego di stazioni di ricarica è vantaggioso rispetto all'uso dei generatori tradizionali in quanto esse hanno tempi di reazione estremamente brevi e sono distribuite sul territorio. Queste due caratteristiche consentono di utilizzare in modo più efficace le fonti di energia rinnovabili, come l'eolico ed il solare, che hanno un servizio intermittente nel tempo. Inoltre l'utilizzo di stazioni di ricarica interfacciate alla rete, stazioni che possono essere distribuite molto densamente sul territorio, rende possibile ridurre l'indice ACE (Area Control Error), relativo alla differenza fra generazione e carico in una certa area del sistema di potenza.

La presenza di un accumulo stazionario rende poi concreta la possibilità di effettuare ricariche extrarapide (con potenze dell'ordine anche delle centinaia di kW), di grande interesse in alcune applicazioni come il trasporto pubblico locale. La regolarità del servizio di questa applicazione consente infatti di prevedere ricariche frequenti nel tempo e distribuite nello spazio, con una forte riduzione di peso, ingombro e costo del pacco batterie, di tipologia tale da garantire un rapporto adeguato (alto) tra potenza specifica (in ricarica) ed energia specifica.

Nell'ambito di questo obiettivo sono previste due distinte linee di attività, entrambe focalizzate sull'interfaccia verso il veicolo, una per caricabatteria di bordo, alimentati in alternata, che consentano lo scambio di potenza reversibile con la rete (Università di Padova), l'altro con stazioni di ricarica che alimentino direttamente in c.c. le batterie del mezzo ((Università dell'Aquila).

Infatti, collocare il caricabatteria a bordo non è sempre una soluzione ottimale, prima di tutto dal punto di vista economico, per la necessità di avere tanti caricabatteria quanti sono i veicoli, anche se l'utilizzo del convertitore di trazione come caricabatterie ridurrebbe l'extracosto a quello della componentistica aggiuntiva. L'utilizzo di un sistema di carica fisso coinvolge poi altri due aspetti: il primo riguarda il

contenimento del peso del veicolo, perseguendo la filosofia che tutto quanto non è indispensabile per la corretta funzionalità del sistema è da considerare un peso superfluo, anche se in questo caso la diminuzione di peso potrebbe non essere sempre significativa; il secondo aspetto riguarda l'efficienza della conversione dell'energia. È infatti più economico e più semplice, da un punto di vista tecnologico, ottenere elevati rendimenti con convertitori fissi rispetto a quelli di bordo, che devono necessariamente rispettare rigorosi vincoli di peso e di ingombro.

Nell'ambito della prima linea di attività verrà effettuato uno studio della riconfigurazione di un convertitore di trazione, indicativamente della potenza di 40-50 kW, per ottenere un caricabatteria bidirezionale a bordo veicolo. Scelto un azionamento di riferimento, dalle caratteristiche elettriche del convertitore e del motore di trazione e le caratteristiche di carica degli accumulatori a bordo del veicolo, si indagheranno le possibili riconfigurazioni della topologia del convertitore che consentono di ottenere un caricabatteria bidirezionale, sarà individuata la componentistica aggiuntiva richiesta per l'implementazione del caricabatteria bidirezionale e saranno ricavate le caratteristiche di potenza nel lato in alternata del caricabatteria bidirezionale per determinare la sua disponibilità di potenza per la funzionalità V2G.

Nell'ambito della seconda linea di attività si effettuerà quindi preliminarmente un dimensionamento di massima del sistema, che si avvarrà, per l'accumulo stazionario ed il convertitore ac/dc lato rete, delle risultanze prodotte in ENEA ed in RSE dalle altre attività condotte in ambito "Ricerca di Sistema". Si procederà poi, interattivamente con l'eventuale sperimentazione di componenti e sistemi commerciali, al dimensionamento di un prototipo di convertitore cc/cc controllato in tensione e/o in corrente a seconda del tipo di batteria e del suo stato di carica, della stessa potenza del caso precedente "caricabatteria a bordo".

A completamento delle attività del I anno su i convertitori la cui tecnologia deriva da quelli sviluppati per le rinnovabili, verrà effettuata la sperimentazione sul veicolo del convertitore studiato dall'Università dell'Aquila, che ci permetterà di valutarne le caratteristiche nell'utilizzo di questi mezzi in ambito urbano.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto relativo al progetto di un caricabatteria di bordo derivato da un azionamento di trazione
- Studio di massima di una stazione di ricarica in c.c. per linea di trasporto pubblico urbano
- Rapporto relativo al progetto di un convertitore ac/dc per stazione di ricarica in c.c.

Principali collaborazioni: Università di Padova, Università dell'Aquila

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

C. Life-Cycle Assessment energetico ambientale e Risk Assesment delle tecnologie suddette

Nel corso della seconda annualità si proseguirà con le attività relative alle batterie e la valutazione di LCA verrà estesa agli altri componenti del sistema d'accumulo (moduli integrati completi di BMS, sistemi di ricarica rapida) ed ai materiali innovativi (schiume metalliche ad Aluminum Foam Sandwich, materiali metallici cellulari, materiali cellulari ibridi polimero metallo, materiali compositi a base di fibre naturali) sviluppati nell'ambito del presente progetto. L'LCA consentirà di valutare le potenzialità dei componenti e dei materiali innovativi di ridurre l'impatto ambientale complessivo di un veicolo, identificando opportuni scenari di impiego.

In particolare, relativamente alle batterie Li-Ione le attività comprenderanno le seguenti fasi:

1. una comparazione delle prestazioni energetico - ambientali della batteria Li-Ione esaminata nel primo anno di attività con quelle di altre batterie, i cui dati saranno reperiti dall'analisi dello stato dell'arte internazionale effettuata nel primo anno di attività. Questa fase inizia con la firma del verbale di inizio attività e dura 2 mesi;
2. nella seconda fase sarà effettuata un'analisi di sensibilità sui risultati della LCA svolta nel primo anno di attività. Tale analisi consentirà di valutare se e in che modo, cambiando le ipotesi iniziali (con particolare riferimento ai dati di input sia primari che secondari), i risultati subiscono delle variazioni significative, e di ottenere informazioni attendibili e rappresentative sull'eco-profilo della batteria Li-Ione in esame;

3. definizione di criteri di eco-design da applicare nella progettazione e realizzazione delle batterie Li-ione. Un'attenta analisi dei risultati ottenuti nell'annualità precedente e nella fase 2 sopra descritta, consentirà di individuare i materiali, le componenti e le fasi del ciclo di produzione della batteria responsabili dei maggiori impatti energetico-ambientali. Sulla base di tale analisi e con il supporto della metodologia LCA saranno definiti degli indirizzi di progettazione eco-compatibile delle batterie, la cui applicazione consentirà di ridurre gli impatti energetico-ambientali connessi ai suddetti sistemi.

Sempre nel settore delle batterie Li-Ione verrà avviata, ex-novo, un'attività di *Rischi Assessment*, essenziale per l'introduzione di qualsiasi tecnologia sul mercato e per la gestione dell'interfaccia con i sistemi normativi (giuridici e tecnici) dei Paesi dell'UE. Ad esempio, in ambito REACH, la catena di immissione sul mercato di un articolo (quale può essere considerato una batteria) fino all'utente finale, richiede l'emissione di una scheda di sicurezza (SDS) contenente le informazioni essenziali relative ai prodotti chimici ed ai preparati in esso contenuti; dati che diventano necessari anche per la progettazione di sistemi di accumulo. Le criticità connesse all'utilizzo di sistemi a base litio sono ben note, ma la nostra esperienza ha evidenziato numerose lacune nei dati di sicurezza che accompagnano le batterie litio-ione. Il problema è già sentito a livello industriale e di utilizzatori finali, come dimostrano le diverse richieste che, in tal senso, ci sono pervenute. Tra queste quella dell'ATB di Bergamo per l'accumulo elettrico realizzato sotto altra voce nell'ambito della Ricerca di Sistema.

Sulla base di una *Safety Review* e di prove sperimentali (test termochimici e monitoraggi ambientali nei luoghi di utilizzo) verranno affrontati gli studi di *Hazard identification and Analysis* di celle al Litio-ione, preliminari al *Risk Assessment* di sistemi di accumulo e finalizzati alla valutazione dell'impatto sulla salute e sicurezza dell'uomo e dell'ambiente durante il ciclo di vita di questi prodotti. Questi dati sperimentali saranno anche utilizzati all'interno dello studio di LCA citato sopra. Inoltre, il potenziamento in corso del laboratorio prova batterie, con l'acquisizione di una camera climatica specifica per prove di abuso su batterie al litio, rende inoltre possibile la verifica sperimentale in ENEA delle caratteristiche di interesse di questi sistemi, supportando nel contempo lo sviluppo della normativa, per la quale, nell'ambito dei comitati del CEI, siamo rappresentati in due comitati tecnici (TC 69 e TC21/35) a livello di segretari e di strategia di mercato.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto su LCA delle soluzioni studiate
- Rapporto su Hazard Evaluation di celle litio-ione ed elaborazione di un modello di raccolta dati per Safety Review di sistemi di accumulo
- Progettazione di un laboratorio di verifiche strumentali per la sicurezza (monitoraggio ambientale di sostanze pericolose e agenti fisici)

Principali collaborazioni: Università di Palermo (Dipartimento di Ricerche Energetiche e Ambientali)

Durata: ottobre 2011 - settembre 2012

D. Upscaling dei processi di produzione: studio e sviluppo di processi per la fabbricazione di schiume di alluminio, estrusi rinforzati e pannelli sandwich con core in schiuma di alluminio

La prosecuzione delle attività del primo anno prevede il passaggio da una scala di laboratorio ad una scala preindustriale che dimostri, anche su prototipi di piccola dimensione, il governo del processo di produzione di componenti.

Sulla base dei risultati del primo anno saranno sviluppate ed ottimizzate miscele di polveri (metallo, nucleanti, schiumante) in grado di garantire una distribuzione quanto più uniforme possibile delle celle in modo da migliorare le caratteristiche delle schiume ed individuare "ricette" specifiche da parte di ENEA.

Con il supporto dell'Università Roma Tor Vergata, saranno studiati i meccanismi di giunzione metallurgica pelle *core*. Per componenti di maggiore dimensione è previsto lo sviluppo e l'acquisizione di un prototipo di rullatore/laminatoio dove laminare assieme pelli e precursori in modo che le forze di taglio reciproche, sviluppate durante l'operazione di laminazione, permettano l'unione pelle precursore al fine di ottenere

pannelli. Il completamento della produzione degli AFS avverrà all'interno dell'apposito forno acquisito nell'ambito delle attività del primo anno.

Tale attività è di grande interesse da parte di METRA, uno dei più grandi produttori di profilati estrusi in alluminio che produce prodotti per i vari settori del trasporto e che intende verificare l'opportunità di sviluppare prodotti estrusi rinforzati con schiuma metallica anche in relazione alle dirette richieste dei propri clienti del settore trasporti.

Risultati /deliverable:

- Rapporto inerente lo sviluppo di processi per la fabbricazione di profilati estrusi rinforzati con schiuma metallica e loro caratterizzazione meccanica
- Rapporto inerente lo sviluppo di procedimenti ed apparecchiature prototipali per la giunzione metallurgica pelle core per la realizzazione i Pannelli AFS

Principali collaborazioni: Università Roma Tor Vergata (Dipartimento di Ingegneria Meccanica, gruppo di Metallurgia)

Durata: ottobre 2011 -settembre 2012

E: Sviluppo di procedure fabbricazione, progettazione e simulazione del comportamento di componenti di dimensione rappresentativa per l'alleggerimento strutturale di vettori per il trasporto

L'attività del secondo anno è mirata alla definizione di possibili componenti realizzabili con i materiali metallici cellulari e le tecnologie di assemblaggio in fase di sviluppo. Rispetto alle attività del primo anno i modelli di simulazione continuano ad essere affinati in relazione ai dati delle prove meccaniche ed allo stesso applicati a componenti di maggiore complessità. Le tecnologie di saldatura maggiormente investigate riguardano la tecnologia laser e/o quella plasma che meglio si adattano a future prospettive industriali.

Sulla base del modello di simulazione della prova a flessione sviluppato e validato nel corso del primo anno, saranno individuate, con la collaborazione di Ansaldo Breda, la componentistica tipica di carrozze ferroviarie (pareti, duomo, etc.) in cui l'applicazione di main frame in alluminio e pannelli AFS opportunamente progettati (rapporto spessori pelle/core) possano trovare la migliore applicazione.

I componenti individuati saranno riprogettati con componenti in AFS e l'impiego di tecnologia laser/plasma con l'obiettivo di massimizzare l'alleggerimento del vettore per il trasporto e massimizzare la produttività.

Risultati /deliverable:

- Sviluppo di modelli numerici per la progettazione con materiali metallici cellulari di vettori per il trasporto collettivo
- Confronto fra componenti tradizionali e componenti innovativi in leghe leggere e schiume metalliche

Principali collaborazioni: Ansaldo Breda di Napoli, Università di Roma TRE (Dipartimento di Ingegneria meccanica ed industriale)

Durata: ottobre 2011 -settembre 2012

F. Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsfere metalliche con polimeri termoplastici e di processi per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici

La possibilità di impiegare fibre lunghe consente di realizzare laminati unidirezionali che prevedono di sfruttare al meglio le caratteristiche meccaniche dei materiali. Proprietà meccaniche più elevate, anche ad alte temperature, consentirebbero di ampliare i campi di applicazione delle fibre naturali. In particolare nel settore automobilistico dove tali materiali restano confinati nella produzione di interiors.

Per la realizzazione di pannelli in WPC rinforzato con fibre lunghe si utilizzerà il PE (il polietilene è uno dei pochi polimeri che può essere utilizzato con fibre naturali) perché garantisce delle buone proprietà meccaniche e presenta comunque una densità paragonabile a quella delle fibre naturali. I pannelli di WPC

saranno realizzati con differenti percentuali di polpa di legno e differenti tipologie di fibre di canapa. La scelta della canapa è legata alle elevate proprietà meccaniche della fibra da essa estratta ed al fatto che è ampiamente coltivata in Italia.

Inoltre è prevista la realizzazione di pannelli in materiale composito termoplastico, a partire da tessuti pre-impregnati a secco di tipologia "commingled". Verrà messa a punto la tecnologia di stampaggio a caldo per la produzione di interiors per il settore automobilistico, completamente riciclabili e biodegradabili a base di PLA/fibre di lino e PLA/fibre di canapa.

Per quanto riguarda lo sviluppo di processi per materiali cellulari ibridi polimero metallo, dopo aver proceduto alla scelta del processo più promettente per la produzione, su scala laboratorio, di sfere/grani cavi/porosi da utilizzare per la realizzazione di componenti in schiume metalliche, si propone di procedere sullo scale up del processo messo a punto, basato sulla metallurgia delle polveri, in particolare per quanto riguarda la razionalizzazione delle attrezzature di laboratorio ad oggi utilizzate.

In particolare verranno implementate alcune apparecchiature esistenti, integrandole in un sistema pre-pilota in grado di meglio controllare alcuni parametri di processo (es. additivazione delle polveri metalliche e velocità di essiccamento che hanno grande importanza nel controllo della dimensione e morfologia dei grani, della loro porosità e della presenza di cavità interne, etc.), pur mantenendo il livello laboratorio della produzione.

Risultati/ Deliverable:

- Rapporto inerente lo sviluppo di processi di stampaggio per compositi polimerici termoplastici rinforzati con fibre lunghe di origine naturale
- Rapporto inerente lo sviluppo di processi di stampaggio per compositi polimerici termoplastici biodegradabili rinforzati con fibre/tessuti di origine naturale- Utilizzo di tessuti commingled a base PLA/Fibre di lino
- Rapporto inerente la realizzazione in un sistema pre-pilota per la produzione di sfere cave finalizzato alla la produzione di materiali metallici cellulari ibridi a base di resine termoplastiche, in grado di meglio controllare alcuni parametri di processo

Principali collaborazioni: Università Napoli Federico II (Dipartimento DIMP), Consorzio PROCOMP

Durata: ottobre2011 - settembre 2012

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

I risultati delle attività svolte nell'ambito del progetto saranno diffusi a diverse tipologie di utilizzatori:

- La comunità scientifica tramite pubblicazioni su riviste scientifiche e partecipazioni a convegni nazionali ed internazionali; questo canale consentirà di mantenersi alla frontiera della ricerca nel settore;
- I Ministeri competenti e l'industria nazionale tramite i documenti ufficiali prodotti e diffusi tramite internet;
- La comunità scientifica e industriale in senso più ampio, attraverso la partecipazione ai progetti in corso con ENEA ed alle attività della Piattaforma Mobilità Elettrica, promossa da Confindustria (Assoknowledge); quest'ultima si propone di rappresentare gli orientamenti dell'industria nazionale (Fiat Group, Enel, Pininfarina, Carraro, Microvett, Ansaldo Elettroc Drives, Piaggio, STMicroelectronics, etc) ed ha dato vita ad una agenzia operativa, ARMESI, con obiettivo la rappresentanza su i progetti
- E' in fase di definizione un evento congiunto con CNR e RSE specificatamente dedicato alle attività svolte nella Ricerca di Sistema sull'accumulo di energia, nell'ambito della manifestazione "H2 Roma", che è programmata per novembre 2011.
- Un'iniziativa analoga a quella prevista a chiusura (settembre 2011) delle attività di quest'anno potrà essere programmata nella seconda metà del 2012 a valle del raggiungimento di significativi risultati delle attività condotte.

BENEFICI PREVISTI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

Elettrificazione dei trasporti su gomma: la trazione termica produce un impatto ambientale, in termini di CO₂/kWh alla ruota, mediamente ben maggiore di quella elettrica. Ad esempio, da un recentissimo studio commissionato da Trenitalia ad ENEA, l'emissione di CO₂ per passeggero su tratte servite dall'Alta Velocità è il 50% del trasporto su gomma, analogamente da uno studio ATAC di confronto tra un autobus articolato da 18m ed un filobus di eguale capacità di trasporto. In entrambi i casi si è considerato il mix italiano di produzione dell'energia elettrica. Quanto ai 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 sicuramente rispetto a quello dei veicoli elettrici con infrastruttura fissa (catenaria o terza rotaia); restano però inferiori del 35-40% a quelle del corrispondente veicolo convenzionale (misure ENEA). 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).

Ricarica rapida: oltre all'impatto positivo (meno batterie = meno peso, ingombro, costo) sull'architettura del veicolo, ha un impatto positivo anche sulla rete di distribuzione dell'energia elettrica. Infatti la diffusione di sistemi di accumulo elettrico per il livellamento del carico nelle stazioni di servizio, consentirebbe una funzione di "carico caldo" per il riequilibrio della rete, di cui si sente già la necessità in alcune regioni per lo sviluppo tumultuoso delle fonti rinnovabili. In definitiva tutto ciò permetterebbe una estensione delle "smart grid" dalla sola generazione distribuita alla generazione-accumulo distribuito. Dal punto di vista tecnologico, si aprirebbero inoltre spazi a soluzioni innovative (accumulo misto con supercondensatori ed altri tipi di batterie).

Sviluppo di materiali e tecnologie per l'alleggerimento strutturale dei mezzi di trasporto con particolare riguardo ai micro vettori urbani a propulsione elettrica: la riduzione del peso comporta un incremento del "pay load" o una riduzione dell'energia necessaria, che, nel ciclo urbano, è all'incirca dello 0,8% per ogni punto percentuale di riduzione del peso del veicolo. Per i vettori elettrici questo si traduce nella possibilità di meglio poter bilanciare il compromesso fra una maggiore disponibilità di carico e l'incremento dell'autonomia.

Progetto 3.5 "Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto"

Obiettivi e relativi preventivi economici

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A	Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system) ed accumulo misto	Set 2012	1000	70	35	0	0	30	135
B	Ricarica rapida e interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti	Set 2012	700	49	15	0	0	40	104
C	Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie	Set 2012	1240	87	10	0	30	30	157
D	Upscaling dei processi di produzione: studio e sviluppo di processi per la fabbricazione di schiume di alluminio, estrusi rinforzati e pannelli sandwich con core in schiuma di alluminio	Set 2012	1000	70	40	10	0	30	150
E	Sviluppo di procedure fabbricazione, progettazione e simulazione del comportamento di componenti di dimensione rappresentativa per l'alleggerimento strutturale di vettori per il trasporto	Set 2012	900	63	0	5	24	30	122
F	Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsferi metalliche con polimeri termoplastici e di processi per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici	Set 2012	900	63	0	15	24	30	132
TOTALE			5740	402	100	30	78	190	800

(a) include il costo del personale, sia dipendente che non dipendente, e le spese generali supplementari

(b) include le attrezzature e le strumentazioni inventariabili

(c) include i beni di consumo, le spese di missione e le altre spese correnti

(d) include le prestazioni commissionate all'esterno, per servizi tecnici o per attività di ricerca

(e) include le collaborazioni con gli istituti universitari nazionali

COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI

Le attività oggetto dell'Accordo di Programma MSE-ENEA per la Ricerca di Sistema Elettrico sono finanziate attraverso un Fondo che viene alimentato tramite una componente della tariffa di fornitura dell'energia elettrica e sono svolte a totale beneficio degli utenti del sistema elettrico nazionale. I risultati delle attività di ricerca sono pubblici e disponibili per tutti. In tale ambito, grande importanza e attenzione sarà quindi posta nella predisposizione e attuazione di un Piano di diffusione dei risultati ottenuti.

Le azioni di comunicazione, partendo dai risultati già ottenuti dall'ENEA e dalle Società partecipate e dalle Università coinvolte, prevedono di:

- realizzare, con un linguaggio efficace dal punto di vista comunicativo, materiali informativi destinati ai vari target di riferimento, beneficiari finali delle attività (Enti Locali, Sistema delle Imprese, professionisti ecc.) nonché al grande pubblico e relativi a:
 - finalità complessive delle attività
 - tematiche scelte come prioritarie e motivazioni di tali scelte
 - obiettivi specifici, destinatari e modalità di conduzione delle ricerche sulle singole tematiche
 - risultati conseguiti e ricadute sull'utente finale.
- elaborare e attuare un Piano di comunicazione e diffusione capillare di queste informazioni e, soprattutto, dei risultati conseguiti e delle ricadute sull'utente finale.

Il termine capillare è quello che caratterizza meglio gli obiettivi e le modalità che ispirano il Piano e le attività di comunicazione e diffusione, i cui obiettivi prioritari sono:

- arrivare direttamente agli interessati (la Comunità Scientifica, gli operatori del settore Energia, le Istituzioni e la Pubblica amministrazione, il grande pubblico)
- fornire informazioni consone ai singoli destinatari con vari livelli di dettaglio, fino al più completo e specialistico
- mantenere costante l'attenzione, partendo dalla diffusione iniziale di informazioni a carattere generale e continuando nella diffusione dei risultati che via via vengono conseguiti.

e principali azioni di diffusione e comunicazione riguarderanno principalmente:

- pubblicazioni ed articoli sulla stampa, generica e specializzata
- elaborazione dei rapporti tecnici, che riportano informazioni e dettagli di grande importanza, ma destinati a un pubblico ristretto di tecnici e specialisti del settore ed in parallelo la diffusione di testi e strumenti informativi destinati ad un pubblico più vasto e ad esso più accessibili
- organizzazione di eventi (workshop, seminari, manifestazioni espositive) il più possibile distribuiti sul territorio nazionale, sia per illustrare i risultati nella loro totalità, che per argomenti specifici
- Implementazione del sito web dedicato alla Ricerca di Sistema Elettrico (raggiungibile dalla home page dell'Agenzia ENEA , dove è disponibile tutto il materiale elaborato, tecnico e a carattere divulgativo; saranno inoltre curati appositi collegamenti con gli altri siti web riguardanti la Ricerca di Sistema Elettrico, dell'RSE e del CNR. 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.
- realizzazione di siti web per attività specifiche, come quelli già realizzati relativi all'Atlante delle biomasse (<http://atlantebiomasse.trisaia.enea.it/>), alla promozione delle tecnologie elettriche innovative (<http://www.elettrotecnologie.enea.it/>) e alle tecnologie di cattura e sequestro della CO₂ (<http://www.zeroemission.enea.it/>)
- individuazione, per ciascuna tematica, dei destinatari principali delle ricerche e, di conseguenza, maggiormente interessati a conoscerne e utilizzarne i risultati, nonché le modalità e gli strumenti per raggiungerli e interessarli

In quest'ambito si inquadra anche la partecipazioni a gruppi di lavoro internazionali, come quelli dell'Agenzia Nazionale per l'Energia (IEA), le Piattaforme tecnologiche della Comunità Europea, Il Carbon

Sequestration Leader Forum (CSLF), l'iniziativa EERA (European Energy Research Alliance) e i diversi comitati/gruppi di lavoro sul nuovo nucleare a fissione.

Queste partecipazioni hanno infatti una duplice valenza, da una parte una funzione di rappresentanza della ricerca italiana in un contesto più ampio, anche come supporto al Ministero dello Sviluppo Economico, dall'altro consentono l'acquisizione e la successiva diffusione in ambito nazionale di importanti risultati di attività di ricerca afferenti alla Ricerca di Sistema Elettrico.