



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 2008-09

Luglio 2010

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	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE: COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI E SVILUPPO COMPETENZE IN MATERIA NUCLEARE.	21
AREA	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE	56
PROGETTO 2.1.2	STUDI SULLA PRODUZIONE ELETTRICA LOCALE DA BIOMASSE E SCARTI	56
PROGETTO 2.1.4	RICERCA SU CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE.....	68
PROGETTO 2.1.5	STUDI E VALUTAZIONI SUL POTENZIALE ENERGETICO DELLE CORRENTI MARINE	79
PROGETTO 2.2	STUDI SULL'UTILIZZO PULITO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI E CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO ₂	87
AREA	RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA.....	100
PROGETTO 3.1	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>STRUMENTI E TECNOLOGIE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA NEL SETTORE DEI SERVIZI</i>	100
PROGETTO 3.2	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ELETTRICO NELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA</i>	110
PROGETTO 3.3	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ELETTRICO NEL SETTORE CIVILE</i>	117
PROGETTO 3.4	STUDI E VALUTAZIONI SULL'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA: <i>UTILIZZO DELL'ENERGIA ELETTRICA E SOLARE PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA</i>	125
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>	134
COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI RISULTATI.....		144

PREMESSA

Il presente Piano Annuale di Realizzazione PAR 2008-09 è un piano di ampio respiro programmatico, che comprende sia il completamento delle attività in corso, previste dal precedente Accordo di Programma MSE- ENEA 2006-08 aggiornandole agli indirizzi del nuovo Piano Triennale sulla Ricerca di Sistema Elettrico 2009-11, sia lo svolgimento di nuove attività nell'ambito dei progetti previsti dal suddetto Piano triennale per il 2009 come previsto dal nuovo Accordo di Programma con il Ministero dello Sviluppo Economico per il triennio 2009-2011.

La sovrapposizione temporale dei Programmi e la necessità di dare prosecuzione alle attività senza soluzione di continuità sono alla base della seguente proposta di Piano annuale di realizzazione che accorpa l'ultima annualità dall'AdP 2006-08 con la prima e la seconda annualità del nuovo Accordo di Programma 2009-11. Le risorse disponibili sono: 20 milioni di euro già previsti per la terza annualità e 5 milioni per il 2009.

Il piano proposto PAR 2008-09 è un piano annuale da 25 M€, con durata delle attività da ottobre 2010 a settembre 2011. Il Piano è articolato per attività di ricerca, obiettivi intermedi, costi e tempi di realizzazione.

Quadro di riferimento

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

- Il Piano Triennale per la ricerca nell'ambito del sistema elettrico nazionale 2009-2011 e relativo piano operativo annuale per l'anno 2009, allegato A del Decreto del MSE del 19 marzo 2009, pubblicato sulla G.U. Serie Generale n. 117 del 22 maggio 2009.
- 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.
- Le indicazioni di politica energetica del Governo in materia di nucleare, di utilizzo dei combustibili fossili e delle fonti rinnovabili per la produzione di energia e per l'efficienza energetica.
- Le disposizioni previste dalla Legge Sviluppo del 23 luglio 2009 n.99. In particolare le attività sulla ricerca di sistema elettrico che saranno portate avanti, non si sovrappongono ma, viceversa, sono complementari a quelle che saranno definite e sviluppate a fronte dell'art.38 della suddetta Legge.
- La partecipazione, nello sviluppo delle ricerche, del sistema universitario nazionale, proseguendo l'azione svolta con successo nelle prime annualità 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.
- Uno stretto coordinamento con gli altri soggetti affidatari di attività di ricerca, mediante accordi di programma, ERSE 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 2008-09

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

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, la continuazione di attività già presenti nel precedente Piano annuale, per le quali era stata programmata una prosecuzione, aggiornate e implementate alla luce delle indicazioni del nuovo Piano triennale sulla ricerca e in parte nuove.

Tutte le attività sono impostate con una logica pluriennale, trattandosi di ricerche, specie quelle per il nucleare ma anche per il carbone pulito o le nuove rinnovabili, che hanno necessità di un arco temporale di sviluppo superiore all'anno.

Le attività vengono comunque dettagliate e definite esattamente per l'annualità in essere. La durata delle attività sarà annuale (ottobre 2010-settembre 2011). Si tratta quindi di un Piano di realizzazione che si svilupperà temporalmente tra l'ultimo trimestre del 2010 e il 2011.

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.

Il PAR 2008-09 comprende undici 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.

Per quanto riguarda l'accumulo, alcune attività erano già presenti nel PAR precedente all'interno della tematica: elettrotecnologie innovative. Vista l'importanza del tema, sottolineato anche dal nuovo P.T. della ricerca di sistema, si è deciso di dedicare al tema un apposito progetto, dove oltre al completamento delle attività in corso, vengono affrontate nuove tematiche di ricerca fondamentale.

Continuano le attività sul nuovo nucleare da fissione: studi e partecipazione a programmi internazionali, ricerche di base sui reattori evolutivi e IV generazione, analisi e sviluppo tecnologie per lo smaltimento dei rifiuti nucleari, messa a punto di strumenti e laboratori per la qualificazione di componenti e sistemi.

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

L'attività sulle correnti marine non era presente nel precedente PAR, a differenza delle altre, e viene affrontata utilizzando gli strumenti di simulazione e modellistica resi disponibili in Enea da ricerche pluriennali anche in altri settori, al fine di valutare il potenziale energetico ottenibile da questa fonte rinnovabile.

Le altre attività non sono una mera continuazione delle precedenti ma tengono conto di quanto previsto nel nuovo Piano triennale, ovvero impulso a ricerche sul fotovoltaico avanzato per aggredire i costi di produzione e aumentare i rendimenti con l'impiego di tecnologie innovative, l'utilizzo di biomassa disponibile localmente per la produzione di energia e lo studio delle tecnologie di CCS come strada per un utilizzo sostenibile del carbone.

L'ultima Area, quella del Risparmio, 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. Particolare rilevanza presenta infine un nuovo progetto sui mezzi di trasporto che comprende 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 65 uomini/anno di personale ENEA, oltre ad investimenti in strumentazioni e attrezzature di ricerca per circa il 25% del costo. Quanto alle altre voci, le spese correnti sono poco superiori al 10%, mentre si prevedono 5 M€ per attività di terzi (tra cui 2,7 M€ per il già citato intervento delle società partecipate Sotacarbo e FN) ed altri 5 M€ per il contributo che gli istituti universitari forniranno alle attività del Piano Annuale di Realizzazione 2008-09.

Accordo di Programma MSE- ENEA
Costo del PAR 2008-09 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	7900	474	200	206	0	220	1100
	1.3	Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare	23500	1410	3126	979	1685	1800	9000
	<i>SUBTOTALE</i>			<i>31400</i>	<i>1884</i>	<i>3326</i>	<i>1185</i>	<i>1685</i>	<i>2020</i>
Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente	2.1.2	Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti	9915	595	450	135	500	420	2100
	2.1.4	Ricerca su celle fotovoltaiche innovative	11500	690	600	270	120	420	2100
	2.1.5	Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine	4000	240	100	30	30	100	500
	2.2	Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO ₂	12900	774	626	270	1930	900	4500
<i>SUBTOTALE</i>			<i>38315</i>	<i>2299</i>	<i>1776</i>	<i>725</i>	<i>2580</i>	<i>1840</i>	<i>9200</i>
Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica	3.1	Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi	7000	420	130	150	180	220	1100
	3.2	Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica	4250	255	175	150	140	180	900
	3.3	Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile	9000	540	250	100	310	300	1500
	3.4	Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva	4415	265	415	190	90	240	1200
	3.5	Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto	7950	477	103	175	45	200	1000
<i>SUBTOTALE</i>			<i>32615</i>	<i>1957</i>	<i>1073</i>	<i>765</i>	<i>765</i>	<i>1140</i>	<i>5700</i>
TOTALE			102330	6140	6175	2655	5030	5000	25000

(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	INFRASTRUTTURE: ACCUMULO DELL'ENERGIA ELETTRICA
Progetto 1.2.2	SISTEMI AVANZATI DI ACCUMULO DI ENERGIA

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE 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 grids) 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 la 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

L'accumulo di energia è considerato da circa un secolo come uno dei principali sistemi in grado di aumentare la flessibilità e l'efficienza delle reti elettriche. 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 che 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 grids 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;
- integrazioni di impianti eolici di breve (fino a qualche minuto) o lunga durata (fino a qualche ora).

Le molteplici funzioni sopra indicate richiedono sistemi e metodi di accumulo significativamente diversi. Negli ultimi anni, sono state sviluppate ed applicate tecnologie appositamente studiate: accumulo di acqua in bacini di pompaggio; volani (flywheels), accumulo di aria compressa in caverne (CAES = compressed air energy storage); magneti superconduttori (SMES = superconducting magnets energy storage); 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 ed a flusso. Alcune di queste batterie (alta temperatura come le Zebra o quelle a flusso) sono state già oggetto di studio in precedenti Piani di Ricerca di Sistema, da parte principalmente di ERSE. 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, oggetto centrale della presente proposta, 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, quali 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 grids, 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 grids e di sistemi di trasporto alternativi.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Il governo americano tramite il Dipartimento dell'Energia (DoE) ha da tempo avviato 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. Solo per la dimostrazione dei sistemi di accumulo per reti elettriche sono stati finanziati progetti nel 2009 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 grids 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. Le sperimentazioni pubbliche 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 iniziative prevista dal 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 grids. Inoltre la Commissione Europea (CE) ha lanciato, a supporto del SET Plan, l'alleanza EERA per la ricerca energetica europea che ha tra i temi prioritari individuati le smart grids e l'accumulo di energia. Infine 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.

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 elettrodici, sugli elettroliti e su elettrochimiche 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. Alcune iniziative industriali sono state preparate nell'ultimo anno 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 GD, smart grids 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 ENEA e A2A.

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), 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. Infine, l'ENEA è coinvolta in alcuni progetti di Industria 2015 che riguardano l'uso delle batterie al litio e supercondensatori in veicoli elettrici ed anche in impianti di illuminazione intelligenti, ma non è prevista alcuna specifica attività per l'uso in smart grid con fonti rinnovabili.

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. Si pensa di raggiungere l'obiettivo 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, dell'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 ed, eventualmente integrate, con altri sistemi di accumulo, tra cui i supercondensatori e l’accumulo termico, in modo da verificare 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 alla fasi di utilizzazione e riciclaggio finale. Nella fase di ricerca e produzione si sceglieranno materiali con ridotto o nullo impatto ambientale, mentre durante ed alla fine dell’uso delle batterie al litio si vuole valutare sperimentalmente la possibilità di garantire una “seconda vita applicativa nelle reti” alle batterie usate nei veicoli elettrici.

DESCRIZIONE DELL’ATTIVITÀ A TERMINE

Il progetto, su scala triennale, 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 e negli usi finali, dove le caratteristiche delle batterie sono potenzialmente più interessanti e competitive 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.

Ricerca fondamentale su batterie a litio

- *Ricerca su materiali e processi per la realizzazione di materiali catodici con prestazioni migliorate*
Saranno selezionati sperimentalmente i materiali catodici più promettenti attualmente allo studio per le diverse soluzioni elettrochimiche per le batterie al litio. Lo studio e la selezione si concentreranno principalmente su materiali in grado di garantire caratteristiche tecniche ed economiche più adatte ad applicazioni alle reti elettriche, e, possibilmente anche ai veicoli elettrici. I materiali catodici verranno prodotti e confrontati in celle da laboratorio con specifica attenzione alla capacità specifica, alla durata di vita ed al costo. La caratterizzazione delle celle da laboratorio avverrà secondo procedure di prova appositamente sviluppate. Per tener conto delle esigenze di gestione e controllo anche termico delle batterie al litio, verranno svolte analisi termografiche di comportamento delle celle da laboratorio.
- *Ricerca su materiali e processi per la realizzazione di materiali anodici con prestazioni migliorate*
Saranno selezionati sperimentalmente i materiali anodici convenzionali (grafiti) ed alternativi (metalli ossidi). Lo studio e la selezione si concentreranno principalmente su materiali anodici compatibili con i

materiali catodici individuati e con gli elettroliti prescelti. Le attività includeranno lo studio dei processi di preparazione e la caratterizzazione in celle da laboratorio. La caratterizzazione delle celle da laboratorio avverrà secondo procedure di prova appositamente sviluppate. Per tener conto delle esigenze di gestione e controllo anche termico delle batterie al litio, verranno svolte analisi termografiche di comportamento delle celle da laboratorio.

- *Scale up della produzione di materiali di celle al litio*

Saranno sviluppati processi di produzione e saranno prodotti materiali elettrodici ed elettrolitici in quantità adeguata (fino a qualche kg) per almeno due tipologie di celle a litio di taglia significativa. I processi di produzione di materiali catodici ed elettrodici e la produzione di anodi e catodi dovranno servire ad individuare soluzioni produttivi potenzialmente trasferibili all'industria in termini di costi, semplicità e basso impatto ambientale.

- *Progettazione, produzione e prova di celle di scala significativa*

Saranno progettate e sviluppate almeno due tipologie di celle a litio di taglia significativa per applicazioni di alta energia e di alta potenza. Le caratteristiche delle celle, seppur di dimensioni limitate, dovranno consentire di verificare i fenomeni legati all'aumento di taglia. Le celle prodotte saranno poi sottoposte ad una campagna sperimentale di caratterizzazione a breve e di vita in modo da verificarne, in prospettiva, la compatibilità tecnica ed economica con le applicazioni previste.

Ricerca fondamentale sulle tecnologie di controllo e di interfaccia del sistema di accumulo in batterie al litio con la rete

- *Indagini preliminari su tecnologie di controllo ed interfaccia con la rete*

Saranno analizzate le possibili soluzioni costruttive per i sistemi di interfaccia dei sistemi di accumulo con batterie al litio, che possano gestire in maniera intelligente il colloquio tra la rete ed il sistema.

- *Progettazione e realizzazione di tecnologie di controllo ed interfaccia del sistema di accumulo in batterie al litio con la rete e con utenze particolari*

Sulla base dei risultati delle analisi del punto precedente, saranno progettati e realizzati alcuni dispositivi di interfaccia per l'esecuzione di prove specifiche di laboratorio, per la loro ottimizzazione funzionale in relazione alle diverse applicazioni previste con sistemi di accumulo in batterie al litio e con la presenza di impianti con fonti rinnovabili. Saranno quindi validate, mediante software specifici, le strategie di gestione, controllo, protezione e automazione per reti di distribuzione in presenza di GD ed accumulo elettrico, finalizzate alla minimizzazione dell'impatto sulla rete e all'analisi di sicurezza, affidabilità e qualità dell'energia elettrica (power quality) in condizioni di incertezza e variabilità del regime di produzione.

Dimostrazioni ed attività di supporto

- *Completamento delle attività dimostrative in corso*

Sarà portata a termine la campagna sperimentale sull'uso delle batterie al litio nella funicolare di Bergamo, e verrà completata l'ottimizzazione e validazione della strategia di controllo del sistema di accumulo con supercondensatore per carroponente, mediante l'impianto sperimentale già realizzato.

- *Progettazione, realizzazione ed esecuzione di dimostrazioni di sistemi di accumulo con batterie al litio e relative interfacce intelligenti di controllo e gestione*

Saranno opportunamente progettate alcune applicazioni dimostrative particolarmente interessanti per gli impatti tecnologici ed economici sulla rete elettrica e sugli utenti finali. Le dimostrazioni riguarderanno applicazioni dei sistemi di accumulo con batterie al litio in applicazioni in cui sia possibile prevedere l'uso delle fonti rinnovabili sia verso l'utente finale (come, ad esempio, la casa attiva), che verso il gestore della rete.

- *Attività di supporto*

Si prevede di mantenere un continuo controllo sullo sviluppo delle tecnologie dell'accumulo dell'energia, che possa utilmente competere con le batterie al litio. Questa indagine comprenderà anche un'indagine sui sistemi di accumulo di energia termica (caldo e/o freddo) per applicazioni civili o domestiche.

Sarà inoltre svolta una valutazione ambientale dei materiali e delle soluzioni costruttive proposte per le batterie al litio ed anche, possibilmente, per la parte di gestione e controllo. Verrà infine valutata sperimentalmente la possibilità di estendere la vita utile (*seconda vita applicativa nelle reti*) delle batterie al litio utilizzate nei veicoli elettrici, che sono normalmente utilizzate in modo diverso e normalmente più impegnativo dell'uso prevedibile nelle reti elettriche.

Nelle precedenti annualità dell'Accordo di Programma, le tematiche in esame erano comprese nel tema di ricerca relativo alle "Elettrotecnologie innovative".

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, presso il Centro Enea Casaccia, per studiare l'applicazione di un sistema di accumulo con supercondensatori ad un carroponete. Il Centro Enea Casaccia dispone presso i suoi laboratori di un banco freno in grado di simulare le diverse condizioni di carico in cui si trova a lavorare un azionamento di un carroponete. 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 approfondito il tema dell'accumulo elettrico con supercondensatori e batterie attraverso un'analisi 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 (carroponete) 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 approfondite con 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.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

Nella Linea di attività "Ricerca fondamentale su batterie a litio" si prevedono i seguenti obiettivi.

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 particolarmente adatti per le applicazioni nelle reti elettriche. I materiali dovranno essere scelti per rispondere ad esigenze di alte prestazioni (potenza ed energia), basso costo e basso impatto ambientale. I materiali verranno selezionati, dopo una breve indagine preliminare, per produrre composizioni catodiche ottimizzate da caratterizzare in laboratorio con analisi chimiche, fisiche ed elettrochimiche. Inoltre con i materiali più interessanti verranno costruiti e caratterizzati gli elettrodi in celle di riferimento.

Risultati/Deliverable:

- Scelta e completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica di materiali catodici, catodi e processi di preparazione.

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

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

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. I materiali dovranno essere scelti tra quelli più convenzionali (come le grafite e composti del carbonio) e quelli più innovativi (ossidi metallici), con l'obiettivo di migliorare le prestazioni dei catodi prodotti mantenendo basso il costo e l'impatto ambientale. I materiali verranno selezionati, dopo una breve indagine preliminare, per produrre composizioni anodiche ottimizzate da caratterizzare in laboratorio con analisi chimiche, fisiche ed elettrochimiche. Inoltre con i materiali più interessanti verranno costruiti e caratterizzati gli elettrodi in celle di riferimento.

Risultati/Deliverable:

- Scelta e completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica di materiali anodici, anodi e processi di preparazione.

Principali collaborazioni: Università di Camerino

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

C. Realizzazione e prova di celle complete da laboratorio

I materiali anodici e catodici selezionati e sviluppati dovranno essere poi integrati in una cella completa di elettrolita (liquido e/o polimerico), opportunamente progettata in scala da laboratorio per la verifica delle prestazioni in condizioni operative prossime a quelle dell'uso finale. La procedura di prova verrà sviluppata in modo da riprodurre le condizioni operative tipiche delle applicazioni considerate.

Risultati/Deliverable:

- Progettazione realizzazione e prova di celle da laboratorio al litio.

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

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

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. Indagini preliminari su tecnologie di controllo ed interfaccia con la rete

L'attività prevede un'analisi delle caratteristiche di alcune potenziali utenze con una valutazione delle necessità della rete e dell'utenza. Verrà anche svolta l'analisi in ambiente simulato delle possibili configurazioni ottimali di rete elettrica in presenza di sistemi di poligenerazione distribuita e di accumulo elettrico. Saranno anche effettuati lo studio e l'analisi dell'interfaccia e delle logiche di gestione e controllo dei diversi componenti/sottosistemi di rete, nell'ottica di transizione verso una struttura di rete efficiente, flessibile, dinamica ed interattiva.

Risultati/Deliverable:

- Configurazioni ottimali con l'analisi delle tecnologie di sottosistemi di rete con fonti rinnovabili ed accumulo in batterie al litio.

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Università di Pisa

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

E. Progettazione e realizzazione 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 progettazione preliminare e di dettaglio con relativa acquisizione di tecnologie di controllo e gestione dell'interfacce verso la rete con l'esecuzione di prove di laboratorio con la validazione, mediante software specifici, delle logiche e strategie di controllo che comprendano protezione e automazione per reti di distribuzione in presenza di GD ed accumulo elettrico. Lo sviluppo di tali tecnologie è finalizzata alla minimizzazione dell'impatto sulla rete e all'analisi di sicurezza, affidabilità e qualità dell'energia elettrica (power quality) in condizioni di incertezza e variabilità del regime di produzione.

Risultati/Deliverable:

- Progettazione, realizzazione e prova in laboratorio di tecnologie di controllo ed interfaccia.

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Università di Pisa

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

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

F. Validazioni sperimentali e dimostrazioni

L'attività prevede il completamento della dimostrazione di batterie al litio installate sulla funicolare di Bergamo, con l'analisi completa dei risultati sperimentali. Si prevede inoltre, con l'utilizzo dell'impianto sperimentale realizzato presso l'ENEA, di ottimizzare e validare le strategia di gestione e controllo di supercondensatori utilizzati nei carriponte. Sarà inoltre preparato il progetto dimostrativo della casa attiva con un'analisi di possibili utenze attive, anche di generazione con fonti rinnovabili, e delle caratteristiche della microrete.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sui risultati della sperimentazione sulla funicolare di Bergamo con analisi dei benefici ottenuti;
- Strategia di controllo ottimizzata e validata per il sistema di accumulo in supercondensatori per carriponte;
- Progetto esecutivo e ordine componentistica per la dimostrazione della casa attiva.

Principali collaborazioni: Università di Napoli, Università di Pisa

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

G. Indagini tecnologiche e valutazioni di impatto dei sistemi di accumulo

L'attività prevede una valutazione sulle applicazioni delle batterie al litio nelle reti elettriche, con un'indagine sui sistemi alternativi proposti in competizione. L'analisi riguarderà anche l'accumulo termico. Sarà inoltre analizzata e progettata la campagna sperimentale per la verifica del prolungamento della vita utile delle batterie al litio usate nei veicoli elettrici, per aumentarne la vita ciclica e, conseguentemente, il valore economico.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sugli impatti 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 2010-Settembre 2011

H. 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.

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

- La comunità scientifica tramite pubblicazioni su riviste scientifiche (4-5 articoli) e partecipazioni a convegni nazionali ed internazionali (almeno 4-5); questo canale consentirà di 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 Elettrico.

Si valuterà 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 partecipanti alla Ricerca di Sistema Elettrico.

Inoltre è prevista la partecipazione attiva ad 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 ha 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 verrà riattivata la presenza italiana su "Energy Conservation through Energy Storage". Inoltre si prevede di proseguire la partecipazione all'alleanza europea, promossa dalla CE, denominata EERA, contribuendo ai temi "Smart grids" e "Energy storage". Inoltre è in fase di avvio una nuova collaborazione scientifica e tecnologica promossa dal circuito COST (Cooperazione Scientifica e Tecnologica a livello europeo) sui sistemi ibridi che utilizzano batterie e supercondensatori.

Risultati/Deliverable:

- Supporto alla definizione e riorientamento di programmi e progetti nazionali sull'uso dei sistemi di accumulo stazionari e mobili e sulle smart grids and GD.
- una completa comunicazione e diffusione dei risultati in linea con gli impegni presi dall'ENEA.

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

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).

Attività di ricerca 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	Sett 2011	1000	60	35	25	0	35	155
B	Ricerca su materiali e processi per la realizzazione di materiali anodici con prestazioni migliorate	Sett 2011	1300	78	35	25	0	35	173
C	Realizzazione e prova di celle complete da laboratorio	Sett 2011	1500	90	80	40	0	35	245
D	Indagini preliminari su tecnologie di controllo ed interfaccia con la rete	Sett 2011	700	42	0	10	0	30	82
E	Progettazione e realizzazione di tecnologie di controllo ed interfaccia del sistema di accumulo in batterie al litio con la rete e con utenze particolari	Sett 2011	1200	72	40	36	0	30	178
F	Validazioni sperimentali e dimostrazioni	Sett 2011	800	48	10	10	0	40	108
G	Indagini tecnologiche e valutazioni di impatto dei sistemi di accumulo	Sett 2011	450	27	0	15	0	15	57
H	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	950	57	0	45	0	0	102
TOTALE			7900	474	200	206	0	220	1100

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

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE 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 il rilancio dell'opzione nucleare in Italia.

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 nucleare italiano, in vista di realizzazioni di impianti nucleari e facility per la gestione del ciclo del combustibile sul territorio nazionale

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

La necessità di ridurre la dipendenza dalle fonti energetiche estere e di "gestire" la tendenza dei prezzi al rialzo, unitamente al rispetto dei vincoli del protocollo di Kyoto sulle emissioni dei gas serra, impongono un cambiamento nel sistema energetico nazionale.

La fonte nucleare ha tutti i requisiti per fornire risposte efficaci alla problematica energetica ed il Governo ha pertanto stabilito un nuovo quadro legislativo (legge 133/2008, legge 99/2009, Decreto Legislativo n. 31 del 15 febbraio 2010) che ha posto le basi per la riapertura dell'opzione nucleare nel nostro Paese.

Il sistema della ricerca, ed in particolare l'ENEA, gioca un ruolo chiave nel rilancio del nucleare, in termini di valutazione e miglioramento delle tecnologie esistenti, messa a disposizione di competenze e infrastrutture per la qualifica di sistemi e componenti, sviluppo di nuove tecnologie più sostenibili, ampliamento e rafforzamento della rete di collaborazioni internazionali nel settore.

In questo quadro, fondamentale è il contributo alla valutazione tecnico-economica dei reattori già in fase di commercializzazione (terza generazione) ed allo sviluppo di sistemi nucleari di nuova generazione (III+ e IV) – incluso il relativo ciclo del combustibile, con particolare riferimento alla gestione dei rifiuti radioattivi - su cui si concentrano notevoli sforzi a livello internazionale e comunitario. Infatti, l'interiorizzazione delle performance dei sistemi nucleari delle successive generazioni e dei relativi cicli del combustibile in termini di sostenibilità, sicurezza, economicità e resistenza alla proliferazione, permetterà di supportare

adeguatamente da un lato le scelte governative e, dall'altro, la riqualificazione ed il potenziamento del sistema industriale.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate, ma tenuto anche conto che la ricerca di sistema in campo nucleare è, per sua natura, di medio-lungo periodo, si ritiene che sia necessario assicurare la continuità e l'ulteriore sviluppo delle attività tecniche già avviate nelle precedenti annualità dell'AdP. Pertanto la presente annualità conferma le seguenti linee progettuali:

- LINEA PROGETTUALE 1: Studi sul nuovo nucleare
- LINEA PROGETTUALE 2: Reattori evolutivi
- LINEA PROGETTUALE 3: Reattori di IV Generazione
- LINEA PROGETTUALE 4: Rifiuti radioattivi
- LINEA PROGETTUALE 5: Qualifica di componenti e sistemi.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

I 439 reattori nucleari di potenza, per una potenza installata di circa 373 GWe, attualmente in servizio 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 già in funzione in Giappone, come l'Advanced Boiling Water Reactor (ABWR da 1400 MWe progettato da General Electric e Hitachi) 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 - in fase di costruzione in Europa e in Asia e, nei prossimi anni, in USA, Gran Bretagna, Italia, ecc.. Industrie italiane (ad es. ENEL, Ansaldo Nucleare, Mangiarotti Nuclear, ecc.) stanno già partecipando alla loro progettazione e realizzazione. L'ENEL ha siglato un Memorandum of Understanding e ha costituito con l'EdF francese una joint venture, Sviluppo Nucleare Italia, per la realizzazione di almeno quattro EPR nel nostro Paese.

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. È rilevante osservare che anche l'amministrazione americana ha annunciato il lancio, entro il 2010, 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.

I reattori di quarta generazione, invece, sono ancora allo stadio concettuale. Essi sono oggetto di un'iniziativa avviata dal Department of Energy (DOE) USA nel gennaio 2000, allorquando 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 multibarriera).

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.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ E DATA DI CONSEGUIMENTO

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

- **A breve termine:** contribuire a ricreare le competenze e le infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per la ripresa del settore nucleare in Italia, sviluppare una capacità autonoma di valutazione delle diverse opzioni tecnologiche, 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, anche grazie ad accordi bilaterali con grandi istituzioni di ricerca quali il CEA e l'IRSN francesi, i laboratori del DOE americano, ecc.;
- **A medio termine:** supportare il sistema nucleare italiano per la realizzazione e la gestione di reattori evolutivi e relativo ciclo del combustibile in termini di competenze, infrastrutture di ricerca, laboratori, processi di qualificazione, ecc.;
- **Nel lungo termine:** sfruttare le competenze e le infrastrutture di ricerca così sviluppate per partecipare a pieno titolo alla progettazione, realizzazione ed operazione di prototipi e dimostrativi di sistemi nucleari di quarta generazione a ciclo chiuso quale il *Lead-cooled Fast Reactor* e/o il *Sodium-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 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 delle varie generazioni;
- Implementazione di un simulatore ingegneristico di reattori evolutivi LWR;
- Qualifiche sperimentali di sistemi e componenti nucleari;
- 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;
- Prove integrali di grandi componenti (GV, DHR, pompe, ecc.) e tecnologie innovative funzionali allo sviluppo del *Lead-cooled Fast Reactor* (LFR) e del *Sodium-cooled Fast Reactor* (SFR) 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.

SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI NELLE PRECEDENTI ANNUALITÀ

LINEA PROGETTUALE 1: Studi sul nuovo nucleare

Le attività portate a termine nel corso della annualità 2006 e quelle concluse ed in svolgimento nel corso dell'annualità 2007 sono finalizzate a fornire al Governo importanti elementi e valutazioni necessari a supportare il processo decisionale relativo alla reintroduzione dell'opzione nucleare per la produzione di energia elettrica in Italia. E' stata fatta un'accurata ricognizione delle iniziative e degli accordi internazionali al fine di disporre di un panorama completo della situazione mondiale su cui innestare un programma nazionale; questa situazione, in continua evoluzione, viene costantemente monitorata e verrà continuamente aggiornata anche nei prossimi anni. Gli studi di scenario, quelli preliminari conclusi e quelli, in corso, applicati alla realtà nazionale, costituiranno la base di partenza per delineare diverse strategie di impiego di reattori nucleari sul territorio nazionale, raccordandosi con le situazioni europee ed internazionali in evoluzione e fornendo pure importanti elementi per valutazioni tecnico-economiche, condotte con metodi innovativi già sviluppati e/o acquisiti, che tengano pure conto di un possibile impiego di reattori di diverso tipo e taglia. Il rinnovato accordo tra ENEA e CEA, introdotto come importante tema nel corso della seconda annualità, ha permesso di consolidare le attività congiunte di ricerca e sviluppo su codici e metodi, di acquisire metodi avanzati di progettazione e di entrare a far parte del gruppo di progetto e realizzazione del reattore di ricerca "Jules Horowitz Reactor – JHR" in corso di costruzione presso il Centro CEA di Cadarache. Quest'ultima attività, che prenderà definitivamente quota nel corso del PAR 2008-2009, permetterà di raccogliere importanti elementi di informazione onde consentire al sistema nazionale industria-ricerca di valutare l'opportunità di aderire al relativo consorzio internazionale. Le attività svolte

nel corso dell'annualità 2006 sul partitioning eseguite sull'impianto ENEA PYREL hanno dimostrato l'efficacia del metodo di elettrorefinazione adottato per "ripulire" efficacemente gli elementi simulanti gli attinidi minori allo scopo di studiare uno dei fenomeni che stanno alla base dei processi per la trasmutazione di rifiuti radioattivi in reattori di IV generazione. I metodi per la valutazione della resistenza alla proliferazione dei reattori di IV generazione sono stati acquisiti e testati; sono in corso di valutazione, nell'ambito dell'iniziativa GIF PP&PR, le caratteristiche di non proliferazione e security dei reattori veloci di IV generazione raffreddati a metallo liquido. La partecipazione dell'ENEA e del CIRTEN ai comitati e gruppi internazionali si è intensificata grazie proprio al supporto dell'AdP MiSE-ENEA e vede la nostra partecipazione sia alle 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 (sicurezza nucleare, radioprotezione, costi di produzione, disponibilità di risorse naturali, sviluppo risorse umane, forniture di combustibile, gestione rifiuti radioattivi, deposito geologico, transizione da LWR a FR, legislazione in campo nucleare, produzione di radioisotopi a uso medicale, ecc.). L'AdP ha anche consentito e consentirà nei prossimi anni all'ENEA di partecipare e di avere un ruolo rilevante nelle due iniziative del SET-Plan europeo dedicate al nucleare da fissione sostenibile, ovvero: ESNII - European Sustainable Nuclear Industrial Initiative e EERA - European Energy Research Alliance on innovative nuclear materials.

LP2 - LINEA PROGETTUALE 2: Reattori evolutivi

Le attività dei precedenti piani annuali di realizzazione (2006 e 2007) hanno riguardato le seguenti tematiche: prova integrale a supporto dello sviluppo di un SMR, sviluppo componenti e analisi integrata di sistema e di sicurezza di tali tipi di reattore, progettazione neutronica di un reattore pressurizzato ad acqua leggera di potenza termica dell'ordine di 600 MWe.

Per quanto riguarda la prova integrale, è stata completata, nel primo PAR, la progettazione di un impianto sperimentale (SPES-3), in grado di simulare i transitori operativi ed incidentali dell'impianto reale (piccoli LOCA, rottura delle linee vapore, ecc.), mentre nel secondo PAR è in corso l'approvvigionamento dei componenti della struttura di supporto dell'impianto e sarà completato il montaggio. Particolare attenzione è stata dedicata alla selezione ed allo sviluppo della strumentazione, idonea per la misura delle grandezze di interesse (portata, grado di vuoto e spessore del film liquido) in regime di flusso bifase, che rappresenta uno degli aspetti più critici nella realizzazione dell'impianto. In particolare nel primo PAR sono state affrontate le problematiche della scelta e qualificazione delle metodiche di misura e sono state valutate le potenzialità e le prestazioni degli strumenti commerciali o sviluppati da laboratori internazionali. Nel secondo PAR sono stati, invece, sviluppati modelli matematici per la misura della portata, che hanno dimostrato la fattibilità della misura della portata con una catena di misura costituita da una turbina, da una sonda per la misura del grado di vuoto e da un drag disk, ed è stato verificato che le condizioni fluidodinamiche durante i transitori richiedono lo sviluppo di sonde di tipo capacitivo per la misura del grado di vuoto. A supporto dell'attività di approvvigionamento dei componenti, che inizierà nell'ambito del PAR2008-09, nel PAR2007 è stato progettato ed è in corso di realizzazione un impianto per la qualifica delle canne scaldanti che simulano in SPES3 la potenza termica di origine nucleare.

Nella linea di attività relativa allo sviluppo componenti, sono stati oggetto di studio i generatori di vapore, gli scambiatori immersi, e il fondo del vessel. In particolare nel corso del PAR2006 sono state eseguite prove termoidrauliche e meccaniche sui tubi elicoidali dei generatori di vapore, i cui risultati hanno supportato la preparazione di un nuovo "code case", accettato dalle ASME per la progettazione di tubi sottoposti ad una pressione esterna maggiore di quella interna. Nell'ambito del PAR2007 sono in corso le modifiche sul mock-up in scala reale del generatore di vapore, esistente in SIET, per l'effettuazione di una prima campagna sperimentale finalizzata allo studio dell'instabilità del flusso tra tubi paralleli ed è in corso la progettazione di un impianto per l'analisi di soluzioni alternative alla soluzione a tubi elicoidali. Per i condensatori immersi sono state definite nel PAR2006 correlazioni di scambio termico da implementare nei codici di progetto, sulla base di esperienze eseguite da ENEA precedentemente all'accordo di programma.

Un risultato significativo, raggiunto nel PAR2006 a supporto della progettazione del fondo vessel, riguarda lo sviluppo di modelli non lineari di turbolenza per superare alcune delle limitazioni legate alle formulazioni convenzionalmente implementate nei codici CFD commerciali, oltre alla messa a punto di protocolli di

accuratezza per il loro utilizzo al fine di raggiungere standard elevati, riproducibili e tracciabili. Nell'ambito del PAR2007 è in corso di realizzazione il mock-up sperimentale del fondo vessel per l'esecuzione di una campagna sperimentale finalizzata all'ottimizzazione delle perdite di carico e della distribuzione della portata nel fondo vessel.

Per quanto concerne l'analisi integrata di sistema e sicurezza, le attività sono state focalizzate sulla riduzione del rischio sismico, sull'analisi degli eventi esterni e sulla verifica del progetto per gli aspetti di danneggiamento materiali e radioprotezionistici. Per la prima tematica sono stati evidenziati i vantaggi dell'isolamento sismico rispetto ad un impianto non isolato o parzialmente interrato ed è stata messa a punto una metodologia per la valutazione delle curve di fragilità. Nel PAR2007 è stato sviluppato un modello analitico/numerico capace di descrivere adeguatamente il comportamento di un isolatore da utilizzare per la definizione delle curve di fragilità, ed è in corso l'esecuzione di una prima campagna sperimentale finalizzata alla caratterizzazione meccanica dei potenziali isolatori dell'impianto. Riguardo all'analisi degli eventi esterni, nel PAR2007 è stato completato lo studio dell'impatto aereo con il metodo classico, richiesto dalla normativa nucleare. La verifica del grado di conservatività di tale metodo sarà oggetto di studio nel PAR 2008-09. Per quanto riguarda la valutazione delle dosi nei vari locali dell'edificio ausiliari e del danneggiamento dei materiali nelle varie condizioni operative dell'impianto, l'attività è iniziata nel PAR2007 e i risultati dei calcoli hanno permesso di individuare le migliori da apportare al progetto.

Infine, per quanto riguarda la progettazione neutronica del reattore da 600 MWe, è stato definito un nocciolo con uno schema di ricarica del combustibile a ciclo unico (once-through), che offre la possibilità di gestire il reattore con contratti di "leasing" del combustibile, con importantissimi risvolti per quel che riguarda la difesa dal rischio di proliferazione. Sono in corso nel PAR2007 ulteriori calcoli neutronici finalizzati a ridurre/eliminare la concentrazione di boro al fine di conseguire una riduzione dei rifiuti prodotti e delle dosi ai lavoratori e una semplificazione impiantistica, oltre che a ottimizzare i coefficienti di reattività

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, il PAR2006 pertinente alla LP3 è stato incentrato principalmente sulla progettazione e qualifica di sistemi e componenti, nonché di strumenti di calcolo, rilevanti per lo sviluppo di sistemi nucleari a fissione refrigerati a metallo liquido pesante (Lead cooled Fast Reactor, LFR) o a gas (Very High Temperature Reactor, VHTR).

In particolare si è progettato e fatto realizzare, per una successiva implementazione sull'impianto sperimentale a metallo liquido pesante CIRCE presso il Centro ENEA del Brasimone, un sistema di rimozione del calore di decadimento (DHR) per LFR completamente innovativo, permettendo al sistema di ricerca italiano di creare una forte sinergia fra i programmi di ricerca nazionali e quelli finanziati dalla Comunità Europea (ELSY, EUROTRANS).

In ambito LFR si sono inoltre avviate e implementate attività di ricerca e sviluppo in supporto alla qualifica di materiali innovativi per applicazioni in ambienti severi (girante pompa centrifuga), e di materiali strutturali sottoposti ad irraggiamento neutronico veloce.

E' stato inoltre sviluppato e testato, sull'impianto a larga scala CIRCE, un sistema di purificazione e controllo dell'ossigeno disciolto per sistemi nucleari refrigerati a piombo. Tale strumento è, infatti, fondamentale per l'esercizio dei sistemi LFR, poiché permette di accrescere sensibilmente la resistenza alla corrosione dei materiali strutturali in sistemi refrigerati a metallo liquido pesante.

Sempre in ambito LFR, si è inoltre avviato lo sviluppo di un codice di termo fluidodinamica per noccioli aperti raffreddati a metallo liquido pesante, e si sono sviluppati, sulla base di differenti ipotesi relative ai limiti tecnologici da assumere, diverse configurazioni di nocciolo di impianto dimostrativo (DEMO-LFR).

Per quanto riguarda i sistemi nucleari di IV generazione refrigerati a gas, le attività hanno riguardato lo sviluppo di modelli numerici da implementare in codici di sistema per l'analisi termo fluidodinamica dei transitori operazionali e incidentali dei sistemi VHTR. Tali strumenti permetteranno l'analisi di sicurezza di tali sistemi supportandone la progettazione concettuale e di dettaglio.

I modelli sviluppati sono stati inoltre preliminarmente testati e validati mediante un'apposita campagna sperimentale realizzata sull'impianto sperimentale ad elio He-FUS3, dimostrandone l'applicabilità e la consistenza fisica.

Per quanto concerne il PAR2007, le azioni inerenti alla LP3 sono state incentrate in particolare sulla concettualizzazione e sviluppo dei sistemi LFR e VHTR, a completamento ed integrazione delle azioni di R&S implementate nel PAR2006.

Inoltre, a rafforzamento degli accordi bilaterali con le maggiori organizzazioni di ricerca europee (CEA) e recependo le indicazioni riportate nella Strategic Research Agenda della European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP), è stato avviato un nuovo filone di attività in supporto allo sviluppo dei sistemi refrigerati a sodio, Sodium cooled Fast Reactor, SFR.

Infatti in ambito europeo i sistemi SFR sono stati scelti come l'opzione tecnologicamente più matura di reattore veloce a ciclo chiuso.

LINEA PROGETTUALE 4: Rifiuti radioattivi

Nel corso della prima annualità (PAR2006) sono state individuate e sviluppate le seguenti tematiche principali:

- supporto al processo decisionale;
- stato dell'arte su studi e ricerche in Italia ed analisi delle necessità;
- inventario nazionale dei rifiuti radioattivi e modalità di gestione futura;
- caratterizzazione dei rifiuti da conferire al sito di smaltimento e di 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;
- comunicazione, informazione e formazione.

Queste tematiche sono state sviluppate con diverso grado di dettaglio come di seguito sintetizzato, e di alcune se ne è proseguito l'approfondimento anche nella seconda annualità (PAR2007).

Per quanto riguarda il supporto al processo decisionale, il Gruppo di Lavoro D.M. 25 Febbraio 2008 del MSE, in cui già era presente un rappresentante dell'ENEA, ha chiesto la collaborazione di altri esperti ENEA per lo studio di tematiche specifiche. I risultati dello studio sono stati incorporati nel Rapporto Finale al Ministro dello Sviluppo Economico (Settembre 2008).

Grande rilevanza hanno avuto l'esame delle esperienze messe in atto a livello europeo e internazionale e la raccolta e l'analisi delle informazioni e della documentazione relativa agli studi e ricerche fino ad oggi effettuate in Italia. E' stato ricostruito un elenco della documentazione prodotta e si è provveduto a raccogliere e archiviare i documenti più significativi. In parallelo è stata effettuata un'analisi critica di una parte della documentazione ritenuta più significativa al fine di valutare le eventuali necessità di aggiornamento. In particolare è stata fatta una accurata disamina, sia dal punto di vista normativo sia operativo, della situazione internazionale e italiana in relazione a decommissioning degli impianti nucleari dismessi e relativa gestione dei rifiuti radioattivi.

Per quanto concerne l'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi, già elaborato dall'ENEA fino all'anno 2000, è stato raggiunto un accordo di reciproco interesse tra ISPRA (ex APAT) ed ENEA. L'ISPRA raccoglie le informazioni sui rifiuti fornite dagli esercenti in un apposito data base, ma non effettua, in quanto non è di sua competenza, l'elaborazione dei dati ai fini dello stoccaggio definitivo, fornendo quindi solo una "fotografia" dell'esistente. Partendo da questi dati l'ENEA ha provveduto ad elaborarli, sulla base di ipotesi di condizionamento (laddove non già condizionati), al fine di pervenire all'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi condizionati, cioè già idonei per il deposito di smaltimento. Inoltre l'ENEA ha elaborato una stima dei rifiuti di futura produzione da smantellamento degli impianti dismessi, basandosi sia su informazioni provenienti dagli esercenti sia su stime fatte in proprio. Questo lavoro sta utilmente proseguendo e affinandosi nella seconda annualità e sarà costantemente aggiornato nelle annualità successive, sia per

effetto di nuovi dati di caratterizzazione radiologica sia per effetto di una costante analisi critica dei dati in collaborazione con l'autorità di controllo.

Per la caratterizzazione dei rifiuti si è provveduto all'elaborazione di procedure di massima per la caratterizzazione radiologica e chimico-fisica dei rifiuti radioattivi e di criteri operativi preliminari per l'accettabilità al deposito, identificando anche le tecniche distruttive e non distruttive più idonee e la migliore strumentazione attualmente disponibile sul mercato. Inoltre è stata effettuata una definizione concettuale dell'insieme integrato di infrastrutture, tecnologie e servizi necessari per la caratterizzazione dei rifiuti radioattivi ai fini del conferimento al deposito. Tale definizione si sta attualmente (seconda annualità) focalizzando nella progettazione preliminare di tali infrastrutture e nello studio particolareggiato di tecniche innovative aventi limiti di rivelazione tali da consentire la corretta discriminazione dei rifiuti di II e III Categoria, quali un sistema integrato con interrogazione neutronica attiva tramite fissione indotta, interrogazione gamma attiva tramite fotofissione e tomografia gamma.

In riferimento al sito del deposito e al deposito stesso, sono state definite e avviate alcune attività di R&S propedeutiche alla progettazione dell'impianto di smaltimento, del quale sono stati individuati, in via preliminare, i criteri di progetto derivati dai requisiti di sicurezza stabiliti dalla IAEA. Sono stati anche identificati gli studi da effettuare (e parzialmente già effettuati in passato) relativi a scenari, analisi territoriali, performance assessment, specifiche di accettabilità dei rifiuti nel deposito, elementi socio-economici, sicurezza dell'installazione, quadro normativo e di radioprotezione, migrazione dei nuclidi, livelli di sicurezza da garantire nel medio e lungo termine, implicazioni territoriali ed ambientali. In tale ambito proseguono nella seconda annualità le attività finalizzate alla formazione delle competenze necessarie ed all'acquisizione o sviluppo dei relativi strumenti computazionali per i calcoli di "performance assessment" di un deposito di rifiuti radioattivi. Si prosegue con la modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito di rifiuti radioattivi e con lo sviluppo di una metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione ed operazione del deposito stesso.

Per completezza di inquadramento del problema, nella prima annualità sono stati anche analizzati, con un grado di dettaglio molto preliminare, alcuni temi trasversali:

- problematiche inerenti il trasporto dei rifiuti condizionati dai siti di produzione al deposito nazionale;
- problematiche di "security" correlate con il deposito dei rifiuti radioattivi e le relative soluzioni tecniche e procedurali da sviluppare;
- linee guida per la definizione di un piano di azioni per informare, coinvolgere e ottenere il consenso del pubblico. L'argomento è stato poi esteso anche alla problematica della formazione necessaria per gli addetti ai lavori.

LINEA PROGETTUALE 5: Qualifica di componenti e sistemi

La linea progettuale LP5 è stata attivata col PAR2007. In questo primo anno di attività sono stati raccolti ed elaborati i dati sui reattori di generazione III e III+, sia attraverso contatti diretti con i vendors e con le utilities, sia partecipando o promuovendo iniziative finalizzate al coinvolgimento del sistema produttivo italiano nell'attuale fase preparatoria al nuovo o maggiore impegno nel settore nucleare. Coordinando queste iniziative è stato possibile focalizzare i temi di maggiore interesse in termini di sviluppo di metodologie e di opportunità di innovazione per la competitività del sistema produttivo e per le capacità di valutazione della sicurezza e degli impatti ambientali.

In particolare sono state organizzate in ENEA giornate di studio sui reattori EPR, AP-1000, VVER, ABWR-ESBWR e su attività orizzontali come l'innovazione nelle tecnologie manifatturiere (grandi forgiati), il supporto tecnico per la sicurezza (TSO IRSN) e la qualificazione industriale di componenti e sistemi.

Inoltre è in atto una collaborazione che comporta la partecipazione di esperti ENEA a tutti i gruppi di lavoro UNICEN per l'aggiornamento della normativa nucleare.

Infine ENEA, assieme ad ERSE, ha costituito e coordina un gruppo di lavoro, aperto al contributo volontario di Università, imprese manifatturiere, operatori di centrali, dedicato allo sviluppo di metodologie e di

modelli per l'analisi degli impianti nucleari di possibile realizzazione in Italia. Nello sviluppo di metodologie per le analisi di sicurezza sono state acquisite le piattaforme di calcolo per la modellistica termoidraulica nelle condizioni operative ed incidentali, e per il trasporto di contaminanti in condizioni normali e incidentali all'interno dell'impianto, dall'interno all'esterno e nell'ambiente.

Al fine di predisporre le grandi attrezzature sperimentali per adeguarle alle necessità di qualifica di sistemi termoidraulici dei circuiti rilevanti della centrale nucleare, è in corso lo studio degli scenari operativi e incidentali che costituiscono la base per la programmazione delle campagne sperimentali e determinano le esigenze di adeguamento degli impianti.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

LINEA PROGETTUALE 1: Studi sul nuovo nucleare

A Prosecuzione del supporto al Ministero dello Sviluppo Economico - DGENRE per il coordinamento della partecipazione nazionale a progetti ed accordi 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:

- Supporto tecnico-scientifico in tema di energia nucleare alla Direzione Generale DGENRE del Ministero dello Sviluppo Economico;
- Supporto per la definizione del posizionamento nazionale in ambito VII Programma Quadro Europeo parte Euratom;
- Presidio delle attività istituzionali internazionali sull'energia nucleare, sicurezza e salvaguardie nucleari, ecc.; partecipazione ai relativi Comitati e Gruppi di Lavoro nazionali ed internazionali.

Risultato/Deliverable:

- Rapporto di sintesi delle attività effettuate a supporto del MSE-DGENRE

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

B. Prosecuzione della partecipazione a comitati e gruppi internazionali (NEA, IAEA, EURATOM, GIF, IFNEC, ecc.)

B.1: Prosecuzione delle attività legate alla partecipazione attiva ai vari comitati internazionali OECD-NEA, IAEA (incluso database International Nuclear Information System), ed Euratom. Partecipazione ai gruppi di lavoro delle grandi iniziative internazionali nel campo del nucleare sostenibile quali: GIF - Generation IV International Forum (tramite EURATOM), IFNEC (ex GNEP) - International Framework for Nuclear Energy Cooperation, IAEA-INPRO International Project on Innovative Reactors and Fuel Cycles e SNETP - European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, incluso la ESNII - European Sustainable Nuclear Industrial Initiative e la EERA - European Energy Research Alliance on Nuclear Materials del SET-Plan europeo.

B.2: Avvio di un NES (Nuclear Energy System Assessment) Italia, in collaborazione diretta con IAEA. Il NES 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 e strumenti internazionalmente validati, a supporto di un piano strategico e decisionale sull'utilizzo a lungo termine dell'energia nucleare. Nel contesto nazionale di rilancio dell'opzione nucleare esso si configura come un'azione importante e di potente supporto alla strategia energetica del Paese. Lo sviluppo dell'attività comporta missioni presso IAEA, anche di lunga durata, di ricercatori ENEA.

B.3: Proseguirà, inoltre, la partecipazione ai gruppi di lavoro 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 in ambito GIF e INPRO. Il contributo nazionale a GIF avrà come focus il consolidamento

della metodologia PR&PP e la caratterizzazione in termini di PR&PP dei sistemi di riferimento GenIV, in particolare il sistema Lead Fast Reactor LFR, tenendo conto dello stadio preliminare in cui attualmente si trovano i relativi progetti sia a livello di sistema che di associato ciclo del combustibile.

B.4: Partecipazione al gruppo di lavoro IAEA-SMR (Small-Medium Reactor). L'interesse sui reattori di piccola-media taglia di tipo modulare (SMR) é essenzialmente in previsione dello sviluppo del ricorso all'energia nucleare da parte dei paesi in via di sviluppo e con reti infrastrutturali limitate. In accordo coi principi ispiratori dell'iniziativa internazionale IFNEC (ex GNEP), i reattori SMR si caratterizzano, oltre agli aspetti di sicurezza e semplificazione incrementate, per la maggior resistenza alla proliferazione attraverso una gestione del ciclo combustibile che non prevede l'accesso allo stesso da parte del gestore (without on-site refuelling), per la maggior facilità di localizzazione e per l'uso multiscopo dei reattori stessi (elettricità, calore, ecc.). I reattori SMR modulari rivestono interesse anche per i paesi avanzati/industrializzati in quanto adatti per regioni remote o comunque collocate lontano dalle reti infrastrutturali necessarie, ma anche per realizzare centrali di taglia medio grande scaglionando nel tempo la costruzione dei diversi moduli e ottimizzando in tal modo l'adattamento alla crescita della domanda ed il costo d'investimento relativo.

Risultati/Deliverable:

- LP1-B.1 Raccolta delle relazioni di partecipazione ai comitati e gruppi internazionali sul nucleare da fissione
- LP1-B.2 Rapporto di avanzamento sullo sviluppo NESA_Italy
- LP1-B.3 Rapporto sullo stato di sviluppo delle principali metodologie per valutare la resistenza alla proliferazione e protezione fisica e loro applicazione a sistemi innovativi.
- LP1-B.4 Rapporto di *review* sullo stato di sviluppo dei reattori di piccola-media taglia di tipo modulare

Principali collaborazioni: CIRTEEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Partecipazione al Progetto internazionale OECD -NEA "Halden Reactor Project"

Il rilancio della partecipazione italiana al "Halden Reactor Project" dell'OECD-NEA permetterà di avvalersi dell'esperienza di un Centro internazionale di eccellenza nel dominio *Fuel&Materials e Instrumentation and Control*, a supporto dell'esercizio sicuro ed efficace dei reattori attuali e futuri. 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 scuola/training per giovani ricercatori, insieme a quella di agire quale riferimento di base per lo sviluppo di un simulatore ingegneristico in ENEA (v. attività LP2.C).

Risultati/Deliverable:

- LP1-C.1 Rapporto potenzialità reattore HRP e MMI Labs con review Fuel&Materials e Instrumentation &Control per reattori LWR evolutivi.
- LP1-C.2 Rapporto definizione programmi di R&S di più specifico interesse nazionale a supporto dei reattori LWR evolutivi, in entrambi i settori Fuel&Materials e Instrumentation&Control.

Principali collaborazioni: CIRTEEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

D. Studi per la sicurezza dei reattori nell'ambito dell'Accordo ENEA-IRSN

L'accordo ENEA-IRSN, siglato nella primavera del 2010, è imperniato su tre temi fondamentali per il ruolo di ENEA come Technical Support Organization (TSO): radioprotezione, sicurezza (safety) e salvaguardie (security). L'obiettivo dell'accordo è di mettere in comune le reciproche esperienze nei settori della radioprotezione e della sicurezza al fine di favorire l'utilizzo sicuro e responsabile del nucleare civile. Gli ingegneri e i ricercatori delle due Istituzioni avranno l'opportunità di scambiare le loro esperienze e di sviluppare insieme progetti in un vasto campo che spazia dai metodi d'analisi per le centrali a fissione all'acquisizione degli strumenti di analisi di processi e sistemi del reattore EPR francese. Va rimarcato che l'IRSN ha un'indiscussa competenza nel settore perché svolge la funzione di esperto in sicurezza nucleare in supporto all'autorità di sicurezza francese. E' previsto il distacco di personale giovane presso IRSN per partecipare a gruppi di lavoro sulla sicurezza nucleare e l'organizzazione di corsi di formazione sulla sicurezza in Italia tenuti da esperti IRSN.

Risultato / Deliverable:

- LP1-D.1 Set documentale relativo alle attività nel campo della sicurezza nucleare portate avanti in collaborazione con IRSN

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

E. Studi di meccanica strutturale e relativa normativa tecnica nell'ambito dell'Accordo ENEA-CEA

Nell'ambito del rinnovato Accordo ENEA-CEA, particolare rilevanza riveste la storica collaborazione per 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 III+ e IV. In particolare tale sistema di analisi e simulazione sarà lo strumento di calcolo di riferimento per due nuove attività:

- a) *Codes & Standards:* Verifica della validità del diagramma di efficacia nei codici per progettazione e costruzione francesi denominati RCC-MRx ;
- b) *Life Extension:* Studio degli effetti di un pre-riscaldamento su un *Reactor Pressure Vessel (RPV)* per ridurre i danni strutturali di un *Pressurised Thermal Shock (PTS)* e partecipazione al NETWORK NES7.

Risultati / Deliverable:

- LP1-E.1 Rapporto sullo sviluppo e utilizzo del codice di calcolo CAST3M.
- LP1-E.2 Rapporto di preanalisi e definizione domini di applicabilità delle RCC-MRx per diverse combinazioni di carico
- LP1-E.3 Rapporto su integrità strutturale RPV a fronte PTS (simulazione meccanica della frattura per convalida primi dati sperimentali NES7)

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

F. Prosecuzione degli studi di scenario, valutazioni economiche e partecipazione al Gruppo Internazionale IAEA-NEA Uranium Group"

Gli studi economici e di scenario, anche mediante l'utilizzo di modelli innovativi, consentiranno di valutare diverse opzioni di taglia reattore e ciclo combustibile, che vanno ad integrare quanto analizzato nelle attività dei PAR precedenti.

Le valutazioni economiche si avvarranno dei modelli economico-finanziari avanzati sviluppati da CIRTEN, complementari a quelli già disponibili a livello internazionale, per le analisi d'investimento e generazione

elettrica, con riferimento agli impianti nucleari identificati negli studi di scenario di interesse nazionale, compresi di reattori di taglia medio/piccola (attualmente in via di sviluppo) e in congruenza con l'obiettivo del governo che prevede una copertura del 25% del fabbisogno elettrico nazionale al 2030, con varie tipologie di reattori LWR di nuova generazione. La partecipazione al WPNE (Working Party Nuclear Energy Economics) della NEA permetterà di avvalersi di un confronto più allargato sul tema delle valutazioni economiche.

Proseguiranno gli studi di scenario (codici DESAE e COSI) che, oltre al parco nucleare richiesto per l'obiettivo nazionale del 25% del fabbisogno di energia elettrica al 2030, riguarderanno gli studi globali/regionali condotti in collaborazione con il CEA, con la NEA (Expert Group "Fuel Cycle Transition Scenarios Studies" del Working Party on Scientific Issues of the Fuel Cycle) e in ambito INPRO Project (GAINS) della IAEA.

La partecipazione al gruppo internazionale "IAEA-NEA Uranium Group" consentirà di avere il quadro aggiornato delle risorse e domanda uranifere a livello mondiale, riferimento imprescindibile per la strategia nucleare nei decenni a venire.

Risultati/Deliverable:

- LP1-F.1 Validazione e applicazione dei modelli economico-finanziari per l'analisi di differenti parchi reattore costituiti da LWR di Generazione III+ (grande e medio/piccola taglia); rapporto di sintesi risorse e domanda mondiale di uranio, con evidenziata la situazione nazionale
- LP1-F.2 Rapporto sull'analisi di uno scenario nazionale parco reattori di tipo LWR di generazione III+
- LP1-F.3 Rapporto su scenari globali/regionali che include reattori di III+ e IV generazione, condotti in ambito NEA e IAEA-INPRO

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

Attività di ricerca 1.3 LP1 "Studi sul nuovo nucleare "

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 Ministero dello Sviluppo Economico – DGENRE									
	A.1: Supporto al Ministero dello Sviluppo Economico	Sett 2011	200	12	0	5	0	0	17
B - Partecipazione a comitati e gruppi di lavoro internazionali									
	B.1: Partecipazione generale a comitati e gruppi di lavoro internazionali	Sett 2011	600	36	0	53	0	15	104
	B.2: Collaborazione con Gruppo IAEA-NESA, per lo sviluppo di NESA Italy	Sett 2011	350	21	0	20	0	15	56
	B3: Applicazione delle principali metodologie PR&PP ai sistemi innovativi	Sett 2011	300	18	0	5	0	0	23
	B.4: Revisione stato dei reattori di piccola/media taglia, inclusi reattori trasportabili russi	Sett 2011	150	9	0	5	0	10	24
C - Partecipazione al Progetto Internazionale Halden Reactor Project									
	C.1: Riavvio partecipaz. italiana al progetto OECD-NEA Halden Reactor Project	Sett 2011	300	18	0	10	130	20	178
D - Studi per la sicurezza dei reattori in ambito Accordo ENEA-IRSN									
	D.1: Cooperazione con IRSN nel campo della sicurezza nucleare	Sett 2011	700	42	0	50	0	25	117
E - Studi di meccanica strutturale e relativa normativa tecnica in ambito Accordo ENEA-CEA									
	E.1: Sviluppo del codice strutturale della catena francese CAST3M	Sett 2011	200	12	0	6	0	0	18
	E.2: Verifica della validità del diagramma di "efficacità" in RCC-MRx	Sett 2011	200	12	0	5	0	10	27
	E.3: Life Extension: Studio degli effetti di un preriscaldamento su un Reactor Pressure Vessel	Sett 2011	200	12	0	5	0	0	17
F: Prosecuzione degli studi di scenario, valutazioni economiche									
	F.1: Studi di scenario, valutazioni economiche e partecipaz. Uranium-Group	Sett 2011	250	15	7	8	0	25	55
	F.2: Scenario parco di reattori di tipo LWR di generazione III e III+	Sett 2011	200	12	0	5	0	15	32
	F.3: Scenario globale/regionale con reattori di III+ e IV generazione	Sett 2011	200	12	0	5	0	15	32
TOTALE			3850	231	7	182	130	150	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

LP2 - LINEA PROGETTUALE 2: Reattori evolutivi

Le attività di questa linea sono la naturale continuazione di quelle sviluppate nei precedenti PAR e sono suddivise nei seguenti macro-obiettivi:

- A. Prova integrale SPES-3 per reattori modulari di piccola-media taglia: tale prova è finalizzata alla realizzazione e sperimentazione presso la SIET dell'impianto SPES-3, che simula il sistema primario, il sistema secondario e il sistema di contenimento di un SMR modulare ed integrato. Tale obiettivo si prefigge di studiare l'accoppiamento contenitore impianto durante un incidente di perdita di refrigerante (LOCA) e di validare i metodi di calcolo disponibili (codici integrati d'impianto);
- B. Sviluppo componenti critici per reattori modulari di piccola-media taglia: tale obiettivo è orientato sia alla verifica analitica e sperimentale dei componenti sia allo sviluppo e qualificazione di metodi di calcolo da utilizzare per la loro progettazione;
- C. Simulatore ingegneristico di reattori evolutivi LWR per studi correlati alla sicurezza: tale obiettivo è finalizzato alla progettazione, realizzazione, sviluppo di simulatori d'impianto di reattori LWRs evolutivi al fine di disporre di strumenti per scopi didattici e per l'addestramento di personale da destinare all'esercizio di impianti nucleari;
- D. Analisi di sistema: progettazione di sistemi per la prevenzione e mitigazione delle conseguenze di terremoti e degli eventi incidentali esterni, come l'impatto di un aereo sull'impianto;
- E. Validazione metodi di calcolo: tale obiettivo è finalizzato alla validazione dei codici di termoidraulica e neutronici stand-alone e/o accoppiati. Rientra in tale obiettivo anche la progettazione di campagne sperimentali e, se necessario, le relative modifiche impiantistiche e/o sezioni di prova.

A. Prova integrale SPES-3 per reattori modulari di piccola-media taglia

A.1: Verifiche analitiche a supporto del progetto: l'attività consiste nelle simulazioni di calcolo per l'analisi del comportamento a potenza ridotta dell'impianto SPES-3, nella valutazione delle potenzialità di tale impianto di simulare impianti di diversa taglia aventi lo stesso schema funzionale e lay-out impiantistico, e nella partecipazione alle "conference call".del gruppo internazionale di progettazione della prova integrale, che si terranno con cadenza mensile o bimensile.

A.2: Verifiche sperimentali a supporto della progettazione/realizzazione dei componenti SPES-3. L'attività consiste nella verifica sperimentale delle prestazioni delle canne scaldanti utilizzate sull'impianto SPES-3 per la simulazione del nocciolo di un reattore modulare di piccola/media taglia e per il funzionamento a potenza. Per tale verifica verrà utilizzato l'impianto realizzato nel secondo PAR presso l'area sperimentale della SIET.

A.3: Sviluppo strumentazione speciale. L'attività del secondo PAR ha permesso di mettere a punto modelli matematici per la misura della portata in condizioni di flusso bifase ed ha evidenziato che la strumentazione per la misura del grado di vuoto, sviluppata da organizzazioni di ricerca o disponibile sul mercato, non è idonea per le esigenze sperimentali dello SPES-3. L'attività di questa annualità sarà, quindi, orientata: 1) alla progettazione esecutiva, realizzazione e sviluppo di sonde per la misurazione del grado di vuoto; 2) alla verifica sperimentale di una catena di misura costituita da una turbina, da un "drag disk" e da una sonda per la misura del grado di vuoto.

A.4: Approvvigionamento componenti di alcuni sistemi dell'impianto SPES3 (contenimento, sistemi di sicurezza, sistema secondario, sistema di rimozione del calore di decadimento) e della sottostazione elettrica. L'attività consiste nell'approvvigionamento e montaggio del trasformatore della sottostazione elettrica e dei seguenti componenti dell'impianto SPES-3:

- Serbatoi: Dry-well, Quench tank, 2 PSS (Pressure Suppression System), Cavity, 2 LGMS (Long Term Gravity Make-up System), 2 EBT (Emergency Boration Tank)

- Scambiatori di calore: 3 condensatori EHRS (Emergency Heat Removal System)
- Piscine: 2 piscine RWST (Refuelling Water Storage Tank).

Risultati/Deliverable:

- LP2-A.1 Rapporto tecnico sulla valutazione del comportamento dell'impianto SPES-3
- LP2-A.2: Relazione tecnica sulla verifica sperimentale delle canne scaldanti
- LP2-A.3a: Rapporto tecnico sulla progettazione e sullo sviluppo delle sonde per la misurazione del grado di vuoto (SIET)
- LP2-A.3b Relazione tecnica sulle prove a freddo delle sonde per la misurazione del grado di vuoto e sulla verifica sperimentale della catena di misurazione, costituita da una turbina, un drag disk e della sonda sviluppata (CIRTEN)
- LP2-A.4 Set documentale relativo all'approvvigionamento dei componenti dell'impianto SPES3.

Principali collaborazioni: SIET, CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Sviluppo componenti critici per reattori modulari di piccola-media taglia

B.1: Prove su *downcomer*: l'attività consiste nell'esecuzione di una campagna di prove finalizzate allo studio della fluidodinamica del *downcomer* di un reattore modulare di media taglia al fine di ottimizzare le perdite di carico e la distribuzione della portata nel fondo del vessel. A tal fine verrà utilizzato il mock-up realizzato nel secondo PAR. L'attività ha una valenza superiore allo scopo per cui viene realizzata, in quanto consentirà di effettuare anche la validazione dei codici CFD commerciali.

B.2: Prove su Generatore di Vapore a tubi elicoidali: Nel precedente piano annuale di realizzazione è stata completata la progettazione di un impianto per l'investigazione di miscele bifase in tubi elicoidali di vari diametri di elica e per la valutazione di soluzioni alternative al generatore di vapore a tubi elicoidali. Inoltre è stato modificato il mock-up del generatore di vapore da singolo tubo prototipico a doppio tubo prototipico ed è stata completata una prima serie di prove finalizzata allo studio dell'instabilità del flusso. L'attività di questa annualità è finalizzata alla realizzazione parziale dell'impianto, progettato nel precedente PAR, e al completamento della campagna sperimentale sul generatore di vapore (doppio tubo prototipico) per l'identificazione dei campi di instabilità di funzionamento.

Risultati/Deliverable:

- LP2-B.1a Data Report su prove downcomer
- LP2-B.1b Rapporto tecnico sull'analisi dei risultati delle prove sul downcomer
- LP2-B.2a Relazione tecnica sull'approvvigionamento dei componenti dell'impianto per test su generatore di vapore
- LP2-B.2.b Rapporto tecnico sulla campagna sperimentale sul generatore di vapore prototipico

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Simulazione ingegneristica: sviluppo di un simulatore

L'attività è orientata:

C.1: alla definizione delle caratteristiche tecniche e funzionali di simulatori ingegneristici sulla base delle prestazioni e delle funzionalità dei prodotti offerti dai principali proponenti internazionali, degli

orientamenti internazionali (IAEA, NEA) e di elementi innovativi ritenuti desiderabili per i futuri impianti e simulatori nazionali;

C.2: all'acquisizione di simulatori semplificati utilizzabili su PC (in sinergia con la iniziativa IAEA in corso sull'uso di tali simulatori).

Risultato/Deliverable:

- LP2-C.1 Rapporto tecnico sulle caratteristiche funzionali e tecniche dei futuri simulatori ingegneristici
- LP2-C.2 Rapporto tecnico sulla implementazione ed utilizzo di simulatori semplificati 'desktop'

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

D. Analisi di sistema: Analisi eventi esterni

D.1: Analisi sismiche: l'attività del secondo PAR è stata finalizzata: a) alla definizione delle linee guida da utilizzare per la qualifica degli isolatori sismici; b) allo sviluppo di un approccio analitico/numerico capace di descrivere adeguatamente il comportamento di un isolatore anche in condizioni di funzionamento limite nella direzione orizzontale; c) alla verifica sperimentale delle caratteristiche meccaniche degli isolatori progettati nel primo PAR, caratterizzati da una frequenza di isolamento di 0,7 Hz per limitare lo spostamento orizzontale massimo a 0,15 m; d) alla valutazione, mediante un approccio deterministico e probabilistico, degli effetti della propagazione delle sollecitazioni dinamiche indotte da un sisma base di sicuro spegnimento, sulle principali strutture e componenti in presenza o no dell'isolamento sismico. L'attività di questa annualità è la continuazione dell'attività del PAR precedente. In particolare essa è orientata: a) alla progettazione dell'isolamento sismico con le reali caratteristiche degli isolatori ed all'analisi critica dei risultati sperimentali; b) alla valutazione, mediante un approccio deterministico e probabilistico, delle sollecitazioni dinamiche sulle principali strutture e componenti con riferimento alle caratteristiche reali degli isolatori.

D.2: Eventi esterni quali impatto di un aereo o di un tornado sul contenitore di sicurezza. L'analisi effettuata nel precedente PAR è stata eseguita con i metodi tradizionali, derivati dalla normativa. Nel presente PAR si vuole studiare l'effetto della deformabilità delle strutture e/o dell'aereo sul comportamento delle stesse, al fine di valutare i margini di sicurezza.

Risultato/Deliverable:

- LP2-D.1a Rapporto tecnico: Progettazione dell'isolamento sismico con riferimento ai risultati sperimentali (ENEA)
- LP2-D.1b Rapporto tecnico: Analisi dinamica dell'edificio reattore con caratteristiche reali degli isolatori con metodi probabilistici e deterministici (CIRTEN)
- LP2-D.2 Rapporto tecnico: Analisi dell'impatto aereo con metodi alternativi e valutazione dei margini di sicurezza.

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

E. Sviluppo e validazione codici di calcolo

E.1: Sviluppo e validazione dell'accoppiamento di un codice d'impianto con un codice di contenimento per l'analisi incidentale dei reattori modulari di tipo integrato. Grande enfasi viene data, a livello internazionale, allo sviluppo di modelli per la progettazione e la simulazione degli impianti nucleari. L'attività proposta consiste nell'analisi critica dei modelli implementati sui codici d'impianto e di contenimento e nello

sviluppo dell'accoppiamento tra un codice d'impianto e di un codice di contenimento, ritenuti i più idonei per la simulazione delle sequenze incidentali dei reattori modulari di piccola/media taglia. La validazione dell'accoppiamento sarà effettuata con riferimento a problematiche note e di semplice risoluzione.

E.2: Analisi a supporto del reattore sperimentale denominato Jules Horowitz Reactor (JHR). L'attività portata avanti nel precedente Piano Annuale di Realizzazione è stata focalizzata sulla valutazione delle potenzialità del reattore Jules Horowitz Reactor (JHR), in via di realizzazione presso il centro CEA di Cadarache. Le attività di questa annualità, che sono inquadrare nell'ambito dell'Accordo ENEA-CEA e che prevedono il distacco di personale ENEA presso il centro CEA di Cadarache, riguardano sia le simulazioni neutroniche e termoidrauliche relative ad alcuni canali sperimentali dello JHR, sia un *survey* dell'attività di progettazione/realizzazione /sperimentazione al fine di comprendere il possibile interesse di JHR per gli stakeholder industriali italiani.

E.3: Definizione di un programma sperimentale per lo studio di tematiche rilevanti per la sicurezza di reattori evolutivi di tipo LWR. L'attività è finalizzata alla definizione di un programma sperimentale da eseguire sulla facility sperimentale SPES di SIET per la validazione dei codici di termoidraulica d'impianto da utilizzare per le analisi di sicurezza di reattori evolutivi di tipo LWR.

Risultati/Deliverable:

- LP2-E.1a Rapporto tecnico sull'accoppiamento di un codice di calcolo d'impianto con uno di contenimento
- LP2-E.1b Validazione dell'accoppiamento dei codici accoppiati su casi test noti
- LP2-E.2 Relazione sulle simulazioni neutroniche e termoidrauliche riguardanti alcuni canali sperimentali del reattore Jules Horowitz Reactor
- LP2-E.3 Rapporto tecnico sul programma sperimentale e di validazione codici di calcolo per la sicurezza di reattori evolutivi LWR

Principali collaborazioni: CIRTEN, SIET

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

Attività di ricerca 1.3 - LP2 “Reattori evolutivi INTD”

Sigla	Denominazione obiettivi	Data di 2conseguimento	Ore di personale ENEA	SPESE (k€)					TOTALE
				Personale (a)	Attrezzature e strumentazioni (b)	Correnti (c)	Collaborazioni esterne (d)	Collaborazioni universitarie (e)	
A - Prova integrate SPES3 per reattori modulari di piccola taglia									
	A.1: Verifiche analitiche a supporto del progetto	Sett 2011	50	3	10	7	160	0	180
	A.2: Verifiche sperimentali a supporto della progettazione/realizzaz. dei componenti	Sett 2011	15	1	0	0	250	0	251
	A.3: Sviluppo strumentazione speciale	Sett 2011	35	2	0	5	270	60	337
	A.4: Approvvigionamento componenti di alcuni sistemi dell'impianto	Sett 2011	100	6	1700	5	400	0	2111
B - Sviluppo componenti critici per reattori modulari di piccola-media taglia									
	B.1: Prove downcorner	Sett 2011	30	2	0	0	0	100	102
	B.2: Prove GV a tubi elicoidali	Sett 2011	50	3	0	4	0	350	357
C - Simulatore ingegneristico di reattori evolutivi LWR per studi correlati alla sicurezza									
	C.1: Definizione delle caratteristiche funzionali e tecniche dei simulatori ingegneristici	Sett 2011	600	36	10	30	0	30	106
	C.2: Acquisizione ed utilizzo di simulatori semplificati 'desktop'	Sett 2011	500	30	15	30	0	15	90
D – Analisi di sistema									
	D.1: Analisi sismiche	Sett 2011	500	30	28	10	0	65	133
	D.2: Analisi dell'impatto di un aereo sul contenitore di sicurezza con metodi innovativi	Sett 2011	35	2	0	0	0	45	47
E - Sviluppo e validazione codici di calcolo									
	E.1: Sviluppo e validazione dell'accoppiamento di un codice d'impianto e di un codice di contenimento per l'analisi incidentale di reattori modulari	Sett 2011	35	2	0	0	0	65	67
	E.2: Analisi di calcolo a supporto del reattore sperimentale Jules Horowitz Reactor	Sett 2011	500	30	0	60	0	60	150
	E.3: Definizione di un programma sperimentale per lo studio di tematiche rilevanti per la sicurezza e validazione dei relativi strumenti di calcolo	Sett 2011	400	24	0	10	25	0	59
TOTALE			2850	171	1763	161	1105	790	3990

(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

A. Laboratorio per la termo-fluidodinamica dei metalli liquidi

L'attività consiste nella definizione, progettazione e avvio di implementazione di un laboratorio di misura di grandezze fisiche atte alla caratterizzazione termofluidodinamica dei metalli liquidi, presso il Centro ENEA del Brasimone. Il laboratorio, che avrà un ruolo trasversale sul supporto alle tecnologie dei sistemi LFR e SFR, sarà dotato di sensori intrusivi e non intrusivi per misure di velocità, temperatura di bulk, temperatura di parete, flussi termici, stabilità dei moti fluidi in sistemi di diversa geometria.

Nell'ambito dell'implementazione del laboratorio di termofluidodinamica sarà dato particolare rilievo all'investigazione analitico - sperimentale dell'interazione metallo liquido acqua in supporto alla caratterizzazione di generatori di vapore per sistemi LFR, in sinergia con progetti europei quali THINS (*Thermal-Hydraulics of Innovative Nuclear Systems*) e LEADER (*Lead-cooled European Advanced Demonstration Reactor*) del VII Programma Quadro Euratom, a cui l'ENEA partecipa attivamente. L'attività consisterà nella progettazione delle prove sperimentali di interazione tra leghe di piombo ed acqua in pressione, anche mediante modifiche ed aggiornamenti dell'impianto LIFUS 5 dell'ENEA Brasimone ed una definizione delle condizioni operative. In particolare è prevista:

- la progettazione e realizzazione di una nuova linea d'iniezione acqua con valvola pirotecnica;
- la progettazione e realizzazione di una nuova sezione di prova per la qualifica di un generatore di vapore a tubi a spirale piana;
- la progettazione e realizzazione di un nuovo sistema di acquisizione dati veloce e del sistema di controllo dell'impianto;
- l'acquisizione di nuova strumentazione (misuratore di portata ad ultrasuoni, strain gauge e termocoppie) e la taratura dei trasduttori di pressione piezoelettrici già presenti sull'impianto.

Risultati/Deliverable:

- LP3-A.1 Rapporto Tecnico: Definizione ed implementazione preliminare di un laboratorio per l'investigazione della termofluidodinamica dei metalli liquidi
- LP3-A.2 Rapporto Tecnico: Caratterizzazione sperimentale dell'interazione metallo liquido pesante - acqua e qualifica rottura generatore di vapore LFR

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Sviluppo tecnologie per sistemi LFR e SFR

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

In continuità con le azioni sviluppate nei precedenti Piani Annuali di Realizzazione, l'attività prevede:

B.1: la realizzazione, presso il Centro ENEA del Brasimone, di un circuito a metallo liquido per la qualifica sperimentale di una girante centrifuga (potenza trasmessa 90 kW) realizzata in MAXTHAL¹, individuato come materiale ad elevata resistenza alla corrosione/erosione per sistemi refrigerati a piombo;

B.2: l'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.

¹ La realizzazione di tale circuito sperimentale era già prevista nel precedente PAR2007 ma, a causa del costo della pompa centrifuga da testare ben superiore a quanto preventivato, è stato possibile effettuare solamente la progettazione del circuito. La realizzazione del circuito è dunque stata posticipata al presente PAR.

B.3: Per quanto concerne lo sviluppo dei sistemi LFR, e in sinergia con il progetto europeo LEADER sopra citato, l'attività prevede inoltre la progettazione e realizzazione di un *pin bundle* 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.

Per lo sviluppo delle tecnologie dei sistemi SFR, l'attività prevede:

B.4: la realizzazione di un prototipo di uno scambiatore di calore a sali fusi come fluido intermedio. In particolare sarà realizzata una sezione di prova simulante, in scala ridotta, che sarà installata sull'impianto PCS del Centro ENEA della Casaccia, con una potenza scambiata di 150 kW;

B.5: lo studio di fattibilità e la progettazione di un impianto al sodio per la caratterizzazione degli effetti dello shock termico su componenti meccanici dei sistemi SFR, in condizione di rapido transitorio operativo o incidentale. In particolare l'impianto sarà dedicato alla sperimentazione del fenomeno del *ratchetting* sui materiali strutturali del generatore di vapore, in sinergia con quanto previsto nel progetto europeo MATTER (*MATerial TEsting and Rules*) del FP7 Euratom, coordinato da ENEA.

Risultati/Deliverable:

- LP3-B.1: Rapporto Tecnico: Realizzazione circuito a metallo liquido per qualifica girante per pompa centrifuga realizzata con materiale ad elevata resistenza alla corrosione/erosione
- LP3-B.2: Rapporto Tecnico: Implementazione strumentazione sezione di prova e qualifica dello scambiatore prototipico DHR per sistemi LFR
- LP3-B.3: Rapporto Tecnico: Progettazione e realizzazione di un *pin bundle* per l'investigazione dello scambio termico in regime di convezione mista in sistemi LFR
- LP3-B.4: Rapporto Tecnico: Progettazione e realizzazione di uno scambiatore di calore prototipico per reattori refrigerati a sodio con circuito intermedio a sali fusi
- LP3-B.5: Rapporto Tecnico: studio di fattibilità per un impianto a sodio per shock termici e *ratchetting* sui materiali

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Sviluppo di materiali innovativi per sistemi di IV generazione

Nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo in supporto alla qualifica dei materiali strutturali per sistemi nucleari innovativi, saranno realizzate specifiche attività sperimentali per la caratterizzazione termo-meccanica dei materiali, anche mediante l'acquisizione di nuove attrezzature di laboratorio e la certificazione di quelle già esistenti. Le attività programmate, in supporto alla European Energy Research Alliance on Nuclear Materials (EERA), 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 e, in particolare, consistono in:

C.1: 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;

C.2: effettuazione di test su campioni non irraggiati con lo scopo di definire un database di confronto per la caratterizzazione degli effetti da danneggiamento neutronico sulle proprietà termo-meccaniche dei materiali strutturali. I test di riferimento sotto irraggiamento e in piombo saranno realizzati nell'ambito del progetto europeo GETMAT. In tale attività ENEA contribuisce, assieme ad SCK-CEN, alla realizzazione dell'esperimento LEXURII, utilizzando il reattore russo a spettro neutronico veloce BOR-60;

C.3: studio e sviluppo di materiali ceramici compositi per componenti di reattori nucleari a fissione di quarta generazione. Si prevede di studiare e sviluppare compositi ceramici a fibra lunga di tipo C/C e SiC/SiC. I campioni verranno prodotti tramite la tecnologia *chemical vapour infiltration* (CVI) e la tecnologia ibrida *chemical vapour infiltration + Polymer infiltration and Pyrolysis* (CVI+PIP); verranno valutate in seguito altre possibili tecniche per cercare di aumentare la densità del composito stesso;

C.4: caratterizzazione di materiali e componenti mediante tecniche di diffusione neutronica. In particolare verranno eseguite prove sperimentali per misure di diffusione neutronica ai piccoli angoli (SANS: small-angle neutron scattering) su acciai strutturali sottoposti ad invecchiamento termico e irraggiamento, e verranno determinate, mediante tecniche non distruttive di diffrazione neutronica, le tensioni residue in saldature. Le misure verranno condotte presso il reattore ad alto flusso dell'ILL- GRENOBLE, la più intensa sorgente neutronica attualmente disponibile;

C.5: ricognizione ad ampio spettro, individuazione e studio degli effetti strutturali caratteristici dei transitori termici in reattori di quarta generazione.

Risultati/Deliverable:

- LP3-C.1 Rapporto Tecnico: Implementazione laboratori per prove termo-meccaniche su materiali innovativi
- LP3-C.2 Rapporto Tecnico: Caratterizzazione fuori pila di materiali strutturali
- LP3-C.3 Rapporto tecnico: sviluppo di materiali ceramici compositi per componenti di reattori nucleari a fissione di quarta generazione
- LP3-C.4 Rapporto Tecnico: Caratterizzazione di materiali e componenti per il nucleare da fissione mediante tecniche neutroniche
- LP3-C.5 Rapporto Tecnico: Ricognizione ad ampio spettro, individuazione e studio degli effetti strutturali caratteristici dei transitori termici in reattori di quarta generazione

Principali collaborazioni: CIRTEN, FN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

D. Tecnologie chimiche per sistemi LFR e SFR nell'ambito dell'Accordo ENEA-CEA

L'attività consiste nell'implementazione di tecnologie chimiche in supporto allo sviluppo dei sistemi nucleari refrigerati a piombo e a sodio. In particolare l'attività prevede l'implementazione delle tecnologie e del know how dei metalli liquidi pesanti in supporto alla definizione del circuito secondario del prototipo di SFR di IV generazione denominato ASTRID, secondo quanto stabilito nell'ambito dell'Accordo ENEA-CEA. Le attività previste, portate avanti in collaborazione col CEA, hanno quindi come obiettivo:

D.1: lo sviluppo e la caratterizzazione di metodiche di *cleaning* per strutture operanti in metallo liquido pesante e gestione dei residui liquidi e solidi derivanti;

D.2: sviluppo e implementazione di sistemi gas-liquido e solido-liquido per il controllo attivo del tenore di ossigeno disciolto nei sistemi a metallo liquido. Implementazione di sistemi di filtrazione non meccanici (getter o filtri ad adsorbimento) per la rimozione delle precipitazioni di PbO;

D.3: sviluppo e caratterizzazione delle barriere alla permeazione del trizio (simulato con idrogeno) attraverso i materiali metallici. Analisi delle condizioni termodinamiche del trizio nel circuito primario e intermedio del reattore prototipico ASTRID (SFR europeo di IV generazione), al fini di stimare la pressione parziale in funzione della tipologia del fluido di processo e delle condizioni di esercizio. Selezione delle

barriere di permeazione più promettenti per tale applicazione mediante test di verifica sull'efficienza (valutazione *Permeation Reduction Factor*) delle barriere.

Risultati/Deliverable:

- LP3-D.1: Rapporto Tecnico: Metodiche di *cleaning* per componenti LFR/SFR
- LP3-D.2: Rapporto Tecnico: Controllo della chimica dei metalli liquidi
- LP3-D.3: Rapporto Tecnico: Sviluppo di barriere anti permeazione del Trizio

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

E. Sviluppo e validazione di modelli avanzati per la progettazione di reattori di IV generazione

L'attività 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 l'attività prevede:

E.1: Lo sviluppo e la validazione del codice di sistema CATHARE-2 nell'ambito dell'Accordo ENEA-CEA, con particolare riferimento all'applicazione di tale codice per le analisi di sistema e di sicurezza degli LFR. In particolare verranno effettuate analisi delle problematiche relative alla presenza di gas incondensabili (presenza di peli liberi e regime di circolazione assistita) sul sistema primario, e verranno implementati nel codice fluidi alternativi all'acqua per il circuito secondario. La validazione del codice procederà utilizzando dati sperimentali appropriati già disponibili dagli impianti ENEA del Brasimone (NACIE, CHEOPE, CIRCE) ed effettuando benchmark di calcolo con il codice di sistema RELAP5. In parallelo si provvederà all'introduzione di un modello avanzato di turbolenza nel codice di calcolo FEM-LCORE sviluppato da ENEA-UNIBO e indirizzato allo studio della termofluidodinamica del nocciolo "aperto". L'attività prevede inoltre la validazione del modello su dati sperimentali resi disponibili dalla passata partecipazione al progetto europeo EUROTRANS. L'effetto dell'introduzione del nuovo modello sui risultati del codice sarà valutato tramite confronto con quanto ottenuto con il modello di turbolenza standard k-ε attualmente implementato.

E.2: Il prosieguo delle attività relative alla neutronica e cinetica di noccioli a spettro neutronico veloce, con particolare riferimento all'accoppiamento dei moduli di calcolo neutronico multidimensionale con un codice di termoidraulica per noccioli raffreddati a piombo. Questo accoppiamento sarà applicato alla simulazione del comportamento dinamico del nocciolo di reattore veloce a piombo progettato nell'ambito di ELSY/LEADER a scopo di benchmarking con metodi di simulazione alternativi. Relativamente alla neutronica dei sistemi a spettro neutronico veloce e raffreddati a metallo liquido, proseguirà l'attività di sviluppo, validazione e benchmarking del codice ERANOS, nell'ambito del rinnovato accordo ENEA-CEA.

E.3: La continuazione delle attività relative alla concettualizzazione e progettazione del nocciolo del DEMO di un LFR. In particolare si realizzerà dapprima 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. Successivamente si procederà ad una revisione della caratterizzazione neutronica statica del nocciolo, ad una organizzazione generale del sistema e alla valutazione dell'efficacia delle barre di sicurezza, implementando nel progetto le correzioni necessarie a far fronte alle eventuali inadeguatezze del sistema emerse dalle sopraccitate analisi di transitorio. Il prodotto dell'attività sarà costituito dai risultati delle valutazioni di carattere dinamico del reattore in termini di risposta del nocciolo alle variazioni programmate o incidentali del carico (escursioni di temperatura delle diverse componenti del nocciolo);

E.4: La validazione del codice di sistema RELAP5 mediante i dati sperimentali ottenuti in una nuova campagna sperimentale sull'impianto HEFUS-3 del Centro ENEA del Brasimone. La campagna di prove sperimentali permetterà anche la caratterizzazione di HEFUS-3 per la realizzazione di test sperimentali e supporto allo sviluppo di componenti prototipici per applicazioni ad elevata temperatura. Nella fase sperimentale sarà implementata una nuova matrice di prova prevedendo test in regime transitorio di perdita di portata (LOFA), di perdita di refrigerante (LOCA) e transitori di potenza (TOP). A tale scopo verrà ulteriormente implementata la strumentazione di impianto.

Risultati/Deliverable:

- LP3-E.1a: Rapporto Tecnico: Sviluppo e validazione del codice di calcolo per la termoidraulica di sistema CATHARE-2 per reattori refrigerati a metallo liquido pesante
- LP3-E.1b: Rapporto Tecnico: Sviluppo e validazione del codice FEM-LCORE per la termo fluidodinamica di noccioli aperti
- LP3-E.2a: Rapporto Tecnico: Studi di dinamica di nocciolo per reattori LFR
- LP3-E.2b: Rapporto Tecnico: Stato dello sviluppo e della validazione del codice di neutronica ERANOS
- LP3-E.3: Rapporto Tecnico: Concettualizzazione del DEMO LFR
- LP3-E.4: Rapporto Tecnico: Validazione su base sperimentale del codice RELAP5 mediante campagna di prove sperimentali su impianto HEFUS-3

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

Attività di ricerca 1.3 - LP3 "Reattori di IV generazione "

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 - Laboratorio per la termofluidodinamica dei metalli liquidi										
	A.1: Definizione ed implementazione preliminare di un laboratorio per l'investigazione della termo fluidodinamica dei metalli liquidi	Sett 2011	350	21	90	10	0	0	121	
	A.2: Caratterizzazione sperimentale dell'interazione metallo liquido pesante - acqua e qualifica rottura generatore di vapore LFR	Sett 2011	350	21	110	15	0	40	186	
B - Sviluppo tecnologie per sistemi LFR e SFR										
	B.1: Realizzaz. circuito a metallo liquido per qualifica girante per pompa centrifuga	Sett 2011	400	24	140	30	0	40	234	
	B.2: Implementazione strumentazione sezione di prova e qualifica dello scambiatore prototipico DHR per sistemi LFR	Sett 2011	300	18	150	33	0	40	241	
	B.3: Progettazione e realizzazione di un pin bundle per l'investigazione dello scambio termico in regime di convezione mista in sistemi LFR	Sett 2011	400	24	140	15	0	40	219	
	B.4: Progettazione e realizzazione di uno scambiatore di calore prototipico per reattori refrigerati a sodio con circuito intermedio a sali fusi	Sett 2011	300	18	55	10	15	0	98	
	B.5: Progettazione e studio di fattibilità di impianto a sodio per shock termici e ratchetting sui materiali	Sett 2011	600	36	0	12	0	40	88	
C - Sviluppo materiali innovativi per sistemi di IV generazione										
	C.1: Implementazione laboratori per prove termo-meccaniche su materiali innovativi	Sett 2011	300	18	175	20	0	0	213	
	C.2: Caratterizzazione fuori pila di materiali strutturali	Sett 2011	300	18	0	10	0	10	38	
	C.3: Studio e sviluppo di materiali ceramici compositi per componenti di reattori nucleari a fissione di IV generazione	Sett 2011	30	2	0	0	90	0	92	
	C.4: Caratterizzazione di materiali e componenti per il nucleare da fissione mediante tecniche neutroniche	Sett 2011	170	10	0	13	30	10	63	
	C.5: Ricognizione ad ampio spettro, individuazione e studio degli effetti strutturali caratteristici dei transistori termici in reattori di quarta generazione	Sett 2011	300	18	0	0	0	30	48	
D - Tecnologie chimiche per sistemi LFR e SF R in ambito Accordo ENEA-CEA										
	D.1: Metodiche di cleaning per componenti LFR/SFR	Sett 2011	300	18	18	10	0	0	46	
	D.2: Controllo della chimica dei metalli liquidi	Sett 2011	250	15	23	10	0	0	48	
	D.3: Sviluppo di barriere anti permeazione del Trizio	Sett 2011	150	9	15	10	0	30	64	
E - Sviluppo e validazione di modelli avanzati per la progettazione di reattori di IV generazione										
	E.1: Sviluppo e validazione di codici di calcolo per la termoidraulica di sistema per reattori refrigerati a metallo liquido pesante	Sett 2011	450	27	0	20	0	50	97	
	E.2: Sviluppo e validazione modelli di calcolo per la neutronica e la cinetica di nocciolo LFR	Sett 2011	400	24	0	20	0	40	84	
	E.3: Concettualizzazione del DEMO LFR	Sett 2011	450	27	0	20	0	50	97	
	E.4: Validazione su base sperimentale del codice RE LAP 5 mediante campagna di prove sperimentali su impianto HE FUS-3	Sett 2011	300	18	30	5	0	0	53	
			TOTALE	6100	366	946	263	135	420	2130

LINEA PROGETTUALE 4: Rifiuti radioattivi

A. Strumenti di analisi sitologiche e fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati ad un deposito di tipo superficiale definitivo di rifiuti radioattivi

Le attività sono finalizzate al prosieguo delle analisi sitologiche ed allo studio dei fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati a un deposito di tipo superficiale. In particolare verrà finalizzato il lavoro di modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito superficiale di rifiuti radioattivi e lo sviluppo di una metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione ed operazione del deposito stesso. Proseguirà inoltre l'implementazione delle competenze con l'acquisizione, sviluppo e studio di strumenti computazionali e procedure di analisi di sicurezza, "performance assessment" e caratterizzazione di siti candidati per un deposito di rifiuti radioattivi e per le analisi di scenario.

Risultati/Deliverable:

- LP4-A.1 Rapporto/i sulla modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito di rifiuti radioattivi e metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione ed operazione del deposito stesso – Fase 3.
- LP4-A.2 Rapporto/i sulla acquisizione, sviluppo e studio di strumenti e procedure di analisi di sicurezza, performance assessment e caratterizzazione di siti candidati per un deposito di rifiuti radioattivi e per analisi di scenario.

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Aggiornamento e revisione critica dell'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi

Si prosegue l'aggiornamento e la revisione critica dell'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi, già sviluppato negli anni precedenti, soprattutto in termini di dati di caratterizzazione radiologica e di stima dei rifiuti provenienti dallo smantellamento degli impianti nucleari, sia quelli presenti sia quelli di futura realizzazione.

Risultato/Deliverable:

- LP4-B.1 Data base aggiornato su inventario nazionale rifiuti radioattivi

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Attività relative alla caratterizzazione dei rifiuti radioattivi

Le prime due annualità sono state indirizzate alla definizione particolareggiata dell'insieme integrato di infrastrutture, tecnologie e servizi necessari al sistema paese per la caratterizzazione dei rifiuti radioattivi, effettuando anche una progettazione preliminare dei necessari laboratori di misura e di un laboratorio di R&S, qualificazione e certificazione delle matrici di condizionamento. E' stato anche sviluppato un progetto particolareggiato di un prototipo di sistema integrato di caratterizzazione radiologica non distruttiva di tipici manufatti per rifiuti radioattivi, il cui scopo è di migliorare la discriminazione tra II e III categoria sulla base del contenuto in attinidi. La realizzazione di questo prototipo è costosa (alcuni milioni di euro) e viene rimandata a quando ci sarà disponibilità di fondi.

Scopo della terza annualità è l'avvio dello studio di alcuni temi specifici sulla caratterizzazione dei rifiuti radioattivi: radionuclidi di difficile rilevabilità, studio delle metodologie (nazionali e internazionali) utilizzate per la definizione degli "scaling factors" e dei relativi codici di calcolo; studio di tecniche di localizzazione del

materiale fissile all'interno delle matrici di contenimento tramite misure neutroniche passive; studio di rivelatori di neutroni alternativi ai contatori proporzionali a He3.

Risultati/Deliverable:

- LP4-C.1 Rapporto sullo studio delle metodologie di caratterizzazione radiologica per rifiuti contenenti radionuclidi di difficile rilevabilità.
- LP4-C.2 Rapporto sullo studio di tecniche di localizzazione del materiale fissile all'interno delle matrici di contenimento tramite misure neutroniche passive.
- LP4-C.3 Rapporto sullo studio di rivelatori di neutroni alternativi ai contatori proporzionali a He3.

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

D. Indagini conoscitive relative alle problematiche inerenti lo smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita

Sebbene lo smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi ad alta attività e a lunga vita non rientrasse inizialmente nell'oggetto della presente linea progettuale, fin dalla prima annualità si ritenne utile riassumere anche le attività svolte dall'ENEA in tale ambito, tra il 1976 ed il 1991. Con la prevista realizzazione di nuove centrali nucleari ed il successivo sviluppo della IV generazione ed in base ad un input specifico del Ministero dello Sviluppo Economico ricevuto dall'ENEA nel 2009, si ritiene opportuno che il nostro Paese ritorni ad occuparsi di tale tematica, almeno a livello di ricerca di sistema, in modo da poter sviluppare le competenze a supporto delle future decisioni in merito alla gestione dei rifiuti ad alta attività e lunga vita. La proposta è di sviluppare queste competenze partecipando attivamente alle principali iniziative in corso a livello europeo ed internazionale, in particolare quelle promosse da NEA, IAEA e Commissione Europea (ARIUS, ERDO, IGD-TP, ecc.) con approcci multidisciplinari (sviluppo modellistica per analisi di sicurezza, sicurezza di lungo termine dei nuovi cicli del combustibile, monitoraggio, analisi di scenario, ecc.).

Risultati/Deliverable:

- LP4-D.1 Rapporto/i sulla partecipazione ad iniziative europee ed internazionali nel campo dello smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita (ARIUS, ERDO, IGD-TP, NEA, IAEA)

Principali collaborazioni: CIRTEEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

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

Verranno avviati studi relativi alle tecniche più innovative per il trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita, con particolare riferimento a quelli attesi dai cicli del combustibile per i reattori di generazione III+ e IV (LFR/SFR).

L'attività prevede:

E.1: lo sviluppo di processi di separazione pirometallurgica lantanidi/attinidi, mediante prove a "freddo" di elettroaffinazione in sali fusi; progettazione e avvio della realizzazione di un impianto per prove di elettroaffinazione con uranio depleto;

E.2: lo sviluppo di matrici di condizionamento, sia cementizie sia vetrose/vetroceramiche, per i rifiuti radioattivi provenienti dai detti processi; per le matrici vetrose/vetroceramiche si procederà anche

all'individuazione delle fasi minerali derivanti dai processi di contenimento mediante analisi ai raggi X, spettrofotometria IR, e SEM-EDS.

Risultati/Deliverable:

- LP4-E.1 Rapporto tecnico sullo studio e sviluppo dei processi di pirometallurgia in sali fusi per combustibile esausto LFR/SFR
- LP4-E.2 Rapporto tecnico sullo sviluppo di matrici di condizionamento per rifiuti radioattivi provenienti dai processi pirometallurgici

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

Attività di ricerca 1.3 - LP4 “Rifiuti radioattivi “

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 -Strumenti di analisi sitologiche e fenomeni di trasporto dei radionuclidi associati ad un deposito di tipo superficiale definitivo di rifiuti									
	A.1: Modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive di un deposito di rifiuti radioattivi e metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione del deposito stesso –fase 3	Sett 2011	250	15	0	8	0	70	93
	A.2: Acquisizione, sviluppo e studio di strumenti e procedure di analisi di sicurezza, performance assessment e caratterizzazione di siti candidati per un deposito di rifiuti radioattivi e per analisi di scenario	Sett 2011	500	30	30	30	0	30	120
B -Aggiornamento e revisione critica dell'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi									
	B.1: Aggiornamento e manutenzione Data Base	Sett 2011	700	42	0	16	25	0	83
C - Attività relative alla caratterizzazione dei rifiuti radioattivi									
	C.1: Studio delle metodologie di caratterizzazione radiologica per rifiuti contenenti radionuclidi di difficile rilevabilità	Sett 2011	500	30	60	8	0	0	98
	C.2: Studio di tecniche di localizzazione del materiale fissile all'interno delle matrici di contenimento tramite misure neutroniche passive	Sett 2011	250	15	0	8	0	0	23
	C.3: Studio di rivelatori di neutroni alternativi ai contatori proporzionali a 3He	Sett 2011	250	15	30	8	0	0	53
D -Indagini conoscitive relative alle problematiche inerenti lo smaltimento geologico									
	D.1: Partecipazione ad iniziative europee ed internazionali (ARIUS, ERDO, IGD-TP, NEA, IAEA) nel campo dello smaltimento definitivo dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita	Sett 2011	800	48	0	70	0	20	138
E – Studio di tecniche innovative di trattamento, condizionamento e stoccaggio dei rifiuti radioattivi									
	E.1: Processi di pirometallurgia in sali fusi per trattamento combustib. esausto LFR/SFR	Sett 2011	250	15	30	15	0	0	60
	E.2: Sviluppo matrici di contenimento per combustibile esausto LFR/SFR	Sett 2011	200	12	30	20	0	40	102
TOTALE			3700	222	180	183	25	160	770

(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 5: Qualifica di componenti e sistemi

A. Sviluppo e validazione di strumenti di metodologia e di analisi

Nel suo ruolo di garante scientifico a supporto della strategia nazionale in materia nucleare, ENEA proseguirà nella messa a punto di metodologie e di strumenti di analisi e valutazione del funzionamento degli impianti nucleari evolutivi di tipo LWR e delle interazioni reciproche tra impianti e ambiente, con specifica attenzione agli aspetti ambientali ed alla sicurezza della popolazione e degli operatori.

A.1: Le piattaforme avanzate di calcolo utilizzate per queste analisi rappresentano anche un supporto indispensabile per la progettazione degli impianti sperimentali per la qualifica di sistemi e componenti nonché per la definizione delle relative prove sperimentali. Sarà necessario qualificare queste piattaforme di calcolo tramite adeguati programmi V&V (*Validation & Verification*) che si basano sul confronto dei risultati numerici con dati sperimentali (*code-to-data comparison*) o con risultati di strumenti di calcolo alternativi (*code-to-code benchmarking*). Nello sviluppo e qualificazione dei modelli e metodi di simulazione implementati un contributo rilevante viene dalle collaborazioni bilaterali, in particolare nell'ambito del recente accordo dell'ENEA con il CEA e con l'IRSN francesi e dell'accordo col DOE americano (programma CASL), nonché dalla partecipazione ai programmi delle organizzazioni internazionali (OECD/NEA, IAEA, Euratom, ecc.). Sarà infine indispensabile garantire che le piattaforme di calcolo siano gestite da utilizzatori qualificati tramite la partecipazione a corsi di training ed aggiornamento.

A.2: A supporto dello sviluppo e della validazione dei modelli di calcolo per la valutazione dell'evoluzioni incidentali e delle conseguenze, si prevede di realizzare un database con descrizione di sistemi e componenti relativi ad un PWR (Pressurizer Water Reactor) di tipo evolutivo da 1600 MWe, che sviluppa le caratteristiche degli impianti commerciali avanzati ma non è riferito ad alcuno di essi.

A.3: Studio e sviluppo critico di metodi di analisi delle incertezze nei processi di analisi del rischio. Tale studio mira ad identificare le sorgenti e tipologie di incertezza che entrano nelle diverse fasi delle analisi ed alla identificazione degli adeguati strumenti analitici per la loro rappresentazione e trattazione, al fine di poter associare la giusta confidenza ai risultati dell'analisi ed alle decisioni che da essi derivano.

Risultati/Deliverable:

- LP5-A.1 Rapporto sui modelli e le piattaforme avanzate di calcolo per le analisi incidentali e di sicurezza dei reattori nucleari evolutivi di tipo LWR
- LP5-A.2 Database per un PWR evolutivo da 1600 MWe
- LP5-A.3 Linee guida per le procedure di analisi dei rapporti di sicurezza di reattori evolutivi di tipo LWR

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Sviluppo impianti sperimentali

B1: Attività propedeutiche per la messa in opera di un impianto termoidraulico ad alta pressione per test su componenti e verifica sperimentale di modelli di simulazione degli stress termici. E' prevista la pianificazione e l'avvio delle azioni finalizzate a mettere in opera un impianto termoidraulico ad alta pressione presso il Centro ENEA della Casaccia adatto a prove su componenti (simulacri e/o in scala reale) per impianti nucleari di potenza. L'impianto verrà predisposto anche per riprodurre cicli termici a lungo periodo, sulla scorta dei risultati di simulazioni codicistiche, oggetto di altra attività di ricerca proposta nell'ambito del presente accordo di programma, relative agli effetti indotti sulle strutture da transitori termici legati ad eventi incidentali ovvero a fasi operative tipiche degli impianti nucleari. L'attività rappresenta anche un'opportunità per la ricostituzione di nuclei di competenza nel settore della

termoidraulica sperimentale ad alta pressione, in condizioni operative identiche a quelle degli attuali reattori nucleari commerciali.

B.2: Sviluppo di procedure sperimentali innovative per test di materiali per irraggiamento da neutroni. I reattori di ricerca TRIGA e TAPIRO sono tra i pochi impianti presenti sul territorio nazionale atti a sviluppare linee di attività indirizzate alla caratterizzazione, calibrazione e qualificazione di materiali per neutroni di diversa tipologia. Le procedure di test andranno sviluppate e validate per ciò che concerne la loro affidabilità e riproducibilità, con particolare riferimento alla calibrazione dei metodi di rivelazione. Le competenze presenti presso i reattori offrono la possibilità di effettuare irraggiamenti su materiali e la capacità di sviluppare tecnologie innovative, allo scopo di consolidare metodologie di prova e studiare procedure e rivelatori di tipo sperimentale: in tal senso, verranno sottoposti a test materiali che possano essere interessanti dal punto di vista dosimetrico così come componenti elettronici capaci di operare in ambiente ostile, aspetti importanti ma sensibili all'ambiente neutronico. L'attività, centrata sull'analisi delle caratteristiche di rivelatori innovativi, condurrà a definire le azioni necessarie per adeguare i reattori alla conduzione di sperimentazioni su rivelatori prototipici; si procederà quindi alla programmazione ed all'avvio delle prime azioni di adeguamento degli impianti.

Risultato/Deliverable:

- LP5-B.1 Progettazione adeguamento del sito di un impianto termoidraulico per test su componenti; Rapporto sulla programmazione degli interventi per l'operatività dell'impianto.
- LP5-B.2 Rapporto finale di attività inerente gli effetti di irraggiamento da neutroni su materiali. Relazione sulle azioni di adeguamento degli impianti TRIGA e TAPIRO per la messa a punto delle procedure identificate.

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Sviluppo di procedure e messa a punto di tecnologie innovative per test di componenti

C.1: Caratterizzazione di materiali ceramici compositi da impiegare in reattori nucleari di nuova generazione con qualifica dei metodi e delle apparecchiature impiegate. Saranno effettuate analisi fisico-strutturali per determinare le proprietà e le caratteristiche morfologico-strutturali dei componenti con particolare riferimento all'applicazione nucleare. Verranno poi realizzati, in accordo alle normative specifiche, provini da sottoporre a caratterizzazione meccanica. Sarà effettuata un'analisi statistica dei dati. Le metodologie di analisi e caratterizzazione saranno qualificate in base alle normative vigenti ed ai requisiti del settore nucleare. Tutto quanto sarà procedurizzato in accordo alle norme di garanzia della qualità conformemente alla normativa ISO 9001:2008.

C.2: Progettazione di una consolle di concezione avanzata per l'impianto di irraggiamento Calliope. L'attività proposta prevede la progettazione di una nuova consolle di comando dotata di una moderna architettura concettuale per l'impianto di irraggiamento gamma Calliope (energia media 1,25 MeV e attività massima consentita 100 kCi), unico in Italia e tra i pochi in Europa, L'impianto Calliope risponde a numerose richieste nazionali ed internazionali consentendo test di affidabilità e di resistenza a radiazione di sistemi e componenti. La facility Calliope è dotata di una consolle di comando di concezione tradizionale, che non consente operazioni di monitoraggio ed acquisizione a distanza; all'impianto in senso stretto sono infatti annessi un laboratorio di dosimetria e laboratori di caratterizzazione per test pre- e post-irraggiamento che potrebbero acquisire informazioni dell'andamento del test di irraggiamento anche on-line. Una nuova architettura concettuale della consolle può consentire pertanto lo sviluppo di nuove metodologie di test per la qualificazione di materiali e componenti, nel rispetto delle normative di riferimento nazionali ed internazionali.

Risultati/Deliverable:

- LP5-C1 Rapporto sulle procedure sviluppate per la caratterizzazione di componenti
- LP5-C2 Rapporto sulla progettazione di una consolle di concezione avanzata per l'impianto di irraggiamento Calliope

Principali collaborazioni: FN, CIRTEN

Durata: ottobre 2010 – settembre 2011

D. Normativa e sviluppo test di appoggio e qualificazione di tipo ambientale, meccanico ed elettromagnetico

Le norme di riferimento per la qualifica di componenti e sistemi per le filiere nucleari in Europa ed Usa prevedono quattro metodi generali per il processo di qualificazione, quali prove di tipo, esperienza di esercizio, metodo analitico, qualificazione combinata. Per ogni settore di prove di qualificazione, è possibile studiare nuovi approcci metodologici che consentano più elevati livelli di affidabilità dei sistemi in esame e, sotto certe condizioni, una riduzione dei costi di qualificazione. Verranno quindi svolte attività per l'ottimizzazione dei processi di qualificazione nucleare tramite lo studio e lo sviluppo di metodologie innovative di prova e di integrazione tra prove di tipo e metodo analitico per le qualifiche ambientali, meccaniche, sismiche ed elettromagnetiche di componenti e sistemi per le centrali nucleari.

Risultati/Deliverable:

- LP5- D.1 Rapporto sullo studio di metodologie innovative di prova e di integrazione tra prove di tipo e metodo analitico per le qualifiche ambientali, meccaniche, sismiche ed elettromagnetiche di componenti e sistemi per le centrali nucleari.

Principali collaborazioni: CIRTEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

Attività di ricerca 1.3 – LP5 “ Qualifica di sistemi e componenti”

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 strumenti di metodologia e di analisi									
	A.1: Modelli e piattaforme di calcolo per le analisi incidentali e di sicurezza	Sett 2011	1500	90	0	100	0	35	225
	A.2: Realizzazione di un database con descrizione di sistemi e componenti relativi ad un PWR di tipo evolutivo per sviluppo e validazione di modelli di calcolo per valutare scenari incidentali	Sett 2011	400	24	0	35	0	15	74
	A.3: Studio e sviluppo critico di metodi di analisi delle incertezze nei processi di analisi del rischio	Sett 2011	50	3	0	0	0	40	43
B - Sviluppo impianti sperimentali									
	B.1: Attività propedeutiche per la messa in funzione di un impianto termoidraulico ad alta pressione per pretest su simulacri di componenti	Sett 2011	1500	90	30	20	20	45	205
	B.2: Sviluppo di procedure sperimentali innovative per test di materiali per irraggiamento da neutroni	Sett 2011	1500	90	90	15	10	45	250
C - Sviluppo procedure e messa a punto di tecnologie innovative per test dei componenti									
	C.1: Caratterizzazione di materiali ceramici compositi da impiegare in reattori nucleari di nuova generazione con qualifica dei metodi e delle apparecchiature impiegate	Sett 2011	50	3	0	0	250	40	293
	C.2: Progettazione consolle di concezione avanzata per l'impianto di irraggiamento Calliope	Sett 2011	500	30	0	10	10	20	70
D - Normativa e sviluppo test di appoggio e qualificazione ambientale. meccanico ed EMC									
	D.1: Studio di metodologie innovative di prova e di integrazione tra prove di tipo e metodo analitico per le qualifiche ambientali, meccaniche, sismiche ed elettromagnetiche di componenti e sistemi per le centrali	Sett 2011	1500	90	110	10	0	40	250
TOTALE			7000	420	230	190	290	280	1410

(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

Per le varie linee progettuali del tema 1.3.1 - Nuovo nucleare da fissione 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.

Come ben noto, 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.

Anche per l'Italia si impone dunque un ripensamento del mix energetico e un progressivo ricorso alla fonte nucleare per la produzione di energia elettrica, con centrali ubicate sul territorio nazionale.

Peraltro, condizioni necessarie per il graduale rilancio dell'energia nucleare in Italia sono:

- Il rapido sviluppo delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie, anche attraverso la partecipazione diretta a grandi progetti di R&S;
- Il rinnesto dell'Italia nel contesto internazionale ed europeo in tema di energia nucleare e, in particolare, in iniziative e progetti internazionali di grande respiro;
- La 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.

L'insieme di queste capacità e competenze rappresenta il beneficio primario che il sistema della ricerca può apportare da subito al Paese, nella prospettiva avanzata dal governo di tornare a produrre energia elettroneucleare in Italia all'orizzonte del 2020.

Attività di ricerca 1.3 “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	Sett 2011	3850	231	7	182	130	150	700
LP2	Reattori evolutivi INTD	Sett 2011	2850	171	1763	161	1105	790	3990
LP3	Reattori di IV generazione	Sett 2011	6100	366	946	263	135	420	2130
LP4	Deposito rifiuti radioattivi	Sett 2011	3700	222	180	183	25	160	770
LP5	Qualifica di sistemi e componenti	Sett 2011	7000	420	230	190	290	280	1410
TOTALE			23500	1410	3126	979	1685	1800	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 340 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 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 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, la messa a punto delle tecnologie di generazione/cogenerazione (soprattutto nel caso delle celle a combustibile) 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 attività sperimentali su impianti di taglia reale ed in parte l'avvio di nuove attività sperimentali scala laboratorio.

In particolare, verrà affrontato il tema della produzione di biometano da immettere nella rete, potenziando le attività in corso sull'ottimizzazione dei processi di digestione anaerobica e 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, al fine di raggiungere il grado di qualità richiesto dalla rete.

L'ottimizzazione dei sistemi di produzione di biogas verrà perseguita attraverso lo studio e lo sviluppo di 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, sia miscele promettenti quali ad esempio residui da raccolta differenziata miscelati con colture energetiche particolari (ad es. topinambur, pianta che può essere coltivata su terreni inquinati quali tipicamente quelli delle discariche e di altre zone a forte utilizzo zootecnico e agro industriale, come valle del Sacco e valle del Volturno). Verrà infine valutato il problema dello smaltimento del digestato, in relazione al contenuto di composti azotati dello stesso, e saranno studiate possibili soluzioni per la riduzione di tali composti.

Per l'integrazione della DA con sistemi di depurazione del biogas e di abbattimento della CO₂,

proseguiranno, da un lato, gli studi sul clean up iniziati nel secondo anno dell'AdP 2006-2009, con la messa a punto di nuovi materiali sia per processi di semplice assorbimento che per quelli di conversione chimica (catalizzatori strutturati), dall'altro lato 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 esplorato 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.

Lo sviluppo di sistemi di generazione di piccola taglia proseguirà con attività relative alla messa a punto delle tecnologie di generazione/cogenerazione (soprattutto nel caso delle celle a combustibile) e all'integrazione tra i due sottosistemi, quello di produzione e purificazione del gas e quello di valorizzazione energetica. In particolare si procederà all'esercizio di un impianto di gassificazione di biomasse accoppiato con sistema a celle a combustibile a carbonati fusi (MCFC) e verrà proseguita l'attività di laboratorio di sviluppo e testing di nuovi materiali nell'ottica di rendere le MCFC più resistenti ai contaminanti nonché più affidabili e meno costose.

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, sia per il suo impiego diretto sia per poterlo immettere in rete sia per utilizzarlo in sistemi cogenerativi ad alta efficienza quali le celle a combustibile.

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: la loro trasformazione in energia tramuta un costo (lo smaltimento) in un possibile guadagno (la vendita e/o lo sfruttamento diretto dell'energia ricavata);
- 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 co-digestione 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: attualmente siamo in un intervallo che va dal 50-55 % al 60-65%. L'obiettivo è arrivare al 75 %.

La presenza di contaminanti, in particolare dei composti dello zolfo, è critica sia per l'inserimento in rete che per l'utilizzo in sistemi di generazione. 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 evitare del tutto, in alcuni casi, la fase di clean up, o almeno renderla semplice, efficace ed efficiente con il minimo sforzo. 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. Queste ultime sembrano essere molto promettenti. Diverse Università e laboratori di ricerca sono attivi in questo campo.

Anche la valorizzazione energetica del biogas in impianti di tipo sia convenzionale che innovativo ha visto in quest'ultimo decennio molte applicazioni reali e molte attività dedicate all'ottimizzazione di tali impianti. Nella sola Germania, anche grazie ad un sistema di incentivazione tariffaria, sono in esercizio 3000-4000 sistemi cogenerativi basati principalmente su biogas da co-digestori anaerobici per un totale di 2-4 GW di potenza installata. Il sistema Italia, come detto, è leggermente più complesso per cui c'è ancora la necessità di ottimizzare i sistemi per migliorarne l'accettabilità e le potenzialità.

In questa ottica le celle a combustibile possono rappresentare, nel medio-lungo termine, una delle tecnologie avanzate più promettenti per l'applicazione in questo campo grazie al loro basso impatto ambientale e agli elevati rendimenti di conversione anche per impianti di piccola taglia. Allo sviluppo di questi sistemi sono dedicate risorse ingenti nei maggiori paesi industrializzati (USA, Corea, Giappone, Germania) dove sono stati realizzati numerosi sistemi alimentati con biogas con risultati molto promettenti. Il loro pieno sviluppo richiede però ancora un significativo sforzo di ricerca e dimostrazione, per raggiungere prestazioni e costi compatibili con le applicazioni commerciali. L'Italia ha una presenza importante in questo settore, sia a livello di ricerca e sviluppo che a livello industriale (Ansaldo Fuel Cells per le celle a carbonati fusi, SOFC POWER per le celle ad ossidi solidi).

L'ENEA opera da tempo in tutti i campi menzionati nei punti precedenti ed ha prodotto risultati promettenti nell'ambito dei primi due anni dell'Accordo di Programma per il triennio 2006-2008.

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 (paglia) per la produzione di bioetanolo, dallo studio della digestione anaerobica alla co-digestione, 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 (es. Marsciano).

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 le celle a combustibile, sia direttamente che attraverso società controllate come FN, l'ENEA è attiva sul piano della ricerca, intervenendo su alcuni aspetti critici dello sviluppo delle diverse tecnologie, ed ha rapporti di collaborazione consolidati con altre strutture di ricerca e con l'industria all'interno di progetti nazionali ed europei per lo sviluppo e la messa a punto dei sistemi.

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, che sono una tecnologia ancora non sufficientemente matura e che necessita, al pari della DA, di un aggiustamento verso il basso della taglia minima.

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. Di nuovo la sfida da affrontare è la riduzione di taglia (anche di qualche ordine di grandezza rispetto all'impiego industriale) senza perdere in efficienza e

minimizzando il costo di trattamento. È per questa ragione che si stanno esplorando nuove frontiere: nuovi materiali assorbenti e/o nuovi catalizzatori per l'abbattimento dei contaminati, 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, infine, i sistemi di cogenerazione con celle a combustibile essi sono giunti ad un buon livello di sviluppo sia per quanto riguarda i sistemi con celle ad elettrolita polimerico (taglie dal kW a qualche centinaio di kW) alimentati con GPL, gas naturale e idrogeno come combustibili sia per quanto riguarda i sistemi con celle ad alta temperatura (celle a carbonati fusi, da qualche centinaio di kW ad alcuni MW, e celle ad ossidi solidi, da qualche kW ad alcuni MW), alimentati con gas naturale e gas da biomasse o rifiuti di varia origine come combustibili. L'avvio dell'introduzione nel mercato, ormai in corso in paesi come Germania, USA, Giappone, Corea con l'installazione di alcune decine di MW di impianti, dovrebbe consentire nel breve termine la disponibilità di sistemi sempre più affidabili e competitivi.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo finale è quello di contribuire, nei 3 anni di durata complessiva del programma, alla messa a punto di sistemi di valorizzazione energetica dei rifiuti 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 pre-commerciali nei quali poter impiegare tale biogas, o syngas da gassificazione delle biomasse, in maniera ottimale per produrre elettricità e calore.

Un ulteriore obiettivo è quello di fornire alla PA il supporto necessario per la definizione di una road map nazionale nel settore e per una partecipazione più efficace alle collaborazioni internazionali.

Le attività in questo campo sono iniziate nel primo triennio, con un graduale spostamento dell'attenzione sull'utilizzo di gas derivanti da biomasse o rifiuti, in linea con le indicazioni del nuovo Piano Triennale 2009-2011 della Ricerca di Sistema.

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;
- sviluppare processi e sistemi per l'arricchimento in metano del biogas (fuel upgrading) e per la purificazione dello stesso (fuel clean up), al fine di ottenere la composizione richiesta dalla rete (tra l'altro, anidride carbonica inferiore al 3% e zolfo totale inferiore a 150 mg/Sm³);
- 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 alimentati con biogas e la sperimentazione in scala reale di sistemi gassificazione di biomasse/celle a combustibile.

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 rifiuti urbani, residui agro-alimentari, deiezioni animali, colture energetiche, ecc.), ottimizzati in termini di resa in percentuale di metano nel biogas e di limitazione dei contaminati,
- Studio di processi di digestione anaerobica innovativi in grado di utilizzare biomasse ligno-cellulosiche;

- Realizzazione di un impianto pilota in scala significativa sia per prove di laboratorio in continuo sia per eventuali prove sul campo a supporto della progettazione di impianti reali.

Sviluppo di sistemi di abbattimento dei contaminanti

- 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 ad inficiare l'intero processo di DA), sia sul gas prodotto (inserendo opportuni batteri, eventualmente selezionati e potenziati ad hoc, nella parte superiore del digestore e facendo avvenire una digestione aerobica dei composti dello zolfo);
- 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;
- Valutazione dei problemi connessi con lo smaltimento del digestato e studio di possibili soluzioni per la riduzione del contenuto di composti azotati nello stesso.

Sviluppo di sistemi per la separazione della CO₂ dal biogas

- Analisi dello stato dell'arte delle tecnologie impiegate industrialmente e di quelle in corso di studio e di messa a punto per la separazione della CO₂ dal biogas (fuel upgrading), con particolare riferimento all'utilizzo delle membrane, sia polimeriche che ceramiche, e individuazione delle linee di sviluppo più promettenti;
- 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 di un processo 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 sistemi cogenerativi alimentati da biogas o gassificazione delle biomasse

- Analisi tecnico-economiche per la individuazione dei sistemi più promettenti nelle diverse applicazioni;
- Sviluppo e sperimentazione di componenti innovativi per celle a combustibile, prodotti con processi più economici e a minor impatto ambientale e/o in grado di resistere meglio agli inquinanti contenuti nei gas di alimentazione;
- Realizzazione e sperimentazione di un sistema della potenza di 1 kW, basato su celle a combustibile alimentate con biogas;
- Sperimentazione di un impianto da 125 kW, costituito da un sistema integrato gassificazione di biomasse/celle a combustibile.

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 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. Successivamente sono stati validati i risultati ottenuti in un processo semicontinuo scala banco ed è stato avviato lo studio per la messa a punto di processi co-digestivi di miscele delle due biomasse di cui sopra, per arrivare anche in questo caso a rese in metano di non meno del 75% e a livelli di contaminanti di circa 50 ppm. È stata anche avviata la progettazione di alcune delle operazioni unitarie (DA e Clean up) di un sistema integrato "Waste to Energy".

Per quanto concerne il clean up, sulla base di un'approfondita analisi dello stato dell'arte, sono stati individuati i processi di assorbimento e di adsorbimento più promettenti e su quelli si stanno conducendo campagne sperimentali di valutazione delle prestazioni in termini di capacità di abbattimento, tempi di saturazione, modalità e tempi di rigenerazione.

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. Sulla base di tali risultati si sta valutando la possibilità di impiegare processi di formatura analoghi per la produzione degli elettrodi.

La sperimentazione condotta su monocelle a carbonati fusi in regime di “avvelenamento controllato” ha permesso di avere dati significativi sui meccanismi di avvelenamento da parte dei composti solforati, sulle procedure di ripristino, sulle caratteristiche della struttura di un nuovo anodo potenzialmente più tollerante allo zolfo stesso. Sono stati prodotti i primi campioni di anodi modificati e sono in corso le valutazioni chimico fisiche ed elettrochimiche.

Per quanto concerne la sperimentazione di celle a carbonati fusi in accoppiamento con gassificatori di biomasse, da un lato è stata effettuata l’analisi dei sistemi di clean up del syngas prodotto valutando le alternative disponibili, sia a freddo che a caldo, ed individuando quelle più adatte per l’accoppiamento con celle a carbonati fusi, dall’altro si sta procedendo alla realizzazione di quanto necessario per collegare uno stack di celle al sistema di gassificazione.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL’ANNUALITÀ 2008-09

A. Ottimizzazione della produzione di biogas attraverso processi fermentativi e sviluppo di un prototipo da laboratorio

A.1 Ottimizzazione di processi di co-digestione

Proseguendo le attività dei primi due anni, verranno considerate diverse possibili miscele organiche da residui e/o da colture energetiche quali: FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani), deiezioni animali, glicerolo, rifiuti agro-alimentari, topinambur, con lo scopo di validare in scala significativa i risultati ottenuti e di estenderli a processi di co-digestione considerando nuove possibili miscele organiche. In particolare si opererà su tre fronti: composizione ottimale dei substrati, dinamica delle comunità fermentative e separazione delle fasi fermentative. Questo approccio oltre a mirare ad un’impiantistica innovativa, consente di fare la sperimentazione della composizione dei substrati in tempi più brevi, in quanto la risposta del test in fase acidogenica è significativa per il successo della fase metanogenica ed è di breve durata. I risultati ottenuti verranno utilizzati per realizzare un prototipo di taglia significativa per il successivo scale up.

A.2 Studio dei processi di DA innovativi per la digestione di biomasse ligno-cellulosiche

Questa attività potrebbe avere risvolti molto interessanti perché, in caso di successo, consentirebbe di ampliare enormemente la gamma dei residui digeribili, rendendo possibile la valorizzazione energetica delle biomasse ligno-cellulosiche con un processo, la digestione anaerobica, ingegneristicamente più semplice e potenzialmente più economico di quello di gassificazione. E’ noto che in natura l’idrolisi più efficiente avviene in ambiente aerobico e/o microaerofilo ad opera di microfunghi, ma di recente si stanno identificando molti microrganismi procarioti anaerobi in possesso di efficaci attività idrolitiche. Le attività necessarie al raggiungimento di questo obiettivo saranno pertanto mirate all’esplorazione della capacità (qualitativa) di microrganismi anaerobi, provenienti da prelievi mirati ed acquistati presso ceppoteche nazionali ed estere, di idrolizzare cellulosa e lignina. Sui migliori ceppi selezionati si procederà ad una caratterizzazione quantitativa verso la cellulosa ed i suoi derivati.

Risultati/deliverable:

- Processo ottimizzato scala banco in continuo per miscele di deiezioni animali con FORSU;
- identificazione dei principali parametri di esercizio di nuovi processi fermentativi basati su miscele diverse da quella precedente;
- dati sulla fattibilità di processi di DA di biomasse ligno-cellulosiche.
- Realizzazione di un prototipo in grado di produrre biogas per alimentare un sistema basato su celle a combustibile di potenza (0,5 – 1 kW) significativa per il successivo scale up.

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

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Ottimizzazione dei processi di abbattimento degli inquinanti dal biogas e di trattamento del digestato

Il problema della purificazione del biogas, già oggetto di sperimentazione nel corso dei primi due anni, verrà approfondito ulteriormente sia valutando la possibilità di diminuire o inibire la formazione degli inquinanti nella fase fermentativa che sviluppando sistemi per abbattere gli inquinanti stessi all'uscita del DA con sistemi chimico fisici. Inoltre verrà fatta una valutazione dei possibili metodi di gestione o trattamento del digestato, in relazione al contenuto di composti azotati dello stesso.

B.1 Analisi dei sistemi di abbattimento degli inquinanti nel DA

Saranno studiati sistemi di abbattimento sia attraverso l'aggiunta di agenti che fanno precipitare lo zolfo in fase solida senza influenzare i processi fermentativi, che attraverso analisi, sperimentazione e ottimizzazione di sistemi innovativi di clean up biologici del metano da DA. Gli impianti di DA già esistenti sfruttano processi microbici noti (chemiosintesi in ambiente aerobico) per l'abbattimento di gran parte degli inquinanti del biogas. Questa linea si propone di esplorare un processo meno noto che è quello della fotosintesi anossigenica che ha in natura un importante ruolo nell'abbattimento dei solfuri che si producono in ambienti lacustri per cause naturali o antropiche. L'attività sarà quindi particolarmente indirizzata alla sperimentazione di laboratorio di questo processo per valutarne la capacità di cattura e la fattibilità tecnologica in relazione alle quantità di inquinanti gassosi normalmente presenti in un flusso di biogas di impianti industriali.

B.2 Sperimentazione di materiali per il clean up del biogas a valle del DA in condizioni operative simulate e realizzazione di un prototipo.

L'attività consisterà nell'investigare il comportamento dei materiali già individuati in precedenza per la purificazione dei composti solforati, ed eventualmente di altri materiali, in presenza anche della CO₂ e degli altri inquinanti tipici del biogas. In particolare sarà necessario verificare gli effetti "competitivi" della CO₂ verso l'H₂S, e la selettività dei diversi materiali verso uno o più componenti. In funzione dei risultati ottenuti si giungerà alla definizione di un sistema di clean-up composto da uno o più stadi di abbattimento, per il quale si procederà alla realizzazione di un prototipo scala banco della taglia necessaria per alimentare un sistema da 1 kW.

B.3 Analisi dei problemi connessi con la gestione del digestato e con la riduzione della componente azotata dello stesso

L'applicazione della direttiva comunitaria sui nitrati limita la possibilità di un uso agronomico del digestato derivante da impianti di trattamento di reflui zootecnici e pone quindi dei vincoli alla diffusione di questi impianti di valorizzazione energetica dei reflui stessi. Nell'ambito della presente attività verrà fatta una analisi dei possibili metodi per la riduzione del contenuto di composti azotati nel digestato e verrà avviato lo studio di soluzioni innovative per effettuare tale riduzione.

Risultati/deliverable:

- Valutazione della fattibilità tecnologica di processi di purificazione innovativi di tipo biologico;
- individuazione di materiali/processi per sistemi di purificazione chimico fisici e realizzazione di un prototipo scala banco per un sistema da 1 kW;
- valutazione di possibili soluzioni per la riduzione della componente azotata nel digestato.

Principali collaborazioni: Università Salerno, Università di Napoli, FN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Sviluppo di processi e sistemi per l'arricchimento in metano di biogas, al fine di ottenere la composizione richiesta dalla rete

L'immissione del biometano in rete richiede che lo stesso, oltre a subire processi per la riduzione degli inquinanti, abbia un contenuto di CO₂ inferiore al 3%. E' quindi necessario procedere alla separazione della CO₂, che può raggiungere nel biogas composizioni dell'ordine del 35-40%.

C.1 Analisi dello stato dell'arte dei processi di rimozione della CO₂ da biogas

Verrà fatta una analisi tecnica ed economica dei sistemi per la separazione della CO₂ dal biogas, sia quelli attualmente impiegati, che quelli in via di sviluppo, al fine di acquisire un quadro completo che consenta, da un lato, di fornire chiare indicazioni ai potenziali soggetti interessati, dall'altro di individuare le aree critiche e le linee di sviluppo più promettenti per il superamento delle stesse. Le diverse tecnologie verranno valutate con riferimento alla convenienza della loro applicabilità alle taglie degli impianti a biogas disponibili o realizzabili in Italia ed alle portate in gioco negli stessi. Particolare attenzione sarà dedicata all'analisi delle prospettive di sviluppo e applicazione dei sistemi utilizzando membrane, sia polimeriche che ceramiche, che appaiono particolarmente interessanti per l'impiego nella filtrazione e purificazione di biogas ottenuto da biomasse.

C.2 Individuazione dei materiali e dei processi produttivi più idonei per lo sviluppo di membrane ceramiche

Sulla base dei risultati ottenuti nell'ambito dell'obiettivo precedente e dei test e caratterizzazioni dei prodotti eventualmente disponibili, sarà possibile individuare i materiali e i processi di produzione più promettenti e/o valutare l'ipotesi di svilupparne di alternativi, anche sfruttando le competenze maturate in ambiti paralleli da FN, consociata ENEA. Trattandosi di componenti di spessore e porosità controllati, in prima ipotesi, potranno essere presi in considerazione i processi di colatura su nastro e di estrusione piana. Quest'ultimo, in particolare, a parità di qualità del prodotto finito, consente di ottenere una maggiore produttività e quindi un abbassamento dei costi; inoltre, risulta più eco-compatibile in quanto non impiega solventi. L'attività consisterà quindi nell'effettuare una prima sperimentazione al fine di valutare la fattibilità e giungere alla realizzazione di una campionatura di componenti microporosi da sottoporre a caratterizzazione presso i laboratori ENEA in un circuito di prova banco realizzato ad hoc.

C.3 Sviluppo di un processo in membrane polimeriche per la purificazione del biogas da CO₂ e H₂S

In questa attività saranno testate membrane polimeriche commerciali di sweetening per la separazione della CO₂ e H₂S dal biogas; in particolare saranno valutate le migliori condizioni di processo per l'ottimizzazione delle performance al fine di ottenere biogas con tenore di CO₂ inferiore al 3% ed impurezze acide inferiori ai 150 ppm. A tal fine sono previste le fasi seguenti:

- progettazione di un impianto in scala laboratorio per la sperimentazione del processo di separazione dell'anidride carbonica dal biogas;
- prove su membrane polimeriche al fine di individuare le migliori condizioni di processo che consentono l'ottenimento del metano di qualità idonea all'immissione nella rete di distribuzione (pressione di processo, composizione del biogas, temperatura di esercizio);
- valutazione delle implementazioni impiantistiche necessarie per il miglioramento delle prestazioni di impianto mediante sistemi a ricircolo.

Risultati/deliverable:

- Rapporto sullo stato dell'arte delle tecnologie di rimozione della CO₂, sia disponibili che in sviluppo;
- Analisi materiali e tecnologie di produzione membrane ceramiche e avvio di un processo di sviluppo delle stesse.
- Realizzazione stazioni di prova per caratterizzazione membrane di separazione.
- Definizione della configurazione e dei parametri ottimali di funzionamento di un sistema di separazione a membrane polimeriche e individuazione dei possibili miglioramenti impiantistici.

Principali collaborazioni: Università della Calabria, Università di Genova, Università di Bologna, FN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

D. Sistemi di generazione/cogenerazione a biogas o syngas da biomasse: analisi delle tecnologie per specifiche applicazioni; sviluppo di componenti di celle a combustibile ad alta temperatura a minor costo e resistenti agli inquinanti

D.1 Analisi dei sistemi

A partire dalle informazioni derivanti dall'Atlante delle biomasse e dai modelli dei diversi sistemi di generazione a biogas/syngas messi a punto negli anni precedenti, verrà valutata, per alcune situazioni particolarmente promettenti, l'applicabilità delle diverse tecnologie, individuando le soluzioni migliori da un punto di vista tecnico-economico e ambientale.

D.2 Implementazione del processo di formatura in plastico per la realizzazione di elettrodi per celle a combustibile a carbonati fusi alimentate da gas da biomasse o rifiuti, con fabbricazione di campionature significative da sottoporre a caratterizzazione

Sulla base dei risultati ottenuti nella sperimentazione condotta nel secondo anno dell'Accordo di Programma 2006-2009, in cui sono stati sviluppati su scala laboratorio i processi di formatura in plastico di anodi e catodi per celle a combustibile a carbonati fusi, verrà condotta un'implementazione degli stessi processi, meno costosi e a minor impatto ambientale di quelli attualmente utilizzati, al fine di giungere alla realizzazione di campionature significative degli elettrodi. Tali componenti di geometria opportuna, una volta ottimizzati, saranno sottoposti a caratterizzazione fisico - chimico - strutturale e meccanica presso ENEA ed FN, nonché a test elettrochimici presso ENEA.

D.3 Sviluppo di anodi per MCFC più resistenti agli inquinanti e prove in cella

Sulla base dei risultati finora ottenuti con la realizzazione di anodi di piccole dimensioni rivestiti con composti in grado di fissare lo zolfo e con le prime prove in cella degli stessi, verrà migliorato il processo di preparazione e si procederà alla verifica delle prestazioni in monocella degli anodi prodotti, al fine di valutare le potenzialità della soluzione individuata e la scalabilità del processo di preparazione.

Risultati/deliverable:

- Individuazione delle soluzioni impiantistiche per generazione/cogenerazione da biogas/syngas in situazioni particolarmente promettenti;
- Verifica dell'applicabilità del processo di fabbricazione in plastico agli elettrodi delle MCFC;
- Messa a punto del processo per la preparazione di anodi più resistenti agli inquinanti.

Principali collaborazioni: Università di Genova, Politecnico di Torino, Università di Roma "La Sapienza", Università di Roma Tor Vergata, Università di Napoli, FN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

E. Sperimentazione di un sistema da 125 kW gassificatore di biomasse/celle a combustibile

Verrà completato, presso il Centro della Trisaia, l'accoppiamento tra un impianto di gassificazione di biomasse e uno stack di celle a carbonati fusi da 125 kW e sarà avviata la sperimentazione del sistema integrato.

La prima fase dell'attività sarà dedicata alle simulazioni numeriche delle performance di cella al variare della qualità del syngas (regolata modificando i parametri di processo) e della pressione di funzionamento dello stack, condotte mediante utilizzo di software commerciali; in particolare verrà valutato il

comportamento della cella al variare del carico anodico proveniente dal gassificatore sia in condizioni stazionarie, mediante software Chemcad, sia nei transitori di cella mediante Fluent.

I risultati conseguiti dalle simulazioni consentiranno di tracciare le linee guida per la seconda fase dell'attività, relativa alla sperimentazioni in campo, che sarà realizzata in due step:

- alimentazione della cella a combustibile con diverse miscele di gas tecnici valutando il comportamento di cella al variare del carico applicato alla stessa e della composizione anodica (idrogeno, biossido di carbonio, azoto, vapore) in assetto cogenerativo CHP per produrre energia elettrica e calore;
- alimentazione della cella a combustibile in accoppiamento diretto con l'impianto di gassificazione a letto fluido valutando il comportamento di cella al variare delle condizioni di processo del gassificatore (carico biomasse, temperatura di gassificazione, temperatura di combustione, rapporto di alimentazione vapore/biomasse).

Risultati/deliverable:

- Impianto integrato gassificatore/cella completo ed operativo.
- Risultati delle simulazioni numeriche con analisi delle performance di cella in diverse condizioni di carico e di processo.
- Primi risultati della sperimentazione, sia con gas simulati che con gas proveniente dal gassificatore.

Principali collaborazioni: Università di L'Aquila

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

F. 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.

La diffusione dei risultati delle attività svolte dall'ENEA e dai suoi partner verrà attuata utilizzando strumenti diversi, come:

- documentazione e filmati divulgativi,
- pubblicazioni e presentazioni a convegni (come ad es. Biogas Expo e Solarexpo),
- workshop ad hoc e visite ai laboratori,
- inserimento sul sito ENEA della documentazione e dei rapporti tecnici prodotti.

ENEA svolgerà inoltre 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 (come la International Partnership for Hydrogen Economy, IPHE, promossa dall'US DOE). Proseguiranno inoltre le attività connesse con la presenza dell'ENEA nel Raggruppamento della Ricerca (N.ERGHY) della JTI europea su Celle a Combustibile e Idrogeno e nell'ambito degli Implementing Agreement dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) riguardanti le stesse tematiche ed, in particolare, quelli su "Bioenergy", "Advanced Fuel Cells" e "Hydrogen".

Risultati/deliverable:

- Diffusione dei risultati ai soggetti potenzialmente interessati e disponibilità della documentazione necessaria.
- partecipazione a riunioni e gruppi di lavoro nell'ambito dell'IPHE; partecipazione agli Implementing Agreements IEA, con scambio di informazioni sui programmi internazionali nel settore e studi e analisi su temi di comune interesse.

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

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 generazione/cogenerazione distribuiti che mediante la produzione di biogas adatto ad essere immesso nella rete di distribuzione.

Attività di ricerca 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 della produzione di biogas attraverso processi fermentativi e sviluppo di un prototipo da laboratorio	Sett 2011	1500	90	30	10	0	80	210
B	Ottimizzazione dei processi di abbattimento degli inquinanti dal biogas e di trattamento del digestato	Sett 2011	1400	84	40	10	50	80	264
C	Sviluppo di processi e sistemi per l'arricchimento in metano di biogas, al fine di ottenere la composizione richiesta dalla rete	Sett 2011	2200	132	100	30	150	100	512
D	Sistemi di generazione/cogenerazione a biogas o syngas da biomasse: analisi delle tecnologie per specifiche applicazioni; sviluppo di componenti di celle a combustibile ad alta temperatura a minor costo e resistenti agli inquinanti	Sett 2011	1900	114	30	20	300	140	604
E	Sperimentazione di un sistema da 125 kW gassificatore di biomasse/celle a combustibile	Sett 2011	1800	108	250	20	0	20	398
F	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	1115	67	0	45	0	0	112
TOTALE			9915	595	450	135	500	420	2100

(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 500 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'attività punta ad innovare alcune delle attuali tecnologie fotovoltaiche per ottenere dei prodotti che abbiano caratteristiche competitive in termini di prestazioni e costi. L'abbassamento dei costi di fabbricazione dei moduli fotovoltaici a valori inferiori a 1 €/Wp è condizione necessaria affinché questa tecnologia possa affermarsi anche con incentivi molto ridotti e, in prospettiva, senza incentivi. Il fotovoltaico potrà, così, contribuire in misura sostanziale alla quota di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, secondo quanto previsto dal Piano di azione nazionale, elaborato dal Ministero dello Sviluppo Economico, a seguito della direttiva 2009/28/CE, che punta al raggiungimento di 8500MWp di potenza fotovoltaica installata per il 2020.

L'obiettivo di riduzione dei costi può essere raggiunto nel breve-medio termine attraverso il miglioramento 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 in silicio amorfo e microcristallino, la cui validità a livello industriale è ampiamente dimostrata, presentano la necessità di trovare 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 policristallini in film sottile 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 Cu₂-II-IV-VI₄ presenta un range 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 altissima 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 saranno completate durante la prossima annualità con il miglioramento delle efficienze dei dispositivi e con la definizione conclusiva di una roadmap che valuti le potenzialità in termini di prestazioni e di riduzioni dei costi della tecnologia associata.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

I film sottili, che al momento ricoprono una quota del mercato fotovoltaico abbastanza contenuta (~14%), sono considerati uno degli approcci più promettenti per una sostanziale riduzione dei costi per Watt nel breve-medio termine (fino a valori inferiori a 1 €/Wp). Impiegano, infatti, substrati a basso costo (vetro, metallo, plastica) insieme a quantità minime di materiale semiconduttore con una superiore capacità di assorbimento della radiazione solare rispetto al silicio cristallino. Si prestano a produzioni su larga scala, in cui il modulo, anche di grandi dimensioni (fino ad oltre 5 m²), è ottenuto 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 anche in contesti particolari come centri storici, aree monumentali e di pregio.

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.

Al miglioramento e agli ulteriori sviluppi delle tecnologie più innovative in questo campo sono dedicate risorse ingenti nei maggiori paesi industrializzati, in particolare USA, Germania e Giappone, 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, a parte l'annuncio di qualche sporadica iniziativa industriale, si registra un forte 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 pluriennale esperienza nella ricerca su materiali fotovoltaici a film sottile con studi volti al miglioramento delle prestazioni dei dispositivi, nonché all'individuazione di regimi di deposizione favorevoli per l'applicazione industriale. Le celle di tipo "micromorph" realizzate in ENEA hanno una struttura a doppia giunzione di tipo pin/pin con una cella posteriore di silicio microcristallino e una frontale di silicio amorfo. Queste sono depositate su substrati di vetro con la tecnica Very High Frequency - Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (VHF-PECVD), che permette elevate velocità di deposizione con conseguente riduzione dei tempi di lavorazione e quindi dei costi associati.

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 sulla 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. Per tale tipo di dispositivo è stata ottenuta una efficienza iniziale record su piccola area (1 cm²) di 13.3%, mentre valori alquanto inferiori sono riportati per le prestazioni stabilizzate (11.1%). Le efficienze piuttosto basse misurate sui dispositivi stabilizzati sono dovute principalmente agli elevati spessori richiesti per gli strati

assorbitori. 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. Naturalmente i moduli commerciali, caratterizzati da aree dell'ordine del m^2 , presentano prestazioni molto inferiori rispetto a quelle di laboratorio. In tal caso le efficienze variano nell'intervallo 6% - 9% a seconda della complessità della struttura del dispositivo.

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 $CuIn_{(1-x)}Ga_xSe_2$ 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 $\$/W$ 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 (Cu_2ZnSnS_4) con la struttura cristallografica della Kesterite che ha dato per ora una efficienza massima pari al 6,77%. Usando un materiale con una gap minore ottenuto sostituendo parte dello zolfo con il selenio [$Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ 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 polimeriche il valore di efficienza più alto raggiunto, con materiali commerciali, è del 5% su area di circa 1 cm^2 ed è stato ottenuto utilizzando una miscela di poli(3-esiltiophene) come assorbitore di luce e donatore di elettroni e il PCBM, un derivato del fullerene C60 come accettore di elettroni. Utilizzando altri polimeri, brevettati e non commerciali, sono state raggiunte anche efficienze superiori al 7% su aree molto inferiori al cm^2 . I dispositivi attuali mostrano una buona stabilità termica ($T<150^\circ C$) ma risultano ancora sensibili all'aria e all'umidità, pertanto vengono preparati ed incapsulati in atmosfera di azoto (glove box). I dati riportati in letteratura circa le efficienze di conversione e le stabilità di questi dispositivi e i miglioramenti che si stanno ottenendo, rendono questa tecnologia promettente per possibili applicazioni in settori particolari del mercato.

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 di III generazione 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 di celle tandem micromorfe con strati riflettori intermedi e posteriori a base di film di ossido di silicio;
- Valutazione di nuove architetture che prevedano materiali alternativi per migliorare dal punto di vista ottico le prestazioni dei dispositivi;
- Sviluppo di strati assorbitori alternativi basati su concetti emergenti e innovativi per utilizzo nelle celle tandem;
- Sviluppo di moduli prototipali su substrati di vetro con elettrodo frontale a base di ZnO, ed efficienza superiore al 9%.

Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici o ibridi

- Completamento della messa a punto di tecnologie e processi per la realizzazione di celle a base polimerica in atmosfera controllata con efficienze non inferiori al 4%;
- Definizione conclusiva 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.

Nella scorsa annualità nei laboratori ENEA sono stati sviluppati dispositivi tandem micromorfi con efficienze maggiori dell'11% e si è lavorato all'ottimizzazione di film di ZnO da utilizzare come contatto frontale nelle celle solari. Le attività in corso sono finalizzate allo studio di materiali che possano essere utilizzati come strati riflettori intermedi. Sono state indagate le potenzialità di due materiali il nitruro e l'ossido di silicio. Quest'ultimo è risultato essere il candidato migliore in termini di proprietà elettriche e ottiche. Attualmente si stanno eseguendo i primi esperimenti in cui strati di ossido di silicio vengono inseriti nei dispositivi tandem. Dalle prime prove appare la necessità di eseguire una nuova ottimizzazione di alcuni degli strati utilizzati per la fabbricazione del dispositivo. Inoltre i film di ossido di silicio drogati n hanno mostrato interessanti applicazioni anche come strati alternativi nelle celle p-i-n. Per quanto riguarda le apparecchiature, è stato acquisito e installato un simulatore solare a doppia sorgente che consente di eseguire con maggiore cura le misure I-V sui dispositivi tandem che sono particolarmente sensibili alla distribuzione spettrale. Inoltre è in fase di implementazione il laboratorio del laser scribing dove sono state acquisite una nuova sorgente laser per il taglio del silicio e dei metalli e le tavole di movimentazione per eseguire con maggiore accuratezza i tagli sui substrati.

E' in fase di acquisizione una attrezzatura per effettuare i test previsti dalla norma EN 61646 sui moduli a film sottili al fine di verificarne le prestazioni a basso irraggiamento, l'esposizione prolungata alla luce (Light-soaking) e la prova ai surriscaldamenti localizzati. I primi due costituiscono fattori fondamentali per una corretta valutazione della producibilità dei moduli a film sottile tandem micromorfi.

Per quanto concerne le attività sullo studio di materiali nanostrutturati da utilizzare come strati assorbitori innovativi, è stato avviato lo studio di film di nitruro di silicio a varia stechiometria depositati con tecnica PECVD. Sono stati studiati dei regimi di crescita che potessero consentire una separazione di fase con formazione di nanostrutture di silicio. Per favorire tale separazione sono stati inoltre eseguiti dei trattamenti termici, ottenendo una completa separazione di fase con formazione di dot cristallini alle più alte temperature utilizzate (1100 °C).

Nel campo delle celle polimeriche all'inizio dell'attività relativa al presente accordo, l'ENEA aveva sviluppato dispositivi, operando completamente all'aria, utilizzando una miscela composta da un derivato del politiofene e un derivato del fullerene con un'efficienza dell'1.3% su area di circa 1 cm². Nel corso di questa annualità tale risultato è stato migliorato, integrando alcuni passi di processo in glove box e quindi operando sotto un'atmosfera inerte. Il valore di efficienza ottenuto è del 2.9%. E' stato anche messo a punto un modello ottico per la progettazione dei dispositivi che consente di ottimizzare lo spessore dello strato attivo. In collaborazione con i partner universitari coinvolti, sono anche in fase di realizzazione dispositivi realizzati con nuovi materiali polimerici e ibridi. Si sta, inoltre, provvedendo ad allestire una linea sperimentale per la realizzazione di dispositivi polimerici completamente in atmosfera controllata.

Per quanto riguarda le attività incentrate sullo sviluppo delle tecniche di deposizione del semiconduttore quaternario $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, sono in fase di allestimento le attrezzature sperimentali necessarie al progetto. E' stato acquisito 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. E' stato, inoltre, parzialmente 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. Sono iniziate le deposizioni di film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ che vengono sistematicamente caratterizzati dal punto di vista ottico, elettrico, composizionale e strutturale. I film cresciuti finora hanno un'ottima omogeneità e le misure di diffrazione X non evidenziano fasi spurie oltre a quella voluta. La gap ottica è quella corretta e le misure di scattering Raman confermano la formazione di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. Tuttavia la mobilità dei portatori è ancora molto bassa. Dall'analisi SEM ciò sembra dovuto alle ridotte dimensioni dei grani e ad una insufficiente compattezza del materiale. La qualità di questi film è in via di miglioramento e si conta di ottenere entro la fine di questa annualità materiali adeguati alla realizzazione di celle fotovoltaiche.

Nell'ambito delle varie attività sono state avviate proficue collaborazioni con alcune Università che hanno consentito di arricchire gli studi attuali, dando la possibilità di accedere a tecnologie e competenze non presenti all'interno dell'ENEA.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

A. Sviluppo e realizzazione di strati assorbitori alternativi e innovativi per celle tandem di silicio

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 ($\mu\text{c-Si:H}$). Tali strati presentano tuttavia delle limitazioni legate alle loro caratteristiche. Il degrado del silicio amorfo con l'illuminazione, ad esempio, determina la necessità di ridurre gli spessori utilizzati con una conseguente limitazione della corrente potenziale ottenibile dalla cella top. La possibilità di sostituire il silicio amorfo con materiali a base di quantum dot di silicio verrà indagata, partendo dai risultati ottenuti nella prima 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. Accanto allo studio di film di nitruro di silicio contenenti nanostrutture di silicio, si testerà la possibilità di crescere QDs di Si in matrice di carburo di silicio, col duplice scopo di investigare la possibilità di ridurre la barriera del materiale dielettrico mediante la riduzione della gap di energia e la possibilità di trovare dei regimi di deposizione che consentano la formazione di nanostrutture in situ. Oltre alla caratterizzazione di tipo strutturale, verranno investigati, principalmente, conducibilità elettrica, assorbimento ottico e fotoluminescenza. L'obiettivo è quello di realizzare quantum dot in condizioni di elevato impacchettamento con gap energetiche variabili in principio da 1.5 a 3 eV, e in particolare intorno al valore ottimale di 1.7-1.8 eV, dimostrando in questo modo l'idoneità di questi materiali all'utilizzo come strati assorbitori in dispositivi fotovoltaici innovativi. La realizzazione di un'opportuna giunzione p-i-n per questo nuovo strato assorbitore intrinseco sarà il successivo banco di prova in vista di un futuro inserimento nella strutture tandem micromorfe.

Per quanto riguarda la cella bottom microcristallina, il principale limite del $\mu\text{c-Si:H}$ è la necessità di crescere spessori di almeno 2 μm , con conseguente aumento dei tempi di fabbricazione dei dispositivi e dei costi associati. Dal punto di vista industriale sarebbe particolarmente utile ridurre gli spessori dell'attuale cella posteriore, conservando per essa un'adeguata capacità di assorbimento della componente infrarossa della radiazione solare. A tale scopo si potrebbero utilizzare film di silicio germanio microcristallino come materiale assorbitore nella cella bottom, in quanto tale materiale presenta un maggiore assorbimento nell'infrarosso rispetto al silicio microcristallino a parità di spessore. Per depositare film di silicio germanio, si rende necessaria un'implementazione del sistema di deposizione per la crescita mediante tecnica VHF PECVD con l'aggiunta di una linea di gas per il GeH_4 . Saranno cresciuti film microcristallini di silicio germanio e si valuteranno le proprietà ottiche, elettriche e strutturali di tali materiali al fine di trovare le condizioni ottimali per l'utilizzo nel dispositivo. Verranno fabbricate singole giunzioni p-i-n con lo scopo di valutare l'influenza delle proprietà dello strato assorbitore sul dispositivo nell'ottica di un successivo inserimento nelle celle tandem.

Risultato/Deliverable:

- Studio di diverse metodologie per la realizzazione di film nanostrutturati di silicio in matrice di carburo/nitrato di silicio attraverso processi di deposizione a bassa temperatura seguiti da eventuali trattamenti termici.
- Implementazione dei banchi di caratterizzazione per la misure ottiche di piccoli assorbimenti.
- Deposizione di film di $\mu\text{c-SiGe:H}$ e valutazione delle proprietà strutturali, elettriche e ottiche di campioni a vario contenuto di germanio. Primi test di fabbricazione di dispositivi.

Principali collaborazioni: Istituto di Fisica di Praga, IMT Neuchatel

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

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. Tale approccio consente infatti di aumentare l'efficienza di conversione e ha, dal punto di vista industriale, il vantaggio di poter fabbricare dispositivi con spessori ridotti. Nell'ambito delle attività volte al miglioramento delle prestazioni dei dispositivi attraverso accorgimenti ottici si propone lo studio e la sperimentazione di stati riflettori intermedi e posteriori realizzati con singoli strati di materiali o con multistrati opportunamente progettati.

Per migliorare le prestazioni della cella tandem micromorfa in termini di stabilità è necessario mantenere sottile lo strato attivo della cella top amorfa. Una riduzione dello spessore comporterebbe, però, un limitato assorbimento della radiazione solare da parte di tale componente e, in conseguenza, una limitazione alla corrente del dispositivo. L'introduzione di uno strato riflettore intermedio posto tra le due celle componenti consente di aumentare il cammino ottico della radiazione all'interno della cella top e quindi di sfruttare le potenzialità in termini di correnti elevate della cella microcristallina. Tale strato deve essere trasparente in modo da consentire alla radiazione di raggiungere la cella bottom, sufficientemente conduttivo per non bloccare le cariche che devono ricombinarsi nella giunzione tunnel n/p e ad indice di rifrazione di circa 2 per agire come strato riflettore. Durante la prima annualità, film drogati di ossido di silicio hanno mostrato caratteristiche idonee all'utilizzo come strati intermedi e come strati drogati alternativi a quelli comunemente fabbricati per la realizzazione dei dispositivi in varie configurazioni. Dal lavoro svolto nella scorsa annualità è stato evidenziato, tuttavia, che per un proficuo utilizzo dei film di ossido di silicio come strati riflettori intermedi è necessario ottimizzare la giunzione tunnel n/p all'interno della quale viene applicato tale strato. In particolare risulta necessario migliorare le proprietà elettriche degli strati drogati in modo tale da minimizzare i valori di resistenza serie dei dispositivi.

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 prima annualità, verranno continuati al fine di ottimizzarne il loro utilizzo all'interno del dispositivo.

Si lavorerà inoltre alla progettazione di nuove architetture che prevedano materiali alternativi a singolo strato o multistrato per migliorare dal punto di vista ottico le prestazioni dei dispositivi, anche mediante l'utilizzo di opportuni programmi di simulazioni.

Verranno studiati e sviluppati elettrodi frontali trasparenti e conduttivi con innovative geometrie di superficie, caratterizzate da texturing altamente efficace in termini di miglioramento del confinamento ottico della radiazione all'interno del dispositivo. In particolare, saranno sviluppati strati di TCO a base di ossido di zinco (ZnO), depositati con tecnica CVD, caratterizzati da "doppia testurizzazione" (da singolo microcristallo e da aggregato di microcristalli) di tipo periodico che può agire da diffusore ottico all'interno del dispositivo ed incrementare l'intrappolamento di luce nella regione NIR dello spettro. Per l'ottenimento di tali TCO innovativi saranno esplorate sia tecniche di nano-strutturazione del substrato (vetro e/o

polimero) quali la fotolitografia sia tecniche del tipo plasma quali la Reactive Ion Etching (RIE). TCO con geometrie di superficie ad hoc quali quelle sopra descritte, migliorando consistentemente la risposta spettrale del dispositivo nella regione "rossa", possono consentire un'apprezzabile riduzione dello strato attivo della cella bottom del dispositivo micromorfo.

Nell'ottica di una riduzione dei costi di fabbricazione di celle solari a film sottile verrà inoltre avviato uno studio di fattibilità per lo sviluppo di ossidi trasparenti e conduttivi (TCO) di basso costo utilizzando processi del tipo sol-gel depositati mediante dipping o spin-coating. Questi metodi hanno molteplici vantaggi: basso costo di apparecchiature e precursori, utilizzano processi a bassa temperatura, consentono un facile controllo dei componenti chimici, buona omogeneità spaziale del deposito anche su larga area e su substrati di qualsiasi forma. Si esplorerà la possibilità di realizzare ossidi binari e/o ternari a base di ZnO, SnO₂ ecc., testando varie tipologie di drogante.

Risultato/Deliverable:

- Realizzazione di celle micromorfe con strati assorbitori più sottili di quelli attuali ed efficienze iniziali paragonabili alle correnti (circa 11%). Valutazione dei miglioramenti in termini di stabilità di tali dispositivi. Rapporto tecnico, comprensivo di analisi costi-benefici del trasferimento su linea di produzione.
- Fabbricazione di mini moduli sui substrati che utilizzino elettrodi frontali di ZnO caratterizzati da efficace intrappolamento della radiazione con efficienze di almeno il 9%.
- Rapporto tecnico sulla fattibilità di TCO mediante processi a basso costo basati su tecniche sol-gel.
- Rapporto tecnico sulle potenzialità di miglioramento delle prestazioni dei dispositivi grazie all'utilizzo di 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 della Calabria, Università "Federico II" di Napoli.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

C. Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerico

L'attività sulle celle organiche polimeriche ha lo scopo di migliorare le efficienze di conversione raggiunte in precedenza, soprattutto sfruttando a pieno le potenzialità del laboratorio in corso di allestimento (che permetterebbe di svolgere tutta la catena di fabbricazione in un'atmosfera con contenuto di ossigeno e umidità inferiore ad 1ppm).

Attualmente i dispositivi realizzati nei nostri laboratori hanno raggiunto efficienze interessanti (circa il 3%) ma possono essere ancora migliorati in particolare abbassando la resistenza serie ed innalzando il fill factor. Inoltre è opportuno provvedere all'incapsulamento del dispositivo per prevenire il degrado durante la fase di misura delle prestazioni.

Pertanto gli sforzi saranno concentrati sui seguenti punti che riguardano il miglioramento delle prestazioni, l'incapsulamento del dispositivo e il testing di nuovi materiali.

Per migliorare la resistenza serie dei dispositivi (e quindi le prestazioni fotovoltaiche) si cercherà di migliorare l'interfaccia tra gli elettrodi della struttura e la miscela polimero-fullerene. In particolare sarà rivolta attenzione sia al contatto frontale (ITO/PEDOT:PSS) sia al contatto posteriore (Alluminio). Per quanto riguarda il contatto frontale, saranno sperimentati trattamenti superficiali dell'ITO per diminuire le asperità e migliorare l'interfaccia. In particolare si prevede di applicare sia trattamenti wet (a base di acidi e/o raggi UV) sia dry (plasma di Ossigeno) che in genere sono utilizzati in letteratura per migliorare la superficie dell'ITO in dispositivi OLED ed in celle organiche. Per quanto riguarda il contatto posteriore, si studierà l'effetto di layer conduttori (Calcio) o dielettrici (LiF) che consentano un accoppiamento elettrico più favorevole con il blend polimerico. Pertanto, utilizzando il nuovo evaporatore integrato nella glove box

in corso di installazione, si metteranno a punto le ricette per la deposizione di LiF e di Ca. Successivamente saranno realizzati dispositivi con tali layer e sarà studiato l'impatto sulla caratteristica IV sotto luce.

Si lavorerà anche su nuove architetture di celle. In particolare si realizzeranno prototipi a struttura "inversa" (cioè celle polimeriche dove l'ITO funge da elettrodo negativo e il contatto metallico da elettrodo positivo, l'opposto di ciò che si verifica in configurazione normale). Tale architettura è molto interessante perché, con opportune varianti, risulta essere più stabile al degrado. Sarà anche studiata la possibilità di realizzare celle in configurazione tandem, cioè accoppiando due blend polimerici con range di assorbimento diverso.

In primo luogo, è opportuno disporre di un apparato che possa misurare le performance del dispositivo appena realizzato (e prima dell'incapsulamento) già all'interno della glove box, per verificare le massime potenzialità e per escludere problemi dovuti alla fase successiva di incapsulamento. Quindi è necessario implementare un sistema di misura IV-light (tramite fibra ad alta efficienza).

Parallelamente è anche opportuno a mettere a punto soluzioni che consentano l'incapsulamento del dispositivo per poterne testare le performance e la stabilità all'esterno della glove box.

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 e/o fullereni non disponibili in commercio o di nuova sintesi.

Saranno altresì esplorate le potenzialità di tecnologie a basso costo per la realizzazione di dispositivi fotovoltaici includenti strati organici.

Infine, sarà studiato il degrado dei dispositivi per avere indicazioni sul comportamento in condizioni operative.

Risultato/Deliverable:

- Realizzazione di celle fotovoltaiche polimeriche con efficienze di conversione di almeno il 4%. Valutazione della stabilità di tali dispositivi.
- Rapporto tecnico sul processo di realizzazione di tali celle comprendente i miglioramenti apportati per innalzare le efficienze, e definizione di una roadmap per il miglioramento di prestazioni e costi della tecnologia.

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (Dipartimento di Chimica), Università degli studi di Trieste, Università di Salerno.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

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

Appena avviato l'impianto di sputtering si inizierà a produrre le celle solari. Bisognerà a tal fine mettere a punto i processi di deposizione per sputtering dei contatti (molibdeno e ZnO drogato) e del buffer layer (inizialmente CdS per Chemical Bath Deposition).

Le celle verranno caratterizzate tramite le tecniche standard già presenti in ENEA: curve I-V al buio e sotto illuminazione standard AM1.5, caratteristiche capacità-tensione (C-V), impedance spectroscopy, ecc.

A queste caratterizzazioni sui dispositivi verranno affiancate delle caratterizzazioni sul materiale in parte effettuate dentro l'ENEA ed in parte affidate a contratti con unità esterne (FN S.p.A., Università di Roma "Sapienza", Università di Trento) relative a XRD, EDS, fotoluminescenza e Raman e DSC.

Basandosi sui risultati di queste caratterizzazioni si inizieranno ad affrontare i problemi fondamentali di questa tecnologia:

- effetto delle tecniche di solforizzazione sulla formazione di fasi spurie. Alcune fasi spurie potrebbero essere più tollerabili di altre a causa di un allineamento di bande favorevole. Si cercherà di investigare questo punto anche ricorrendo a simulazioni ab-initio per la determinazione della struttura a bande dei vari composti;

- studio dei buffer layer alternativi al CdS e delle varie tecniche disponibili per la loro deposizione [In_2Se_3 per evaporazione, ZnMgO per sputtering, Zn(S,O) per chemical bath deposition];
- ruolo del sodio e formazione del back contact ohmico con il molibdeno.

Una volta raggiunte sufficienti cognizioni sui metodi ottimali di solforizzazione si procederà anche all'acquisizione di un forno di solforizzazione RTP con gestione del gas H_2S (ed eventualmente attrezzato anche per la selenizzazione tramite selenio metallico o vapori metallorganici contenenti Se) e configurato in maniera da poter ricevere i campioni sottovuoto direttamente da una camera di evaporazione/sputtering dei precursori. Sarà anche necessario realizzare un sistema per la Chemical Bath Deposition del CdS.

Risultati/Deliverable:

- Scelta, acquisizione ed installazione di apparati per la realizzazione di celle solari a film sottili policristallini Cu₂-II-IV-VI₄; rapporto tecnico.
- Messa a punto dei processi di crescita e di caratterizzazione di celle solari a film sottili policristallini Cu₂-II-IV-VI₄; 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 2010 - Settembre 2011

E. Comunicazione e diffusione dei risultati

Durante lo svolgimento delle attività sarà data massima attenzione alla diffusione dei risultati aggiornando sul sito web dedicato i principali risultati conseguiti. Inoltre alla scadenza delle attività previste sarà organizzata un workshop in cui verranno discussi i vari obiettivi, coinvolgendo partner Universitari.

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

Risultati/Deliverable:

- Aggiornamento del sito web con i principali risultati conseguiti sulle attività in corso.
- Rapporti IEA - PPS
- Organizzazione di un workshop con la presentazione dei risultati conseguiti sulle varie attività.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

BENEFICI ATTESI PER GLI UTENTI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

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 dà 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 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 alternativi e innovativi per celle tandem di silicio	Sett 2011	2500	150	100	70	50	0	370
B	Sviluppo di materiali e architetture di dispositivo per migliorare l'intrappolamento della radiazione solare all'interno del dispositivo a film sottile di silicio	Sett 2011	2500	150	215	70	10	220	665
C	Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici o ibridi	Sett 2011	3000	180	30	50	0	110	370
D	Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI	Sett 2011	3000	180	250	70	60	90	650
E	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	500	30	5	10	0	0	45
TOTALE			11500	690	600	270	120	420	2100

(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 2.1.5	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

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il prodotto dell'attività consiste nel valutare il potenziale energetico estraibile dalle correnti marine e dal moto ondoso in prossimità delle aree costiere italiane attraverso l'uso di strumenti innovativi di modellistica numerica oceanografica e meteo-marina.

L'attività sarà inoltre tesa a valutare le attuali tecnologie sviluppate per lo sfruttamento dell'energia marina, in termini di efficienza energetica e salvaguardia dell'ambiente marino, indicando in ultima analisi quali di queste si adattano meglio ai siti costieri italiani che risulteranno caratterizzati da un potenziale energetico significativo.

L'attività prevede l'elaborazione di indicatori del potenziale energetico marino partendo dalle variabili fisico-dinamiche prodotte dai modelli numerici oceanografici e meteo-marini. Gli indicatori ottenuti per le correnti marine e del moto ondoso costituiranno un data-base integrato all'interno di un sistema GIS contenente le informazioni su infrastrutture (porti, rete elettrica etc), aree marine protette e geomorfologia delle aree costiere. Il sistema integrato indicherà i siti costieri più vantaggiosi per l'estrazione dell'energia dal mare, fornendo per gli stessi una stima dell'energia estraibile in funzione delle tecnologie attualmente disponibili.

La valutazione del potenziale energetico del mare sarà effettuata sia sulla base di indicatori relativi al clima presente che a simulazioni di scenario per il clima futuro.

Al termine dell'attività progettuale, sulla base dei risultati ottenuti, saranno fornite indicazioni sul possibile sviluppo di tecnologie specifiche per i siti costieri italiani.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il settore delle energie rinnovabili sta sempre più estendendo i suoi interessi nel campo marino, valutando quanto sia vantaggioso estrarre energia elettrica sia dalle correnti di marea sia dalle onde superficiali generate dal vento e da quelle sottomarine prodotte dall'interazione tra correnti e fondo del mare. Queste tre tipologie sono già in fase di utilizzo in diverse parti del mondo. Il possibile sfruttamento è strettamente legato a una conoscenza dettagliata delle grandezze fisiche connesse (velocità della corrente, altezza delle onde, intensità delle maree) e allo sviluppo di tecnologie adatte. Ad esempio la potenza prodotta dalle onde che si frangono sulle coste a livello globale è di circa 1 TWatt, ma l'attuale tecnologia permette lo sfruttamento solo di una piccola frazione.

Per quanto riguarda i mari italiani si è riaccesa l'attenzione nei confronti dello sfruttamento delle intense correnti marine presenti nello Stretto di Messina. Di recente due società private hanno sviluppato dei prototipi di turbina sottomarina che hanno successivamente installato nello Stretto. In entrambi i casi, la scelta dei punti per verificare il funzionamento dei prototipi si è basata su mappe di correnti, messe a disposizione dall'Istituto Idrografico della Marina Militare, che hanno fornito uno scarso dettaglio spaziale. Questo tipo di approccio non è sufficiente a ottenere una caratterizzazione dettagliata dell'energia che può

essere estratta dalle correnti di marea presenti nello Stretto di Messina. Viceversa l'uso di modelli numerici tridimensionali a elevata risoluzione spaziale fornisce una caratterizzazione esauriente di tutti i parametri fisici rilevanti per una migliore valutazione delle potenzialità di estrazione di energia dal mare.

Le mappe che descrivono le correnti marine superficiali ed il moto ondoso attualmente in circolazione per il Mar Mediterraneo, e i mari italiani in particolare, sono state realizzate interpolando spazialmente i dati sperimentali ottenuti dalle decine di campagne oceanografiche che si sono succedute negli ultimi quaranta anni. Nonostante la grossa mole di dati utilizzati, il risultato finale non può essere considerato sufficiente ai fini della valutazione del potenziale energetico delle correnti marine anche a causa della disomogeneità spaziale e della discontinuità temporale dei dati raccolti. Di contro, gli attuali modelli numerici oceanografici e meteo-marini hanno raggiunto un elevato livello di complessità, tale da renderli lo strumento più idoneo alla descrizione dettagliata della circolazione marina e del moto ondoso.

L'ENEA possiede una pluriennale esperienza nello studio della circolazione marina del Mar Mediterraneo e dei suoi sotto-bacini, testimoniata dalle decine di articoli scientifici pubblicati sulle maggiori riviste oceanografiche internazionali. La quasi totalità di questi studi è stata realizzata attraverso lo sviluppo di modelli numerici che simulano la circolazione atmosferica, la circolazione marina e il moto ondoso.

Già a metà degli anni '90 è stato messo a punto in ENEA uno dei primi modelli di circolazione marina tridimensionale del bacino mediterraneo. Inoltre nello stesso periodo è stato realizzato un sistema operativo accoppiato oceano-atmosfera mirato alla previsione dell'acqua alta nella laguna di Venezia. Il sistema, denominato POSEIDON, è stato realizzato per il DSTN. E' costituito da una catena di modelli a diverse scale spaziali, e ancora oggi è operativo e fornisce previsioni della durata di 48 ore alla risoluzione di 10 km su tutto il Mediterraneo. Oltre ai campi atmosferici, quale temperatura superficiale e velocità del vento, sono forniti campi di altezza e direzione delle onde. L'altezza del mare determinata dalla marea all'interno del bacino Adriatico è inoltre calcolata tramite un modello barotropico (bidimensionale) di circolazione.

Recentemente è stato sviluppato in ENEA un sistema operativo di previsione della circolazione superficiale e profonda del Mar Tirreno. Tale sistema, denominato TYREM (TYrrhenian sea REgional Model), è stato prodotto con i fondi del progetto nazionale "PRIMI", finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana al fine di prevedere le traiettorie che seguiranno le chiazze di oli combustibili che potrebbero essere rilasciate accidentalmente in mare. Sempre recentemente l'ENEA ha realizzato modelli ad alta risoluzione spaziale del Canale di Sicilia, Stretto di Gibilterra e Mar Tirreno. Proprio dall'esperienza maturata nel modellare lo stretto di Gibilterra ci ha permesso di essere coinvolti dall'Università di Malaga nel progetto spagnolo FLEGER "Mapa de flujos de energia en el Estrecho de Gibraltar para su aprovechamiento como fuente de energia renovable", finalizzato a caratterizzare la quantità di energia estraibile dalle correnti di marea presenti nello Stretto di Gibilterra. Nell'ultimo anno l'ENEA ha sviluppato, nell'ambito del progetto europeo CIRCE (Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment) il primo modello regionale climatico accoppiato oceano-atmosfera per la regione mediterranea. Nel corso di questo progetto sono state realizzate simulazioni riguardanti il clima presente (ultimi quaranta anni) e simulazioni di scenario climatico per i prossimi cinquanta anni.

Questa suite di modelli permetterà di caratterizzare direttamente i parametri legati alle diverse tecnologie che verranno individuate e valutate interagendo con gli attori industriali e istituzionali. Inoltre l'alto dettaglio spaziale di questi modelli permetterà di caratterizzare i siti per lo sviluppo di queste infrastrutture energetiche in mare e di valutare, attraverso l'uso di sistemi GIS, la loro fattibilità e la loro integrazione nelle reti energetiche esistenti.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Il mare costituisce un'enorme fonte di energia pulita e rinnovabile, sfruttata finora solo in minima parte, ma che potenzialmente è superiore all'intera domanda energetica mondiale. L'energia ricavabile dal mare può essere suddivisa in diverse tipologie, a cui corrispondono differenti soluzioni tecnologiche: energia mareomotrice, dal moto ondoso, e dalle correnti sottomarine.

L'energia mareomotrice sfrutta i dislivelli tra alta e bassa marea per produrre energia elettrica. Gli impianti mareomotrici sono caratterizzati da grandi dimensioni, dalla presenza di importanti opere di sbarramento

delle acque (dighe, chiuse) e di un bacino di accumulo. La produzione di energia elettrica avviene grazie a delle turbine idrauliche. In maniera simile a quanto accade nei grandi impianti idroelettrici, questi sistemi assicurano l'erogazione di notevoli quantitativi di energia. I maggiori limiti delle centrali mareomotrici sono nell'elevato impatto ambientale che ne hanno limitato notevolmente la diffusione. Una delle centrali mareomotrici più grandi al mondo si trova in Bretagna, alla foce del fiume Rance, fra Saint-Malo e Dinard. La centrale è stata costruita tra il 1961 e il 1966 e sfrutta la marea che da quelle parti raggiunge 13,5 m di dislivello. Centrali mareomotrici non sono presenti in Italia, anche perché dislivelli dovuti alle maree comparabili a quelli di Saint-Malo non sono presenti lungo le coste italiane.

Tra tutte le forme di energia dal mare, quella dal moto ondoso è senza dubbio quella studiata da più tempo e che conosce il maggior numero di sperimentazioni e soluzioni tecnologiche.

Il moto ondoso, che è provocato dall'effetto del vento sulla superficie del mare, è caratterizzato da un'alta densità energetica. Rispetto all'energia mareomotrice, quella dal moto ondoso presenta il vantaggio di adottare soluzioni tecnologiche a basso impatto ambientale. Esistono diverse tecnologie di sfruttamento del moto ondoso, tra le più utilizzate ci sono quelle che impiegano impianti sommersi, impianti galleggianti, e a colonna d'acqua oscillante. Gli impianti sommersi sfruttano il principio di Archimede. Sono costituiti da una struttura sommersa fissata al fondale marino. La parte superiore della struttura è un cilindro cavo che si muove in verticale, sfruttando il cambiamento di pressione idrostatica dovuto al passaggio delle onde. L'energia meccanica che ne deriva viene trasformata in energia elettrica grazie ad un generatore. La potenza ideale di questi impianti, di cui esiste una realizzazione funzionante lungo le coste del Portogallo, è di circa 2 MW. Questo tipo di soluzione tecnologica non è stata ancora sperimentata in Italia.

I sistemi con apparati galleggianti sono formati da cilindri galleggianti che sfruttano l'ampiezza delle onde in mare aperto. Il movimento delle onde mette in moto dei pistoni idraulici collegati ad un generatore elettrico. I maggiori problemi di questa tecnologia sono dovuti all'impatto visivo e all'occupazione di superficie marina, potenzialmente pericolosa per la navigazione. Questo tipo di soluzione tecnologica non è stata ancora sperimentata in Italia.

I sistemi che sfruttano il principio della colonna d'acqua oscillante sono installati lungo la costa, con indubbi vantaggi rispetto alle installazioni in mare aperto. Soprattutto per quanto riguarda i costi di realizzazione, che sono inferiori dal momento che non risulta necessaria la presenza di elettrodotti sottomarini o di sistemi di ancoraggio al fondale. Questi sistemi sono formati da strutture in acciaio o calcestruzzo, in parte immerse in mare. Anche se normalmente sono realizzati nei pressi della linea di costa, possono anche essere installati su piattaforme al largo, per sfruttare la maggiore potenza delle onde al largo delle coste. L'energia elettrica si ottiene grazie a un processo di tipo pneumatico, abbinato al particolare principio di funzionamento delle turbine Wells. L'onda ascendente provoca una compressione d'aria all'interno della camera in cui è installata la turbina, mettendola in rotazione. L'onda discendente provoca invece una decompressione, che anch'essa mette in moto la turbina. La particolarità della turbina Wells consiste nel fatto che, pur funzionando con due flussi d'aria in direzioni opposte (compressione e decompressione), il suo senso di rotazione non cambia. Il funzionamento di tipo pneumatico presenta un grande vantaggio: la parte meccanica e la turbina non subiscono l'azione corrosiva dell'acqua marina. I principali svantaggi di questa tecnologia sono dati dall'impatto visivo e dalla rumorosità della turbina. Esistono diversi esempi di questi impianti realizzati e perfettamente funzionanti; per questo motivo questa tecnologia costituisce oggi la soluzione più economica per produrre energia elettrica dal moto ondoso. Il range di potenza degli impianti esistenti va dai 60 kW ai 1000 kW. In Italia un primo prototipo si sta costruendo nel porto di Civitavecchia sotto la supervisione dell'ENEL.

Tra tutte le forme di energia dal mare, quella dalle correnti sottomarine presenta le maggiori potenzialità nel medio-lungo termine. Basti pensare che soltanto in Europa si stima una disponibilità pari a circa 75 GW. Per sfruttare questo tipo di energia si utilizzano delle turbine ad asse verticale (per le correnti costanti) o ad asse orizzontale (per le correnti di marea). L'assenza di sbarramenti e di infrastrutture impattanti, grazie alla parziale o totale immersione in acqua delle turbine, riducono al minimo l'impatto ambientale di questi impianti. In Italia le correnti più intense sono quelle generate dalla marea nello Stretto di Messina. A tal proposito due società private italiane, la *Ponte di Archimede S.p.A* e la *Fri-EL Sea Power S.r.l.* in collaborazione con il gruppo di ricerca ADAG del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Napoli "*Federico II*", hanno realizzato due diversi prototipi di turbina. La *Ponte di Archimede* ha brevettato

KOBOLD, una turbina tri-pala ad asse verticale collegata a un generatore elettrico; il tutto è montato su una piattaforma galleggiante del diametro di 10 m, altezza 2.5 m e pescaggio 1.5 m. KOBOLD è in funzione nei pressi di Ginzirri (ME) dal marzo 2002 ed è collegata alla rete elettrica nazionale dal marzo 2006 producendo circa 100kWh di energia. La *Fri-EL Sea Power* ha brevettato invece un sistema composto di una struttura galleggiante (pontone o nave) e da varie turbine ad asse orizzontale poste lungo un tubo orizzontale snodabile e modulare (denominato "filare") ad intervalli regolari. Il tubo funge anche da albero di trasmissione del moto che trasferisce la potenza catturata dall'acqua al generatore elettrico che, a sua volta, la trasforma in energia elettrica. Un prototipo da 500kWh è stato sperimentato nello stretto di Messina nel 2009.

Visto il crescente interesse nei confronti di questa energia alternativa, di recente sono state sviluppate nuove tecnologie il cui potenziale deve essere ancora valutato in maniera approfondita. L'analisi dettagliata di queste nuove tecnologie rappresenterà un'attività del presente progetto di ricerca.

OBIETTIVO 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, etc) 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. In considerazione dei cambiamenti climatici cui probabilmente sarà soggetto il bacino del Mediterraneo nei prossimi 40-50 anni, le mappe su indicate saranno prodotte non solo considerando le condizioni meteo-marine del clima presente, ma anche quelle previste da scenari evolutivi del clima futuro.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

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

Sviluppo dei modelli numerici di simulazione delle correnti marine e del moto ondoso

- sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione;
- sviluppo di modelli numerici per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per i mari italiani a circa 3 km di risoluzione;
- 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.

Elaborazione degli indicatori del potenziale energetico marino e creazione di un data-base integrato in sistema GIS costiero

- Produzione di mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo;

- Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni dei mari italiani;
- Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni dei siti costieri italiani caratterizzati da un elevato potenziale energetico.
- Compilazione del data-base e integrazione all'interno di un sistema GIS costiero

Studio delle tecnologie per l'estrazione dell'energia marina

- Analisi dettagliata delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento dell'energia marina;
- Individuazione delle tecnologie che meglio si adattano ai siti costieri italiani;
- Indicazioni sul possibile sviluppo di tecnologie specifiche per i siti costieri italiani.

Divulgazione dei risultati

- Produzione di un rapporto annuale dei principali risultati ottenuti e loro possibili applicazioni;
- Produzione di articoli scientifici su riviste nazionali e/o internazionali;
- Pubblicazione dei risultati sul sito web ENEA dedicato;
- Organizzazione workshop con i soggetti interessati allo sfruttamento del potenziale energetico ricavabile dal mare.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

A. Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione

Durante questa prima fase del progetto sarà prodotta una simulazione atmosferica ad alta risoluzione utilizzando un modello di circolazione regionale per l'area europea centrato sul bacino del Mediterraneo. Il modello che si utilizzerà è il RegCM3. Le condizioni al contorno da fornire al modello per le simulazioni del clima presente, saranno estratte dal data-base (ERA-INTERIM) del centro europeo per le previsioni meteorologiche (ECMWF). Questi dati sono forniti a una risoluzione spaziale e temporale rispettivamente di $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ e sei ore, e coprono un arco temporale di venti anni, dal 1989 fino 2009. I risultati del modello, in termini di velocità del vento al suolo, flussi di calore e acqua costituiranno le condizioni al contorno superficiali da applicare al modello delle onde e di circolazione del Mediterraneo.

Per quanto riguarda la proiezione climatica per i prossimi cinquanta anni, utilizzeremo come condizioni al contorno output provenienti da modelli globali accoppiati oceano-atmosfera utilizzati nel IV rapporto IPCC. In particolare sarà usata la simulazione prodotta con il modello ECHAM5-MPIOM nella configurazione di scenario energetico SRESA1B (Special Report on Emissions Scenarios). In questo caso le condizioni al bordo disponibili hanno una risoluzione orizzontale di $2.5^\circ \times 2.5^\circ$. Lo scenario utilizzato fa parte della famiglia A1 che prevede una crescita demografica di 8,7 miliardi al 2050 e un alto sviluppo economico sia nei paesi industrializzati sia nei paesi in via di sviluppo. Lo scenario A1B è uno scenario intermedio che ipotizza una rapida evoluzione tecnologia e prevede per quanto riguarda le fonti di energia utilizzate, un equilibrio tra combustibili fossili e altre fonti. Le variabili del modello atmosferico saranno memorizzate a una frequenza temporale di 3 ore, necessaria per la generazione delle condizioni al contorno superficiali per il modello della circolazione del Mediterraneo e per il modello delle onde. Considerato il numero di punti di griglia del modello atmosferico, e la frequenza temporale usata per la memorizzazione, si stima che sarà necessario uno spazio disco di circa 30 TB. Questo spazio include anche quello necessario per memorizzare le condizioni iniziali e al contorno da fornire al modello atmosferico, e i file necessari ai 'restart' del modello. Vista la mole di dati prodotti, sarà previsto un adeguamento delle capacità di immagazzinamento dati attualmente presente nel laboratorio.

In questa fase sarà sviluppato anche il modello numerico di simulazione del moto ondoso nel bacino Mediterraneo. Il modello di riferimento sarà il WAM (WAVE Model). L'implementazione prevederà la

generazione di una griglia computazionale che si estenderà sull'intero bacino con una risoluzione orizzontale di circa 7 km. Il modello sarà forzato in superficie dai dati di vento superficiali ottenuti dal modello RegCM per il clima presente e futuro. Le variabili del modello delle onde saranno memorizzate a una frequenza temporale di 3 ore, necessaria per la generazione delle mappe climatologiche. Si stima che sarà necessario uno spazio disco di circa 5 TB. Questo spazio include anche quello necessario per memorizzare le condizioni iniziali e al contorno da fornire al modello delle onde, e i file necessari al 'restart' del modello. Sarà previsto un adeguamento delle capacità di immagazzinamento dati attualmente presente nel laboratorio.

Durante questa fase sarà implementato il modello di circolazione del Mar Mediterraneo. Il modello numerico di riferimento sarà il *Massachusetts Institute of Technology general circulation model* (MITgcm). Per simulare al meglio le maree presenti nel bacino del Mediterraneo sarà generata una griglia numerica che prevede un incremento della risoluzione orizzontale nella regione dello Stretto di Gibilterra che rappresenta un punto chiave per la dinamica delle maree nel Mediterraneo. In particolare la risoluzione media del bacino sarà di circa 7 km, mentre l'incremento nella regione dello Stretto spingerà la risoluzione fino a circa 0.5 km. Per descrivere nel modo più accurato possibile la dinamica delle masse d'acqua che compongono il Mar Mediterraneo, saranno utilizzati 73 livelli verticali che garantiranno una risoluzione verticale di pochi metri in superficie, poche decine di metri alla profondità intermedia di 500 metri, ed un centinaio di metri nelle regioni più profonde dove la dinamica delle masse d'acqua è meno attiva.

L'implementazione del MITgcm in configurazione mediterranea terminerà con lo sviluppo di un modulo che simula la dinamica delle maree. In particolare si prevede di sviluppare due moduli distinti, uno per la simulazione delle maree laterali provenienti dall'Oceano Atlantico, e uno che simula il potenziale di marea che si sviluppa all'interno del bacino. Le variabili del modello di circolazione marina saranno memorizzate a una frequenza temporale di 3 ore, necessaria per la generazione delle condizioni al contorno laterali per i modelli dei mari italiani che saranno implementati nel corso delle fasi successive del progetto. Considerato l'elevato numero di punti di griglia del modello di circolazione marina, e la frequenza temporale usata per la memorizzazione, si stima che sarà necessario uno spazio disco di circa 65 TB. Questo spazio include anche quello necessario per memorizzare le condizioni iniziali e al contorno da fornire al modello di circolazione marina, e i file necessari ai 'restart' del modello. Vista l'enorme mole di dati prodotti, sarà previsto un adeguamento delle capacità di immagazzinamento dati attualmente presente nel laboratorio.

Risultati/Deliverable:

- Messa a punto del modello RegCM per la regione mediterranea. Produzione della simulazione per il clima presente. Generazione delle condizioni al contorno per il clima presente. Produzione della simulazione per il clima futuro. Generazione delle condizioni al contorno per il clima futuro; rapporto tecnico.
- Messa a punto del modello MITgcm per la regione mediterranea. Messa a punto del modulo delle maree; rapporto tecnico.

Principali collaborazioni: CASPUR

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo

Sviluppo di codici numerici di simulazione al fine di definire gli indicatori del potenziale energetico più utili alla valutazione finale della potenza energetica ricavabile in funzione delle diverse tecnologie di estrazione utilizzabili.

Sulla base delle variabili fisico-dinamiche prodotte dai modelli numerici oceanografici e meteo-marini, e sulla base della definizione degli indicatori del potenziale energetico, saranno prodotte mappe di indicatori relative al moto ondoso ed alle correnti marine per il bacino mediterraneo con un dettaglio spaziale di circa 7 km.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico comprendente mappe ed indicatori del potenziale energetico

Principali collaborazioni: Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale, Università di Roma La Sapienza

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Analisi dettagliata delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento dell'energia marina

Durante questa fase progettuale saranno valutate le tecnologie attualmente disponibili nel campo dell'estrazione di energia dal mare. Visto il crescente interesse in questo settore delle energie rinnovabili, e il rapido sviluppo di nuove tecnologie per lo sfruttamento, sarà prodotta una relazione approfondita e aggiornata di tutte le tecnologie a disposizione, con particolare riguardo a quelle recentemente sviluppate e ancora in fase di sperimentazione, potenzialmente applicabili alle coste italiane. Durante l'analisi saranno valutati per ogni tecnologia, l'impatto ambientale, la semplicità di costruzione e manutenzione e l'efficienza energetica. Sarà effettuata anche una valutazione di massima del costo.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico delle attività

Durata: Ottobre 2011 - Settembre 2011

D. Comunicazione e diffusione risultati

Durante le varie fasi del progetto saranno realizzati rapporti annuali in cui saranno descritti in dettaglio i risultati ottenuti. Sarà inoltre analizzata e presentata la potenzialità che tali risultati rivestono nel campo dell'estrazione di energia dal mare. I rapporti saranno resi disponibili sul sito web ENEA dedicato al progetto. La struttura principale del sito web sarà realizzata nel corso del primo anno, e sviluppata nel corso dei successivi due anni.

Sarà inoltre organizzato un workshop internazionale sul tema degli scenari energetici nel Mediterraneo con particolare riferimento all'energia ricavabile dal mare.

Durata: Ottobre 2011 - Settembre 2011

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

Grazie alle correnti di marea e al moto ondoso il mare rientra tra le fonti di energia rinnovabile più promettenti del prossimo futuro. Tuttavia uno sfruttamento sistematico di queste forme di energia richiede una conoscenza approfondita e preventiva delle grandezze geofisiche in gioco.

Le attività di ricerca e sviluppo previste in questo progetto consentiranno di ottenere, attraverso l'utilizzo di strumenti numerici avanzati, una valutazione particolareggiata della quantità di energia potenzialmente estraibile dal Mar Mediterraneo in termini di correnti di marea nello Stretto di Messina e moto ondoso lungo le coste, con particolare riferimento a quelle italiane. La valutazione del potenziale energetico sarà fornita per le condizioni climatiche attuali e quelle previste per il prossimo futuro.

Attività di ricerca 2.1.5 “Studi e valutazioni sul 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	Sviluppo del modello numerico per la simulazione della circolazione marina e del modello del moto ondoso per il bacino Mediterraneo a circa 7 km di risoluzione	Sett 2011	1600	96	70	5	0	60	231
B	Produzione delle mappe degli indicatori del potenziale energetico relative alle simulazioni sul bacino del Mediterraneo.	Sett 2011	1200	72	30	10	0	40	152
C	Analisi dettagliata delle attuali tecnologie esistenti per lo sfruttamento dell'energia marina	Sett 2011	800	48	0	5	20	0	73
D	Comunicazione e diffusione risultati	Sett 2011	400	24	0	10	10	0	44
TOTALE			4000	240	100	30	30	100	500

(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	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
Tematica di Ricerca	CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO₂
Progetto 2.2	STUDI SULL'UTILIZZO PULITO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI E CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO₂

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 prodotto è rappresentato da una serie di attività finalizzate allo sviluppo ed alla dimostrazione di tecnologie basate sull'impiego del carbone sia per la produzione di elettricità, con bassissime 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 due precedenti annualità: tema di ricerca 5.2.2.2 (Tecnologie innovative per migliorare i rendimenti di conversione delle centrali a polverino di carbone), tema di ricerca 5.2.5.2 (Tecnologie di gassificazione del carbone con cattura e sequestro della CO₂) e tema di ricerca 5.2.5.9 (Centrali elettriche per la coproduzione di energia elettrica e idrogeno).

La via che si vuole intraprendere per il raggiungimento dell'obiettivo è duplice: da una parte sfruttare per il sito del Sulcis in Sardegna per una applicazione sperimentale nel breve-medio termine delle soluzioni tecnologiche più mature individuate; dall'altra puntare l'attenzione su tecnologie molto avanzate che consentano, anche se più a lungo termine, di ottenere soluzioni tecnologiche CCS caratterizzate da prestazioni energetiche ed ambientali migliori di quelle 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 stoccaggio 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 sulla considerazione che la possibilità di un utilizzo su larga scala, e quindi economicamente sostenibile, delle tecnologie CCS è legata allo sviluppo di processi nettamente più efficienti di quelli oggi consentiti dall'attuale maturazione tecnologica. 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 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 che possano essere utilizzate, a breve e medio termine, in un dimostrativo che realizzi sia la produzione di combustibili liquidi e gassosi sia il sequestro geologico della CO₂;
- l'infrastruttura 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, CSLF, EERA e ESFRI.

Contestualmente, tale progetto intende continuare l'azione di supporto al MSE, già operata anche nelle precedenti annualità, finalizzata al coordinamento e all'integrazione di diversi progetti condotti in Italia nell'ambito di programmi differenziati, e con fonti di finanziamento diversificate, tenendo conto delle priorità dettate dalle scelte strategiche governative.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

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.

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 invece alle tecnologie avanzate di nuova concezione, presuppone, per quanto riguarda la filiera delle tecnologie pre-combustion, 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

E' unanime, nel mondo scientifico ed impiantistico-energetico, l'opinione 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. In Italia il livello globale di emissioni di CO₂ è dell'ordine di circa 600 Mt annue, di cui 150 imputabili al settore generazione elettrica.

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. Occorre puntare pertanto 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, con una riduzione di efficienza energetica pari a circa 8-12 punti percentuali. Secondo la IEA, la CCS applicata alla generazione elettrica e alla produzione industriale può contribuire per il 20-28% alla riduzione delle emissioni globali entro il 2050. Molte delle tecnologie CCS sono già 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 si appresta a varare direttive che impongono l'adozione di tali tecnologie negli impianti da realizzare dopo il 2020, e a tal fine promuove, nell'ambito di FP7, 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 (CSLF), nella piattaforma europea sugli impianti alimentati a combustibili fossili a emissioni zero (ZEP), nei gruppi di lavoro della IEA.

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.

Tutte le tecnologie proposte sono attualmente a differenti stadi di maturazione.

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).

L'opzione cattura a valle della combustione implica invece 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).

Un'ulteriore opzione è quella data dalla ossi-combustione di combustibili fossili, che impiega ossigeno puro come comburente e produce gas esausti con un'altissima percentuale di CO₂, che può essere facilmente separata.

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:

OBBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

In linea con quanto sopra detto, l'obiettivo finale del presente progetto è quello di favorire lo sviluppo di tecnologie avanzate per un utilizzo pulito dei combustibili fossili e del carbone in particolare, per poter supportare la realizzazione di impianti dimostrativi e per superare le principali problematiche legate alla penalizzazione, in termini di costo e di rendimento, che lo stato attuale delle tecnologie CCS implicano nelle applicazioni energetiche.

In particolare, le attività proposte verranno sviluppate nell'ambito delle due importanti infrastrutture di ricerca denominate COHYEXCE e ZECOMIX inserite nella roadmap italiana delle IR di interesse pan-europeo e dislocate rispettivamente nei siti di Sotacarbo in Sardegna e della 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;
- messa a punto di sistemi di produzione di syngas e di combustibili liquidi da carbone del Sulcis;
- sviluppo di bruciatori idonei al loro impiego in sistemi turbo-gas ad alta efficienza e basse emissioni;
- messa a punto delle migliori tecnologie 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.

L'attività ha una durata di tre anni.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

L'attività si realizzerà, nell'arco del triennio, nelle seguenti linee:

LINEA DI ATTIVITÀ A: Produzione e trattamento combustibili gassosi e liquidi da carbone

Tale linea ha due 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).
- 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 laboratorio che pilota, su tecnologie molto innovative di cattura della CO₂. Alcune di queste attività rappresentano uno sviluppo successivo (su impianti di scala maggiore) di quelle portate a compimento nelle prime due annualità della Ricerca di Sistema Elettrico, mentre altre sono di nuova impostazione.

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, sia con ossigeno che con aria; 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 ossicombustione*: definizione e messa a punto delle migliori tecnologie per la combustione in ossigeno del polverino di carbone, sia di nuova generazione che per il retrofit di impianti esistenti;
- c. *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.

LINEA DI ATTIVITÀ C: Tecnologie di sequestro e utilizzo della CO₂ e progettazione di un impianto dimostrativo completo

Le attività della presente linea si articolano in due obiettivi:

- a. *Attività progettuale per il dimensionamento di un impianto dimostrativo che preveda la cattura ed il sequestro della CO₂ in sito idoneo*. Il risultato finale è lo studio di pre-fattibilità di una piattaforma pilota completa che preveda da un lato la produzione di combustibile liquido, combustibile ad elevato tenore di idrogeno, ed elettricità, dall'altro il sequestro della CO₂ nello strato carbonifero con relativa estrazione di metano (ECBM), oppure in un acquifero salino sottostante.
- b. *Valorizzazione della CO₂*. A completamento di attività già 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, trattamento di residui industriali con CO₂, biofissazione.

SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI NELLE PRECEDENTI ANNUALITÀ

Le ricerche sul carbone pulito hanno riguardato lo sviluppo delle tecnologie CCS di tipo pre combustion ed oxy combustion, in quanto le più promettenti in una prospettiva di medio-lungo periodo. Per quanto riguarda le tecnologie di storage della CO₂ le attività si sono concentrate sulla tecnologia ECBM ma anche allo stoccaggio in acquiferi salini, sottostanti i giacimenti carboniferi. E' stata intrapresa una attività di advisor per l'MSE mediante la costituzione dell'Associazione Italiana della CO₂, l'attivazione del relativo sito internet, l'organizzazione di conferenze sulle tecnologie CCS e la messa a punto di un documento di indirizzo.

Le attività sono state svolte presso i laboratori del centro ENEA della Casaccia e presso la Sotacarbo che ha partecipato attivamente alle ricerche effettuate, e sono svolte in modo coordinato con ERSE (ex CESI Ricerca) e CNR.

Il principali risultati ottenuti nei primi due anni sono descritti nel seguito, con evidenza della loro connessione con le attività successive.

- Per quanto riguarda le tecnologie di **gassificazione**, si sono approfondite le fenomenologie legate a diversi processi di gassificazione del carbone (gassificazione ad aria, ossigeno CO₂, idrogassificazione con H₂) mediante la sperimentazione nelle piattaforme sperimentali di Sotacarbo ed ENEA e mediante test di laboratorio; si è inoltre progettato e realizzato un innovativo gassificatore a letto fluido per carboni particolarmente difficili come quello del Sulcis. Per le successive annualità si prevede di focalizzare le attività in funzione dei risultati ottenuti al fine di ottenere le informazioni tecnico-scientifiche necessarie alla definizione di un processo di gassificazione ad ossigeno idoneo ad essere utilizzato anche con tipologie di carbone più difficili.
- Per quanto riguarda i processi di **trattamento del syngas** si sono analizzati processi di cattura della CO₂, di CO-shift e di desolforazione, utilizzando sia tecnologie avanzate (ad elevata temperatura mediante sorbenti solidi) sia tecnologie applicabili più a breve termine. Le successive annualità prevedono la messa a punto di sistemi innovativi di pulizia che possano ben integrarsi dal punto di vista energetico e fenomenologico con i processi in studio, ed in particolare con i processi di produzione di combustibili liquidi e gassosi partendo dal syngas.
- Per quanto riguarda la tecnologia **ossicombustione**: si sono sviluppati modelli sia RANS che LES per la simulazione di reattori di ossicombustione e lo studio delle fenomenologie associate, comprese quelle legate alla produzione di inquinanti (composti dello zolfo, tar); si è messa a punto una tecnologia innovativa per il pompaggio dello slurry; si è proceduto alla qualificazione e l'ingegnerizzazione di dispositivi di misura non invasivi, basati sulla tecnologia ODC (Optical Diagnostic of Combustion), e la sua applicazione nel reattore ISOTHERM. Le attività delle annualità successive si concentreranno sull'ottimizzazione del processo, sullo scale-up di potenza e sulla combustione mild di syngas ed idrogeno.
- Per quanto riguarda infine i processi di **sequestro della CO₂**, sono state effettuate prime analisi delle potenzialità sia del confinamento geologico nel Sulcis (prevalentemente mediante tecnologia ECBM ma con attenzione anche all'acquifero salino sottostante) sia della cosiddetta "Mineral Carbonation", con possibile utilizzo di residui industriali alcalini. Le attività si concretizzeranno nelle annualità successive con attività sperimentali di sequestro non geologico e con lo studio di fattibilità di un impianto dimostrativo per l'applicazione delle tecniche di confinamento geologico nel sito del Sulcis.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

LINEA DI ATTIVITÀ A: Produzione e trattamento combustibili gassosi e liquidi da carbone

A1. Sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione

L'obiettivo è finalizzato alla messa a punto ed ottimizzazione di processi ed apparecchiature per la gassificazione del carbone a letto fisso, nonché di sensoristica innovativa.

Le attività sperimentali verranno condotte negli 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 competenze sui successivi processi di cleaning del syngas ottenuto dalla gassificazione, cioè lavaggio, desolforazione e separazione di polveri e tar. Le attività prevedono l'adeguamento 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 Sotacarbo ed ENEA.

Gli impianti presso Sotacarbo verranno inoltre utilizzati per effettuare test di produzione di energia elettrica, tramite l'utilizzo del preesistente motore a combustione interna, e test di 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 anche lo sviluppo e validazione di un codice di calcolo per la simulazione di processi di gassificazione utilizzando dati sperimentali provenienti da impianti ENEA, in particolare da un mini impianto di gassificazione a letto fisso (impianto GESSICA).

L'attività prosegue azioni impostate nel primo biennio.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sulle modifiche e migliorie effettuate sugli impianti di gassificazione;
- 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;
- Rapporto sull'attività di simulazione del processo di gassificazione con descrizione dei modelli numerici e fisici implementati .

Principali collaborazioni: SOTACARBO, Università di Cagliari, Università di Roma "la Sapienza", Università di Roma "Tor Vergata"

Durata: Ottobre 2010- Settembre 2011

A2. 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 produzione di syngas pulito 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 i forni rotanti da banco e pilota disponibili presso il C.R. Trisaia per le prove di pirolisi. In tali forni 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 nel primo biennio.

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.

Principali collaborazioni: Università di Roma Tor Vergata

Durata: Ottobre 2010- Settembre 2011

A3. 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 verrà analizzato lo stato dell'arte dei processi CTL e saranno effettuate valutazioni preliminari per l'individuazione della miglior taglia e tecnologia per la realizzazione dell'impianto considerando tutti gli aspetti legati all'utilizzo delle tecnologie CCS e all'utilizzo di un carbone di basso pregio con elevati contenuti di zolfo e tar. L'analisi di sistema si indirizzerà sia alla taglia di un impianto dimostrativo, che alla taglia necessaria all'integrazione dell'impianto già presente presso la piattaforma sperimentale di Sotacarbo. In particolare si prevede di effettuare studi e analisi di sensibilità mediante codicistica di sistema, di tipo commerciale, al fine di individuare e dimensionare una configurazione ottimizzata di impianto. Altresì viene svolta la valutazione della prefattibilità tecnico-economica delle differenti configurazioni individuate tenendo conto della maturità tecnologica del processo. All'interno dell'obiettivo si effettua 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 nel primo biennio.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto sull'analisi di sistema e sulla modellazione impiantistica di impianti CTL;
- Rapporto sulla prefattibilità tecnico economica di un impianto dimostrativo CTL;
- Rapporto sull'attività sperimentale.

Principali collaborazioni: SOTACARBO, Università di Cagliari, Politecnico di Milano

Durata: Ottobre 2010- Settembre 2011

LINEA DI ATTIVITÀ B: Aumento dell'efficienza delle tecnologie di cattura della CO₂ con produzione di elettricità "zero emission"

B1. Attività sperimentali sulla cattura della CO₂ ad elevata temperatura mediante sorbenti solidi a base di ossido di calcio

L'obiettivo si riferisce alla messa a punto un sorbente solido di CO₂ ad alta efficienza e durata; adattamento e messa a punto dell'impianto sperimentale Zecomix per prove di assorbimento della CO₂ e dell'H₂S dal syngas prodotto mediante 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, a base di ossidi di calcio e con l'aggiunta di opportuni inerti e catalizzatori, 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 assorbenti a causa dei fenomeni di sinterizzazione che fanno diminuire la superficie utile per la diffusione della CO₂ all'interno del sorbente. L'aggiunta di opportuni additivi ed una scelta ottimale della granulometria può 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 mettere a punto 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 messo a punto nelle prove di laboratorio verrà impiegato nella sperimentazione sull'impianto Zecomix, appena 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 decarbonatazione (carbonatore), 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.

Risultati/Deliverable:

- Sintesi e caratterizzazione del nuovo sorbente ad elevata efficienza;
- Completamento impianto integrato di gassificazione, pulizia syngas e cattura CO₂;
- Messa a punto dell'impianto Zecomix con il gassificatore allacciato;
- Modellizzazione cinetica del processo di decarbonatazione e messa a punto del sistema di simulazione dinamica di impianto
- Rapporti tecnici.

Principali collaborazioni: Università dell'Aquila, ENSYEN

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B2. Studi modellistici/sperimentali sui processi di cattura della CO₂ con solventi

L'obiettivo consiste nell'acquisizione di dati e competenze sul processo di cattura della CO₂ mediante ammine. L'attività sperimentale verrà svolta sul syngas prodotto negli impianti di gassificazione della Piattaforma Pilota Sotacarbo.

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 di 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.

In parallelo si operano studi e attività di ricerca modellistica sul 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 negli impianti ENEA/Sotacarbo.

L'attività è il proseguimento di azioni iniziate nel primo biennio.

Risultati/deriverable:

- Rapporti tecnici sulla sperimentazione di sistemi di assorbimento e desorbimento della CO₂
- Rapporto tecnico sulla modellazione della sezione di cattura della CO₂ dal syngas da carbone.

Principali collaborazioni: SOTACARBO, Università di Cagliari

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

B3. Sviluppo di nuovi bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di idrogeno

L'obiettivo prevede lo sviluppo di un nuovo bruciatore avanzato per turbogas, di tipo Trapped Vortex per la combustione stabile, efficiente, e a basse emissioni di syngas ricchi di idrogeno (fino ad idrogeno puro) provenienti da impianto operanti in modalità "pre-combustion carbon capture".

Tale bruciatore sarà ideato al fine di realizzare condizioni di combustione estremamente innovative con sostanziale assenza delle fiamme (combustione MILD), requisito fondamentale per contenere le emissioni, ridurre lo stress termico dei materiali, prevenire fenomeni di "flash-back" ed ampliare grandemente il range operativo di combustione stabile rispetto agli attuali sistemi "lean-premix". L'attività si articola in una prima fase di analisi numerica attraverso la quale si perverrà ad un progetto che verrà poi validato sperimentalmente su impianti ENEA (IDEA, MICOS), per una verifica di prestazioni e di stabilità attraverso l'impiego di diagnostica avanzata non invasiva.

Risultati/derivable:

- Progetto di un nuovo bruciatore a tipologia Trapped Vortex per la combustione di syngas;
- Validazione sperimentale del progetto teorico;
- Emissione di un rapporto tecnico descrittivo dei risultati raggiunti.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

B4. Messa a punto delle migliori tecnologie per l'ottimizzazione del processo di ossi-combustione di polverino di carbone

L'obiettivo consiste nell'analisi numerica e comparativa di sistemi a ossi-combustione per la cattura di CO₂ operanti in condizioni atmosferiche e pressurizzate.

Si procederà alla ottimizzazione di un importante parametro di funzionamento rappresentato dal rapporto di ricircolo dei gas combusti, parametro da ottimizzare al fine di rendere la temperatura adiabatica compatibile con i materiali della caldaia. Altri elementi da ottimizzare sono rappresentati dal punto di prelievo dei gas di ricircolo e da quello di iniezione dell'ossigeno. L'intera attività sarà basata su simulazioni di tipo numerico validate con dati sperimentali acquisiti su impianti ISOTHERM-PWR e FOSPER e relative anche ad aspetti di stabilità di combustione. L'attività di modellazione, e la sperimentazione a supporto, deve dunque essere focalizzata allo sviluppo di sottomodelli relativi alla descrizione di particolari aspetti del processo di combustione del carbone in condizioni "oxy", con forte ricircolo di prodotti di combustione, ed in particolare a sottomodelli di devolatilizzazione, ignizione, combustione di gas e di char, produzione di inquinanti (NO_x; SO_x; Soot).

L'attività è a prosecuzione di attività impostate nel primo biennio.

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, sfruttando i modelli fluidodinamici sviluppati per flussi multifase ed i modelli chimici relativi alla dinamica del carbone;
- 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, Università di Napoli DIC, Politecnico di Milano DCMIC, Università di Pisa - Dip. Chimica

Durata: Ottobre 2010- Settembre 2011

LINEA DI ATTIVITÀ C: Tecnologie di sequestro e utilizzo della CO₂ e progettazione di un impianto dimostrativo completo

C1. Studi su tecnologie di utilizzo e fissaggio della CO₂

L'obiettivo riguarda studi sperimentali relativi alla sintesi di combustibili liquidi o gassosi da CO₂ e lo studio cinetico e termodinamico della reazione di metanazione.

La reazione di metanazione, ovvero la conversione di CO₂ in CH₄, è una reazione spontanea a temperature inferiori a circa 200 °C. A causa, tuttavia, di limitazioni cinetiche, richiede l'uso di opportuni catalizzatori perché si abbiano rese accettabili. In pratica si ottengono rese prossime al 100 %, nell'intervallo di temperatura 250-300 °C, quando la reazione è condotta su metalli finemente suddivisi come Ni o Pd. I dati sperimentali disponibili, fanno però riferimento sempre all'uso di gas puri; mancando completamente uno studio sull'effetto che la presenza di agenti avvelenanti può avere sulla efficienza del catalizzatore. L'obiettivo tende a valutare gli effetti sul catalizzatore della presenza nella miscela di reazione di composti

in particolare solforati come H₂S ed SO₂. L'attività si propone pertanto di individuare le criticità della reazione di conversione CO₂/CH₄ in termini di purezza dei gas da inviare al reattore di metanazione.

Risultati/Deliverable:

- Messa a punto di un reattore sperimentale che realizzi la reazione di metanazione immune da effetti di avvelenamento del catalizzatore;
- Emissione di un rapporto tecnico descrittivo dei risultati raggiunti.

Principali collaborazioni: Università di Roma "La Sapienza"

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

C2. Studio e definizione preliminare di un impianto dimostrativo a carbone con cattura e confinamento geologico della CO₂

L'obiettivo concerne la predisposizione di uno studio di pre-fattibilità relativo alla realizzazione e gestione di un impianto dimostrativo di produzione di energia da carbone in una centrale elettrica che opera con la cattura e lo stoccaggio dell'anidride carbonica prodotta, che sia poi confinata geologicamente in un idoneo sito da localizzarsi nella zona del Sulcis. L'obiettivo prevederà pertanto anche la sperimentazione e ottimizzazione di una rete di monitoraggio geochimica.

L'attività parte dall'inquadramento del progetto nell'ambito specifico del bacino minerario del Sulcis per poi articolarsi nell'aggiornamento del quadro normativo relativo alla produzione e distribuzione di energia elettrica. Proseguirà, sulla base dello stato dell'arte attuale delle tecnologie disponibili sul mercato per la produzione elettrica da carbone, con la valutazione delle tecnologie di cattura, trasporto e stoccaggio dell'anidride carbonica prodotta in centrale, con la caratterizzazione dei diversi processi e del loro grado di sviluppo commerciale fino alla comparazione delle prestazioni dei diversi sistemi dal punto di vista energetico e ambientale ed all'analisi e valutazione economico-finanziaria dell'investimento associato alla realizzazione e gestione del sistema integrato miniera-centrale con cattura-trasporto-stoccaggio.

Uno dei punti cruciali dell'attività è la selezione dei siti più appropriati per lo stoccaggio della CO₂, che devono essere sottoposti ad una serie di controlli che assicurino l'integrità del serbatoio di stoccaggio e dimostrino, attraverso il monitoraggio prima, dopo e durante la fase di iniezione, che è sempre garantita la sicurezza dell'uomo e dell'ecosistema.

Verranno 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 CO₂, del CH₄ 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:

- Rapporto sullo studio di prefattibilità per la realizzazione un 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 2010 - Settembre 2011

D. 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 le attività di comunicazione e diffusione dei risultati, verranno promosse specifiche di promozione dei risultati ottenuti nel campo delle tecnologie CCS e CCT .

Queste azioni coinvolgeranno anche gli istituti di ricerca universitari e non, che hanno partecipato 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.

Viene inoltre predisposto un sito web interattivo sulle tematiche e tecnologie CCS trattate.

Sarà inoltre 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 parteciperà 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.

Risultati/derivable:

- Pubblicazione di documenti e articoli scientifici, presentazione a seminari nazionali ed internazionali;
- Rapporto sulla predisposizione di un sito web interattivo sulle tecnologie CCS/CCT;
- Organizzazione di un convegno scientifico internazionale sulle CCS/CCT.
- Rapporti sulle collaborazioni alle iniziative comuni a livello internazionale

Principali partecipanti: OGS

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

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

Le attività del presente progetto sono tese a dimostrare e fare crescere la consapevolezza su due aspetti 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.

Attività di ricerca 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	Sett 2011	1350	81	30	30	1160	170	1471
A2	Studi e test su processi avanzati di gassificazione/pirolisi carbone Sulcis	Sett 2011	1200	72	26	40	0	40	178
A3	Analisi del processo Coal To Liquid	Sett 2011	1250	75	0	30	20	80	205
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)	Sett 2011	1500	90	320	45	60	100	615
B2	Studi sui processi di cattura della CO ₂ con solventi (ammine)	Sett 2011	1200	72	20	10	420	20	542
B3	Sviluppo di bruciatori avanzati per la combustione di syngas ricchi di H ₂	Sett 2011	1500	90	100	25	0	0	215
B4	Ottimizzazione del processo di ossi-combustione di polverino di carbone	Sett 2011	1500	90	100	40	0	280	510
Linea C: tecnologie di sequestro e utilizzo della CO₂ e progettazione di un impianto dimostrativo completo									
C1	Studi su tecnologie di utilizzo e fissaggio della CO ₂	Sett 2011	1200	72	0	30	0	30	132
C2	Studio e definizione preliminare di un impianto dimostrativo a carbone con cattura e confinamento geologico della CO ₂	Sett 2011	1600	96	0	10	240	180	526
D. Collaborazioni internazionali, comunicazione e diffusione		Sett 2011	600	36	30	10	30	0	106
TOTALE			12900	774	626	270	1930	900	4500

(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 1800 € 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 di ricerca sul settore 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 ad un ampio ventaglio di apparecchiature e prodotti (dagli elettrodomestici come i frigoriferi ed i condizionatori, televisori, scaldacqua, 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) oltretutto 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, il loro effetto dovrebbe essere osservabile e quantificabile a partire dalla fine del 2010. 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 tecnologie 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 700MW 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 (<50kWe), 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 performanti 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.

L'attività ha una durata complessiva di 3 anni.

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:

- *Sviluppo di specifiche per la progettazione ecocompatibile: definizione metodi e acquisizione strumentazione tecnico-scientifica*

I risultati per l'anno 2009-2010 sono consistiti nel supporto alla PA nella discussione fra gli Stati Membri e la Commissione, in seno ai Comitati di gestione delle direttive quadro Ecodesign (2009/125/CE), Etichettatura (92/75/CEE), Edifici (2001/xx/CE) e del programma Energy Star per le apparecchiature per ufficio, per la definizione dei requisiti minimi di efficienza energetica ed eco-progettazione dei principali usi finali domestici (frigoriferi televisori, lavatrici, lavastoviglie) e di prodotti industriali (motori, circolatori, pompe, ventole, ecc.). Tale supporto ha previsto una stretta collaborazione con la Commissione Europea per la messa a punto dei criteri energetici per asciugatrici, lavasciugatrici ed aspirapolvere. Un risultato particolarmente importante è stato inoltre la negoziazione dello scopo e dei contenuti delle nuove direttive quadro Etichettatura (2010/30/UE), Edifici (2010/31/UE) adottate nel giugno 2010.

Sono stati definiti e realizzati piani di informazione nei confronti della PA/enti pubblici e dei consumatori con lo scopo di una ampia diffusione della nuova etichetta energetica e della conoscenza dei nuovi criteri minimi di efficienza anche al fine di realizzare azioni di green procurement.

- *Creazione di una rete di laboratori italiani in grado di effettuare verificare la conformità degli apparecchi ai requisiti di Ecodesign*

Sono stati identificati laboratori italiani potenzialmente in grado di effettuare la conformità degli apparecchi ai requisiti di Ecodesign per quanto riguarda gli apparecchi di refrigerazione domestica. Sono stati avviati contatti con essi e, entro la fine del PAR2007, è previsto un approfondimento per la formazione del personale sui relativi protocolli di prova.

Il laboratorio di Ispra è stato potenziato in termini di strumentazione ed è stata attivata anche la capacità di testare forni elettrici.

E' stata acquistata una banca dati per l'analisi del mercato nazionale sui principali elettrodomestici "bianchi" per uso domestico (freddo, lavaggio...). E' stata effettuata inoltre una rilevazione on line sulle abitudini dell'utente finale rispetto a tali elettrodomestici, anche in relazione alla conoscenza dell'etichetta energetica e di altri parametri legati all'efficienza energetica.

- *Studi e progettazione di interventi dimostrativi per l'applicazione del modello di energia distribuita*

E' stato condotto uno studio di progettazione preliminare per un intervento dimostrativo di trigenerazione nell'edificio adibiti a mensa aziendale (edificio F13) e ad altri uffici del Centro di Ricerca ENEA della Casaccia.

Le ragioni di tale scelta dipendono dall'intenzione di sperimentare una tecnologia innovativa che si ritiene possa diventare un modello energetico efficiente di riferimento per la produzione di energia elettrica e termica (caldo e freddo) presso edifici del terziario, in un'ottica di diffusione di sistemi di generazione distribuita. L'impianto di trigenerazione è costituito da un motore a combustione interna a gas che produce contemporaneamente energia elettrica e termica, associato ad un gruppo termo-frigorifero ad assorbimento che produce parte delle frigorifiche necessarie alla climatizzazione estiva dei

locali della mensa. Tale impianto di trigenerazione, permette di aumentare l'efficienza globale del sistema e ridurre i consumi energetici e le emissioni di CO₂ associate alla climatizzazione dell'edificio. E' stata anche eseguita la progettazione esecutiva degli impianti meccanici ed elettrici tecnologici per la connessione ed integrazione degli impianti preesistenti nel fabbricato, allo scopo di ottimizzare i consumi.

E' stato condotto uno studio di fattibilità e progettazione preliminare di dimostratori di reti elettriche di distribuzione per la transizione verso reti attive, con riferimento a due differenti tipologie di rete di distribuzione aventi caratteristiche diverse:

- una rete di distribuzione connessa al sistema elettrico di potenza nazionale, costituita prevalentemente da conduttori in cavo, caratterizzata dalla presenza di due cabine di distribuzione MT/bt e da una potenza installata di qualche MVA. Tale rete alimenta l'area "Capanne" del centro ricerche ENEA della Casaccia.
- una rete di distribuzione isolata (non collegata al sistema elettrico nazionale, isola di Pantelleria) in media tensione di tipo radiale con possibilità in contro alimentazione in alcuni punti e di estensione maggiore rispetto alla prima, costituita in parte da conduttori nudi aerei ed in parte da conduttori in cavo, alimentata da una centrale elettrica dotata di gruppi di generazione di tipo tradizionale per una potenza complessiva di qualche decina di MVA.

In tali contesti sono state individuate proposte di intervento, identificazione dei possibili scenari di sviluppo e valutazione di massima dei costi di investimento e dei benefici attesi.

o *Sviluppo e diffusione di modelli per la simulazione dinamica dei distretti energetici ad alta efficienza*

E' stata conclusa la fase di installazione e collaudo dell'impianto di impianto di climatizzazione basato sulla tecnologia del solar-cooling, che sfrutta il calore prodotto con pannelli solari per alimentare delle macchine ad assorbimento (H₂O – NH₃) per la produzione di freddo, presso l'edificio F51 del Centro di Ricerca Casaccia.

Per la valutazione del calcolo dinamico del carico termico estivo sono state studiate ed integrate le tecniche di modellazione basate sulle Funzioni di Trasferimento (Trasfer Function Method) e il metodo rigoroso basato sul Bilancio Termico (Heat Balance Method). Da tale metodo ne è stato derivato un altro: l'RTS (Radiant Time Series) che attualmente è stato implementato nell'ultima versione del sistema. Inoltre, sono stati inseriti nuovi modelli di componenti tecnologici nella piattaforma software ODESSE per la progettazione ottimizzata del sistema edificio impianto.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

A. Sviluppo delle specifiche per la progettazione eco-compatibile: promozione della nuova etichetta energetica

Il nuovo Piano di Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica prevede la continuazione e il rafforzamento del supporto alla PA nella discussione fra gli Stati Membri e la Commissione, in seno ai Comitati di gestione delle direttive quadro Ecodesign, Etichettatura, Edifici e del programma Energy Star (nuovo Accordo Internazionale con gli USA in preparazione per il 2011 per le apparecchiature per ufficio), per la definizione dei requisiti minimi di efficienza energetica ed eco-progettazione e delle etichette energetiche dei prodotti relativi all'energia (beni e servizi che consumano energia nella fase d'uso o che hanno influenza sul consumo di energia quando installati) sia del settore domestico che di quello commerciale (frigoriferi commerciali); nonché la partecipazione ai comitati CEI ed IEC per la definizione dei metodi di misura per gli elettrodomestici del lavaggio su mandato della Commissione Europea. Si prevede di continuare la stretta collaborazione con le Associazioni di categoria dei produttori di apparecchi domestici e professionali per spingere l'industria nazionale a realizzare le innovazioni tecnologiche necessarie a mantenere e migliorare le attuali quote di mercato di prodotti energeticamente ed ambientalmente innovativi.

Infine sarà messa a punto una campagna di informazione, in collaborazione con l'industria e le associazioni dei consumatori, sul nuovo schema di etichettatura energetica, che sarà sviluppata non appena saranno

adottati dal Parlamento Europeo e dal Consiglio i primi Regolamenti delegati sull'etichetta energetica degli elettrodomestici (TV, frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie) la cui applicazione è ipotizzata in modo volontario a partire dal gennaio 2011.

Risultati/Deliverable:

- Supporto alla PA centrale nella negoziazione delle specifiche di progettazione eco-compatibile e dell'etichetta energetica per le cappe aspiranti, gli apparecchi di condizionamento (condizionatori) e gli apparecchi ed impianti per la produzione di acqua calda sanitaria e la climatizzazione invernale (scaldacqua e boiler) ;
- Rapporto contenente proposte per l'utilizzo delle specifiche tecniche (eco-progettazione ed etichetta energetica) per il green procurement (progetti pilota di acquisti verdi);
- Partecipazione ai comitati CEI ed IEC per la definizione dei metodi di misura per gli elettrodomestici del lavaggio;
- Sviluppo e validazione di una metodologia europea di verifica del mercato per i frigoriferi e i congelatori;
- Rapporto contenente la progettazione di azioni di comunicazione per la diffusione del nuovo schema di etichettatura energetica a partire dai principali elettrodomestici;
- Pubblicazione dei metodi di misura per gli elettrodomestici del lavaggio a supporto della legislazione comunitaria.

Principali collaborazioni: ISIS, CECED, CECED ITALIA, ANIMA

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Implementazione e controllo dell'etichettatura energetica e dei requisiti di Ecodesign

Nella precedente annualità dell'AdP è stato definito un insieme di protocolli di prova e di criteri minimi e protocolli da seguire per qualificare i laboratori che si vogliono proporre per realizzare test di verifica della conformità ai Regolamenti di Ecodesign ed Etichettatura Energetica. E' stata quindi creata una rete di laboratori che rispondono (o si sono impegnati ad adeguarsi rapidamente) ai requisiti minimi richiesti, ed è stata avviata una efficace attività di comunicazione dei criteri/protocolli e di formazione degli stessi laboratori.

L'attività prosegue nella presente annualità, contribuendo all'implementazione e al controllo dell'etichettatura energetica e dei requisiti di ecodesign per gli apparecchi domestici, professionali e commerciali: man mano nuovi prodotti vengono interessati dall'implementazione delle Direttive, è infatti necessario allineare la rete dei laboratori, eventualmente ampliando la rete stessa con altri soggetti.

In parallelo, in funzione dei nuovi prodotti, si verificherà la compatibilità delle metodologie di prova con gli attuali laboratori ENEA, valutando il possibile ampliamento della gamma di prodotti da testare.

Risultati/Deliverable:

- Aggiornamento rete dei laboratori: rapporto preliminare contenente elenco di laboratori, ciascuno con le sue caratteristiche, tipo di apparecchi su cui è possibile eseguire test, capacità di prova e riferimenti.
- Potenziamento laboratori ENEA Ispra: rapporto preliminare contenente le specifiche per il potenziamento del laboratorio in funzione della nuova gamma di prodotti da testare. Questo a valle dell'identificazione dei prodotti.
- Rapporto finale contenente elenco di laboratori, ciascuno con le sue caratteristiche, tipo di apparecchi su cui è possibile eseguire test, capacità di prova e riferimenti.
- Rapporto finale contenente le nuove caratteristiche del laboratorio, tipo di apparecchi su cui è possibile eseguire test, capacità di prova e riferimenti. Questo a valle di acquisizione della relativa strumentazione.

Durata: Ottobre 2010- Settembre 2011

C. Studi per la promozione delle tecnologie ad alta efficienza e delle ricadute sulle imprese della produzione e dei servizi

Studi, anche attraverso l'analisi dei dati provenienti da casi applicativi esemplari, per l'individuazione di meccanismi di incentivazione e misure atti ad agevolare l'autoproduzione per mezzo di tecnologie efficienti, con particolare riferimento alla cogenerazione ad alto rendimento di piccola e media taglia (tipiche per il settore dei servizi), così come stabilito dalle indicazioni del Piano Straordinario dell'Efficienza Energetica. Tali approfondimenti tecnici consentiranno di definire proposte operative per verificare gli effetti positivi del sistema dei certificati bianchi e proporre modifiche legislative da implementare in occasione del prolungamento del meccanismo oltre l'attuale soglia temporale per migliorarne l'efficacia e assicurarne la sostenibilità.

Per quanto riguarda l'analisi di strumenti innovativi, in collaborazione con istituti bancari di livello nazionale ed università, verranno messi a punto di strumenti finanziari e di aumento del capitale idonei a far sviluppare il mercato dell'efficienza energetica e a far capitalizzare le società di servizi energetici attive sul territorio, al fine di rendere disponibili per gli utenti il finanziamento tramite terzi e i contratti di rendimento energetico.

Infine, si definiranno linee guida per lo sviluppo di fondi di garanzia e strumenti in conto interesse come valida ed efficace alternativa ai finanziamenti in conto capitale per le regioni e gli enti locali.

Risultati/Deliverable:

- Studio degli impatti del meccanismo dei TEE e delle relazioni fra il sistema dei certificati bianchi e gli operatori di mercato e i progettisti.
- Studio sugli strumenti disponibili e sui limiti degli stessi per un concreto sviluppo delle ESCo e dei contratti a rendimento energetico.
- Studio sui fondi di garanzia attivati negli ultimi anni a livello nazionale e locale.
- Individuazione di 3 casi studio replicabili e idonei allo sviluppo di nuovi strumenti di credito.
- Pubblicazione di linee guida per progetti a consuntivo per 3 tecnologie e proposte di miglioramento e prolungamento del meccanismo oltre il 2012.
- Linee guida per lo sviluppo di pacchetti finanziari innovativi ed efficaci rivolti alle ESCo e ai contratti di rendimento energetico e attività di promozione in collaborazione con le banche di nuovi strumenti di credito.
- Linee guida per lo sviluppo di fondi di garanzia a livello regionale e locale.
- Rapporto contenente i risultati dell'analisi dei casi studio, con particolare focalizzazione verso i sistemi di autoproduzione

Principali collaborazioni : Politecnico di Torino. (Dip. DENER), Università di Bologna, Università di Padova (Dip. DIE), Università di Ferrara, FIRE.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

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

Sviluppo di metodologie e strumenti software per la valutazione dei risparmi energetici ottenibili, con particolare focalizzazione sui consumi del sistema edificio-impianto anche all'interno di distretti energetici territoriali. Verrà affrontato lo studio tecnico-economico di soluzioni sperimentali per il monitoraggio in rete dei consumi elettrici, nel settore terziario, e lo sviluppo di metodologie per il loro contenimento, attraverso modelli di simulazione per l'attuazione di strategie di controllo e ottimizzazione dei flussi energetici, provenienti anche da fonti non programmabili, in un contesto di distretto energetico in modo da integrare l'energia prodotta localmente senza causare criticità, per la valorizzazione del modello di generazione distribuita dell'energia. Inoltre, si procederà, in un'ottica di analisi costi-benefici, allo studio e

identificazione delle caratteristiche e delle specifiche strutturali e funzionali della rete elettrica di distribuzione e del relativo sistema di supervisione e controllo per la transizione verso un modello di rete "intelligente" per l'alimentazione di distretti energetici. La validazione delle soluzioni progettuali prospettate sarà condotta mediante analisi in ambiente simulato per mezzo di specifici software.

Risultati/Deliverable:

- Progettazione e implementazione in ambiente SIMULINK di algoritmi per la modellazione di impianti di assistiti da pannelli solari (sistemi DEC, humidifier cooling). Qualificazione e validazione, attraverso anche l'analisi dati di test case, dei modelli già implementati. Integrazione nell'ambiente di progettazione degli algoritmi per la rappresentazione e discretizzazione spaziale di superfici di varia forma, dimensione e orientamento e il calcolo del fattore di ombreggiamento istantaneo diretto e diffuso, per l'applicazione di modelli di simulazione dinamica.
- Analisi e raccolta dati di consumi elettrici nel settore dei servizi con particolare focalizzazione sui principali centri di consumo, studio di metodi, soluzioni ed architetture in grado di ridurre tali eccessi (virtualizzazione dei sistemi di calcolo, microinterrompibilità).
- Analisi e definizione delle possibili architetture di rete elettrica di distribuzione e del sistema di supervisione e controllo per l'alimentazione di distretti energetici nell'ottica di transizione verso un modello di rete "intelligente" e di penetrazione in rete di sistemi di poligenerazione distribuita.
- Identificazione delle logiche di controllo ed esercizio adottabili per assicurare adeguati livelli di affidabilità economicità e qualità del servizio energetico offerto.
- Pubblicazione del codice software che rappresenta l'implementazione del calcolo del carico latente ambientale secondo normativa UNI vigente. Rapporto contenente i risultati della validazione e qualificazione nell'ambiente di progettazione dei modelli per configurazione di impianti solar DEC e di trattamento aria a basso consumo, e configurazioni impiantistiche complete comprendenti: impianto solare-accumulo-macchina frigo-apparecchiature ausiliarie - regolazione.
- Rapporto contenente: l'implementazione dei modelli di rete elettrica di distribuzione prospettati per l'alimentazione di distretti energetici in specifici ambienti simulati; risultati della validazione e qualificazione delle soluzioni identificate mediante software dedicati e analisi costi-benefici dei possibili scenari energetici prospettati.

Principali Collaborazioni: Politecnico di Milano (Dip. BEST), Università di Roma La Sapienza (Dip. CITERA), Università di Palermo (Dip. DREAM e Dip. DIJET)

Durata: Ottobre 2010- Settembre 2011

E. Comunicazione e diffusione dei risultati

Allo scopo di informare gli operatori del settore sulle scelte fatte in sede di CE verrà 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 di workshop e seminari organizzati insieme alle associazioni di categoria.

Inoltre, verrà prodotto de materiale informativo destinato ai beneficiari finali delle attività (Enti Locali, Sistema delle Imprese, professionisti ecc.) nonché al grande pubblico, realizzato con il supporto dei produttori e delle associazioni dei consumatori, di azioni di comunicazione per la diffusione del nuovo schema di etichettatura energetica a partire dai principali elettrodomestici.

Per quanto attiene all'obiettivo B e all'attività già svolta nello stesso ambito nella precedente annualità, ovvero relativamente alla creazione di una rete di laboratori per la verifica della conformità degli apparecchi si intende organizzare un convegno di presentazione dei laboratori che già rispettano i criteri richiesti o che intendono attrezzarsi a tale fine, oltreché stimolare altre realtà a rendersi disponibile nell'ottica di orientare, in modo omogeneo su tutto il territorio, la crescita di tali centri, che possono costituire anche costituire una nuova opportunità per la creazione di posti di lavoro qualificato.

Infine, allo scopo di presentare i primi risultati delle campagne di monitoraggio effettuate sull'impianto di climatizzazione caldo/freddo, basato su tecnologia solar-cooling, installato presso il Centro di Ricerca della Casaccia, si intende organizzare un convegno. Tale evento avrà l'obiettivo di promuovere tale tecnologia ed evidenziare i benefici ottenibili.

Risultati/Deliverable:

- Produzione materiale informativo e organizzazione di workshop e seminari.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

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..).

Attività di ricerca 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	Sviluppo delle specifiche per la progettazione eco-compatibile: promozione della nuova etichetta energetica	Sett 2011	1500	90	20	40	20	0	170
B	Implementazione e controllo dell'etichettatura energetica e dei requisiti di Ecodesign	Sett 2011	1500	90	20	10	0	0	120
C	Studi per la promozione delle tecnologie ad alta efficienza e delle ricadute sulle imprese della produzione e dei servizi	Sett 2011	1650	99	20	20	140	110	389
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	Sett 2011	1850	111	70	30	20	110	341
E	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	500	30	0	50	0	0	80
TOTALE			7000	420	130	150	180	220	1100

(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>Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica</i>

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE

DENOMINAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Il prodotto è un insieme di strumenti per la razionalizzazione e il risparmio nell'uso dell'energia elettrica in illuminazione pubblica, concretizzati in situazioni pilota su scala reale e valorizzati da un piano di diffusione. L'illuminazione pubblica è uno dei settori su cui agire per raggiungere gli obiettivi del Piano d'Azione per l'Efficienza energetica in Italia, contribuendo a raggiungere gli obiettivi "20-20-20" a livello europeo. L'innovazione di prodotto sta orientandosi decisamente verso tecnologie a stato solido (LED e OLED), il cui vantaggio non è tanto in termini di efficienza energetica intrinseca dei singoli componenti base, quanto nella versatilità per produrre dispositivi orientati all'applicazione e quindi, in molti casi, competitivi con le migliori tecnologie tradizionali (in particolare lampade ad alogenuri metallici in apparecchi evoluti). E' sempre più sentita l'esigenza di una visione di sistema, per affiancare alle tecnologie più efficienti la gestione intelligente dell'impianto che permette risparmi potenziali vanno dal 20 al 50%, con tempi di ritorno degli investimenti accettabili. Inoltre l'illuminazione pubblica, se orientata verso specifiche tecnologie (Power Line Communication a banda larga) rappresenta una grande opportunità in quanto si propone come la tecnologia abilitante (in quanto permette l'integrazione di molte altre funzionalità) per città sostenibili (smart cities) su cui il SETPLAN europeo ha deciso investimenti massicci per i prossimi anni. Perché gli obiettivi di risparmio ed efficienza non restino casi isolati, è fondamentale una diffusione capillare basata su casi pilota, coinvolgendo le amministrazioni comunali, le ESCO e cercando la collaborazione con i produttori.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Non esiste a livello europeo, al momento, un quadro normativo completo sull'efficienza degli impianti di pubblica illuminazione.

Sono stati pubblicati, alla fine del 2009, due Regolamenti applicativi della Direttiva Ecodesign: il 244/2009 sulle lampade per illuminazione generale nel settore domestico e il 245/2009 sulle lampade, apparecchi e relativi alimentatori nel settore terziario, che stanno di fatto svolgendo il ruolo di "pianificatori economici" a livello europeo. E' in corso l'elaborazione di ulteriori misure sui prodotti di illuminazione. Le misure finora attivate e quelle in corso di elaborazione, sono rivolte a specifici prodotti, quali lampade, apparecchi, alimentatori. Sta tuttavia crescendo la consapevolezza che i singoli prodotti efficienti non fanno necessariamente un impianto efficiente, per cui ci sono valide proposte per focalizzare misure a livello dell'installazione completa.

E' stata recentemente pubblicata la nuova Direttiva Etichettatura Energetica, che potrebbe portare a una revisione/ampliamento della gamma di prodotti di illuminazione soggetti a Etichetta (attualmente "lampade per uso domestico").

Si stanno definendo anche, in vari ambiti a livello internazionale, parametri di qualità legati ai LED. E sta proseguendo anche a livello mondiale (Committee Internationale de l'Eclairage) la revisione dei concetti legati all'inquinamento luminoso, con possibili ricadute sulle normative e legislazioni locali.

STATO ATTUALE DELLE TECNOLOGIE

Le informazioni sullo stato attuale dell'illuminazione pubblica in Italia sono frammentarie. Si conferma la presenza di apparecchi obsoleti con sorgenti a mercurio, una certa penetrazione di apparecchi con lampade al sodio alta pressione, ioduro metallici e alcuni interventi con apparecchi a LED. C'è una tendenza verso la "a luce bianca", ottenuta da LED e dalle lampade a ioduri metallici ad arco ceramico: a questo proposito si sta approfondendo il concetto di "bianco" e di "temperatura di colore", con le implicazioni sulla scelta corretta in base all'applicazione.

In un concetto esteso di illuminazione "pubblica", che comprende non solo gli esterni ma anche gli "edifici" pubblici e altre situazioni, si assiste a una evoluzione di prodotto fortemente influenzata dall'entrata in vigore dei suddetti Regolamenti, specialmente in situazioni dove era consuetudine l'uso delle lampade a incandescenza tradizionale.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo finale è un significativo contributo al raggiungimento degli obiettivi europei di risparmio energetico nell'illuminazione pubblica: soddisfare le esigenze degli utenti finali - tramite le amministrazioni pubbliche nel rispetto dell'ambiente e con un uso razionale dell'energia. Elementi per arrivare a questo obiettivo sono:

1. Sviluppo di un nuovo sistema per il controllo completo della strada ("smart street") basato su rete di lampioni intelligenti
2. Sviluppo e qualificazione di nuove tecnologie per l'illuminazione pubblica (LED ed OLED) e valutazione delle criticità ed opportunità di impiego.
3. Sperimentazione/dimostrazione in scala reale in un paese pilota. Diffusione dei risultati ed estrapolazione delle potenzialità a livello nazionale.
4. Avvio e supporto, nel contesto del Network Lumiere, di un significativo numero di progetti di riqualificazione che abbiano come riferimento tecnologico la piattaforma tecnologica sviluppata.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Le attività del Progetto sono la continuazione di quelle iniziate nelle precedenti annualità: è stata avviata la realizzazione un primo impianto sperimentale per situazioni complesse e ripetibili, con conseguente trasferimento tecnologico e diffusione verso stakeholders del settore; è stato, in particolare, selezionato un paese campione, Marcallo con Casone, comune lombardo, area Nord-Ovest di Milano, circa 6000 abitanti, che rappresenta una situazione italiana molto tipica e ripetibile. E' stata coinvolta l'amministrazione comunale, la quale è anche parte di una ESCO pubblico-privata con esperienza in interventi di efficienza energetica. Sono state individuate zone campione: essenzialmente una piazza di pregio, una via urbana, una rotonda, un parco. Per queste zone sono state elaborate proposte per il rifacimento dell'impianto di illuminazione pubblica, con analisi sulla potenzialità di risparmio energetico rispetto alla situazione attuale, basate su monitoraggio o simulazione. Il Comune ha in corso la gara per la realizzazione dei nuovi impianti. Nello stesso Comune viene realizzata una campagna di monitoraggio sull'inquinamento luminoso.

In parallelo si è svolta una attività di sviluppo software aggiungendo nuove funzionalità alla piattaforma per progettazione illuminotecnica assistita già esistente, allargando il campo di applicazione all'illuminazione

pubblica. Infine è stata sviluppata una visualizzazione in realtà virtuale di una zona campione di Marcallo come aiuto ai progettisti e ai potenziali decisori.

La ricerca sperimentale su prodotti innovativi ha portato all'evoluzione del lampione fotovoltaico "STAPELIA", ottimizzato nella gestione elettronica e fotometrica con l'utilizzo di LED di potenza.

Nell'ottica della sperimentazione/dimostrazione sul campo, è stata effettuata una campagna di monitoraggio sull'impianto di illuminazione innovativo realizzato presso il capannone industriale di AleniaAermacchi, che ha permesso di validare pienamente le ipotesi di risparmio energetico simulate.

L'attività in campo prenormativo / normativo ha portato all'analisi di nuovi requisiti di progettazione ecocompatibile, secondo Direttiva Europea ERP (Energy Related Products, cd "ecodesign") che sostituisce la Direttiva EUP (Energy Using Products) per dispositivi di illuminazione: in particolare lampade direzionali e apparecchi per uso domestico. In ambito nazionale, si è lavorato in UNI su proposte di norme hanno riguardato regolatori di flusso luminoso, illuminazione delle gallerie e in CEI su una nuova attività sull'efficienza energetica degli impianti.

E' stato infine lanciato il network Lumiere per creare le condizioni di una replicazione sul territorio della piattaforma tecnologica sviluppata. In questo network partecipano comuni (e diversi stakeholders della PA) ed operatori dell'offerta (ESCO; multi-utilities, produttori, facilitatori e promotori della sostenibilità). Al network hanno aderito circa 50 paesi per associazione diretta e circa 400 attraverso le associazioni cui fanno riferimento (con cui sono stati fatti accordi di partenariato). Attraverso il network sono stati raccolti un numero significativo di dati riferiti agli impianti di illuminazione dei paesi aderenti su cui sono state effettuate analisi di potenziali di risparmio energetico, sono stati avviati diversi audit energetici, e' stata svolta un attività di diffusione e di formazione sui contenuti del progetto e sulle opportunità di risparmio energetico.

Le attività proseguiranno con lo sviluppo di tecnologie di sistema per l'aumento dell'efficienza energetica nel settore dell'illuminazione pubblica, in termini di progettazione, integrazione e gestione intelligente di un intero distretto (paese, quartieri urbani, strutture del terziario...). Vengono confermate le ricerche e sviluppo su tecnologie innovative e la vocazione applicativa e dimostrativa del progetto.

La ricerca si focalizzerà sui LED ed OLED, in possibile accoppiamento con alimentazione fotovoltaica. I LED offrono prospettive interessanti per le situazioni in cui privilegiare illuminazione direzionale (ad esempio un arredo urbano in un'area pedonale, senza dispersione di luce verso il cielo). Gli OLED, al contrario, sono sorgenti luminose estese, potenzialmente promettenti per applicazioni dove la luce diffusa è l'esigenza principale, senza problemi di abbagliamento. Verranno effettuate sperimentazioni in laboratorio ed in campo, correlate con le installazioni ICT per valutarne prestazioni e criticità d'uso.

Verrà condotta una analisi completa tecnico-economica delle sperimentazioni del già citato paese pilota, valutate le prestazioni ed i risparmi energetici conseguiti. In base a questi verranno implementate nuove funzionalità nella direzione delle smart cities. Saranno analizzate altre situazioni campione, rappresentative di diversi tipi di utilizzo, con proposte per nuovi impianti. Sulla base della esperienza verranno valutate le opportunità competitive e le barriere applicative emerse durante lo sviluppo del paese pilota. Verrà estrapolata infine la potenzialità in termini di risparmio energetico sul territorio nazionale, eventuali misure incentivanti (o coercitive) che potrebbero favorire la penetrazione sul territorio, eventuali sviluppi tecnologici che potrebbero migliorare la diffusione.

Verranno ampliati gli obiettivi progettuali nella direzioni delle "smart cities". Si tratta di avanzate tecnologie ICT (smart services) per lo sviluppo delle città sostenibile. La particolarità delle nuove architetture tecnologiche che si vanno affermando è che la gran parte della infrastruttura ICT e della "sensor network" della città poggia sulla rete della illuminazione pubblica. Ogni lampione evolve verso la direzione del "lampione intelligente" che tramite power line ad alta velocità di recente sviluppo, comunica attraverso il cavo elettrico con le cabine e poi tramite internet ai serve dedicati. Le nuove power line hanno velocità ed affidabilità tali da permettere molte altre funzioni che poggiano sul lampione tra cui: sistemi di monitoraggio dei veicoli ed interazione con il sistema di regolazione del traffico, monitoraggio ambientale, gestione del trasporto pubblico, monitoraggio di edifici pubblici, supporto di sistemi di display al pubblico per infomobilità ed informazione turistica, sicurezza (videosorveglianza), sanità (emergenze) ed infine

comunicazione (antenne cellulari e wifi point). In questo contesto il sistema di illuminazione pubblica diventa strategico per una molteplicità di scopi e rappresenterà la base su cui molte altre reti poggiano.

Saranno sviluppati nuovi strumenti per fornire ai paesi aderenti al network Lumiere supporto sia nell'analisi delle potenzialità e costi della riqualificazione della illuminazione del proprio paese e sia nella identificazione delle migliori soluzioni tecnologiche e economico-finanziarie. L'attività si propone di incrementare considerevolmente il numero degli audit energetici e di supportare, negli audit e nei progetti applicativi, l'inserimento della piattaforma tecnologica sviluppata. Verranno diffusi i risultati ottenuti sul paese pilota e trasferite le tecnologie e linee guida sviluppate.

Proseguirà l'attività normativa / prenormativa, a livello nazionale (UNI, CEI), europeo (sull'implementazione delle Direttive) e mondiale (CIE).

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-08

A. Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della "Smart Street"

"Smart Street" è un sistema che poggia sulla rete della illuminazione pubblica di una strada in cui i lampioni sono "intelligenti e multifunzionali", ossia equipaggiati con sensori di varia natura ed attraverso sistemi di comunicazione avanzati (power line ad alta velocità ed interazione web) interagiscono con un sistema intelligente in grado di ritracciare continuamente il profilo di attività (persone, veicoli, emissioni) della strada in base al quale attivare una regolazione adattiva ed automatica per l'intero anno, del flusso luminoso punto-punto ed altre funzionalità. Il sistema si presta particolarmente per importanti arterie veicolari o pedonali cittadine (es: raccordo anulare, strade/piazze principali del centro storico) dove il consumo elettrico per l'illuminazione è particolarmente significativo e la regolazione è critica e permette di salvare grandi quantità di energia. Verrà sviluppato un prototipo e sperimentato su una realtà cittadina.

Risultati/Deliverable:

- Tool software per la analisi dei dati della "sensor network" urbana, sistema di predizione della richiesta di illuminazione, regolazione adattativa del flusso luminoso (rapporto tecnico descrittivo della metodologia e della sperimentazione).

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre

Durata: Ottobre 2010 -Settembre 2011

B. Ricerca sperimentale e qualificazione sistemi di illuminazione innovativa

Attività di ricerca su LED / OLED porteranno a sviluppare 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. Saranno eseguite misure della distribuzione spettrale nello spazio di sorgenti e apparecchi a LED, anche in supporto alla piattaforma software per la progettazione sviluppata in precedenza. Saranno progettati uno o più prodotti di illuminazione, per quanto riguarda la parte ottica e di design, e ne saranno definite le funzioni "innovative", che questo dispositivo dovrebbe essere in grado di svolgere (es. integrazione del rilevamento del flusso di traffico e conseguente modulazione del flusso luminoso emesso, integrazione con un sistema fotovoltaico per centri luminosi isolati privi di alimentazione attraverso la rete pubblica). La progettazione terrà conto delle indicazioni che verranno proposte dall'appena insediato CIE TC3-50 sulle misure di qualità visiva ottenibile tramite LED. Sarà esaminato l'impatto dell'illuminazione artificiale notturna sull'ambiente naturale.

Proseguirà l'attività di ricerca sperimentazione sulla visualizzazione in realtà virtuale.

Risultati/Deliverable:

- Modello di affidabilità degli apparecchi a LED (rapporto), prototipo di prodotto di illuminazione, distribuzione spettrale di sorgenti e apparecchi a LED (rapporto), valutazione di impatto di illuminazione artificiale sull'ambiente (rapporto), visualizzazione in realtà virtuale

Principali collaborazioni: Università Milano Dip. Informatica e Comunicazione, Politecnico Milano Dip. InDACO, Università Roma Sapienza Dip. Fisica Tecnica

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

C. Realizzazione pilota di illuminazione efficiente in una situazione applicativa complessa: implementazione di nuove funzionalità

Verrà effettuato un monitoraggio sul campo degli interventi già effettuati nel Comune pilota, per una valutazione sperimentale del risparmio energetico e del maggior comfort visivo ottenuti. Nello stesso Comune saranno analizzate altre situazioni campione, con proposte per nuovi impianti (ad esempio un sottopasso, quartieri residenziali...) estendendo eventualmente il campo anche ad altre realtà significative (ad esempio le luci votive del Cimitero, i semafori, ambienti interni "pubblici" quali tensostruttura polivalente o biblioteca). La campagna sull'inquinamento luminoso verrà integrata, partendo dalle misure in ambiente extraurbano, con misure in ambiente urbano

Risultati/Deliverable:

- Impianto sperimentale/dimostrativo in paese pilota, monitoraggio impianto (rapporto), monitoraggio e analisi inquinamento luminoso (rapporto), indagine segmenti di mercato illuminazione (banca dati)

Principali collaborazioni: INRIM, AIDI, Associazioni Costruttori, Comune Pilota

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

D. Contributo alle attività prenormativa e normativa

Proseguirà l'attività normativa/prenormativa: saranno portati in ambito CIE i risultati più significativi delle attività sull'inquinamento luminoso, si daranno contributi all'implementazione delle Direttive Europee (oltre alla nuova ERP, è stata recentemente pubblicata la nuova Direttiva sull'etichettatura energetica).

Risultati/Deliverable:

- Rapporti tecnici

Durata: ottobre 2010-settembre 2011

E. Comunicazione e diffusione dei risultati

Il progetto prevede un'ampia fase di diffusione dei risultati per la replicazione sul territorio della piattaforma tecnologica sviluppata. Saranno intraprese diverse iniziative, per promuovere presso i Comuni del network Lumiere, la realizzazione d'interventi di riqualificazione energetica degli impianti d'illuminazione pubblica, la replicazione del Progetto Pilota, la effettuazione di audit energetici e la redazione del proprio Piano regolatore dell'illuminazione pubblica, l'accesso ad un database di casi pilota e realizzazioni.

Verrà anche sviluppato uno strumento software semplificato, dedicato ai tecnici comunali ed accessibile via web, per l'analisi preliminare delle potenzialità di efficientamento dell'impianto di illuminazione del proprio comune, relative soluzioni tecnologiche ed opportunità economiche.

Verrà inoltre svolta una attività per la comunicazione dei risultati e delle guide tecniche. In particolare la comunicazione si articolerà su una diffusione scientifica per quanto attiene alle tematiche di ricerca sulle

tecnologie innovative (conferenze, seminari, paper) e sul network Lumiere per la comunicazione dei risultati del progetto (sito web, newsletter, workshop, corsi di formazione, brochure e videoclip, partecipazione a mostre nazionali).

Risultati/Deliverable:

- 15 audit energetici gratuiti presso Comuni individuati quali particolarmente sensibili alle problematiche relative alla riqualificazione energetica degli impianti illuminazione pubblica.
- 2 giornate di formazione per i referenti comunali del settore illuminazione pubblica, una al Nord ed una al centro-sud Italia, 2 workshop di diffusione dei risultati conseguiti. Perfezionamento del Sito internet dedicato al Progetto già sviluppato nel PAR 2007 ed esteso nella direzione dei smart services, relazione sulle attività di comunicazione.

Principali collaborazioni: Associazioni ESCO, CONSIP, ANCI, ASSIL, Associazioni comunali, provincie, comuni del Network Lumiere

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

BENEFICI PREVISTI PER L'UTENTE DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE DALL'ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

Il caso pilota scelto rappresenta una realtà italiana tipica per cui è possibile una notevole replicabilità: l'interesse dimostrato dal Network dei Comuni (Lumiere) ne è un esempio rilevante.

Inoltre il progetto può essere portato come esempio anche ai tavoli normativi e legislativi a livello nazionale, europeo e mondiale su efficienza energetica, comfort visivo, ecodesign, inquinamento luminoso...

Infine il progetto può generare a tutti gli effetti un modello di illuminazione pubblica molto più integrato nella città, grazie alle soluzioni tecnologiche scelte che candidano la rete a diventare la piattaforma tecnologica su cui aggregare molte più funzionalità quali monitoraggio del traffico e della qualità ambientale, dei consumi degli edifici e della valorizzazione del patrimonio urbano e culturale (smart cities). Tutto ciò rende il modello molto più competitivo ed attraente e può rappresentare la chiave di volta per la diffusione capillare della efficienza energetica in questo settore.

Attività di ricerca 3.2 "Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica"
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 sistemi intelligenti per la gestione della "Smart Street"	Sett 2011	750	45	50	15	60	50	220
B	Ricerca sperimentale e qualificazione sistemi di illuminazione innovativa	Sett 2011	1250	75	80	55	0	50	260
C	Realizzazione pilota di illuminazione efficiente in una situazione applicativa complessa: implementazione di nuove funzionalità	Sett 2011	1000	60	45	40	40	80	265
D	Contributo alle attività prenormativa e normativa	Sett 2011	500	30	0	10	0	0	40
E	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	750	45	0	30	40	0	115
TOTALE			4250	255	175	150	140	180	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	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

La domanda di efficientamento energetico degli edifici ed in particolare l'esigenza di migliorare la prestazione energetica dell'involucro, opaco e trasparente, e degli impianti di condizionamento degli ambienti, è aumentata considerevolmente negli ultimi decenni e il trend è ancora fortemente in crescita. I materiali e componenti di involucro e le tecnologie tradizionalmente utilizzate per il condizionamento invernale ed estivo (sistemi a compressione con motori elettrici) e l'illuminazione 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.

Il Piano nazionale, in accordo con la Direttiva Europea, individua una serie di misure per il miglioramento dell'efficienza energetica che prevede nel settore del civile (residenziale e terziario) l'obiettivo di risparmio energetico pari a 81.530 GWh al 2016. Si tratta di obiettivi di risparmio energetico impegnativi ma possibili, tenendo conto delle iniziative già messe in atto, quali ad esempio: il contenimento dei consumi energetici negli edifici, alcuni interventi di fiscalità a favore del risparmio energetico previsti nella attuale Legge Finanziaria ed il quadro normativo vigente, tra cui il DLgs. 192/05 e s.m.i. ed il DLgs 115/08. Da considerare, inoltre, i nuovi indirizzi della Direttiva 31/2010 che fissa particolari valori prestazionali per gli edifici del settore pubblico che dovranno rispettare standard di consumo a energia quasi zero.

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, pertanto, gestita attraverso lo sviluppo di sistemi e componenti innovativi, anche in partenariato con il mondo produttivo, tenendo conto della situazione del mercato lato domanda e lato offerta.

SITUAZIONE ATTUALE DEL PRODOTTO DELL'ATTIVITÀ

Attualmente in Italia non esiste una normativa definita che consenta il calcolo del fabbisogno energetico per il condizionamento degli edifici e la produzione di acqua calda sanitaria. Come già detto 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.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

Lo scopo delle attività è di definire e mettere a disposizione degli operatori del settore le opzioni e i pacchetti di tecnologie che consentono di raggiungere l'obiettivo di efficienza energetica evitando incrementi significativi dei costi di costruzione e considerando i benefici in termini di risparmi energetici generati tramite lo sviluppo di tecnologie, sistemi e componenti per il controllo, gestione e regolazione degli impianti di condizionamento, elettrici e illuminazione, considerando i profili di utenza e gli scambi energetici con la rete elettrica, utilizzando l'applicazione di tecnologie e sistemi intelligenti avanzati per il sistema integrato edificio- impianto- clima- utente (Smart Building). Queste attività saranno applicate in un edificio-dimostratore ad alta efficienza energetica con la valenza della replicabilità degli interventi negli edifici esistenti e di applicabilità in quelli nuovi.

In particolare, saranno analizzate le possibili opzioni tecnologiche che consentono al settore edilizio di rispettare la disposizioni della nuova direttiva comunitaria in tema di rendimento energetici degli edifici che obbliga le nuove costruzioni realizzate dopo il 2020 ad essere ad "emissioni quasi zero" e che gli interventi di riqualificazione degli edifici esistenti siano finalizzate ad ottenere i minori consumi energetici possibili tenendo conto anche del parametro costi/benefici.

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ A TERMINE

Le attività che verranno portate avanti sono le seguenti:

- *Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile*
Sviluppo di tecnologie, sistemi e componenti per il controllo, la gestione e la regolazione degli impianti di condizionamento, elettrici e illuminazione, finalizzati 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 si prevede di utilizzare il Laboratorio Casa Intelligente dell'Enea in cui sarà possibile effettuare le azioni di R&S su componenti e dispositivi.
- *Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale*
Sviluppo e sperimentazione di materiali innovativi (termo cromatici, a selettività spettrale,...) 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 analisi di componenti trasparenti innovativi per l'involucro edilizio*
Completamento delle attività sperimentali in corso per la determinazione delle proprietà energetiche e luminose di materiali trasparenti complessi e semitrasparenti. Sviluppo di sistemi di controllo per l'involucro dinamico. Progettazione di sistemi schermanti innovativi per l'edilizia non residenziale

- *Efficienza energetica in edifici di pregio architettonico con destinazione non residenziale/aree archeologiche di proprietà pubblica*
Sviluppo di una metodologia per l'analisi e le indagini sul sito e/o sull'edificio; elaborazione di schede tecniche di riferimento per materiali, componenti e sistemi degli interventi più ricorrenti; 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.

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". 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 ambito europeo e nazionale 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 e 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 agli consumi degli edifici, applicata a "centri commerciali". Questa metodologia necessita di ulteriori sviluppi e 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 alla regione Lombardia, per essere estesa negli anni a seguire alle altre regioni. E' stata sviluppata una metodologia per il calcolo dell'Indice di Severità del Clima. L'attività necessita di verifiche e messe a punto per cui se ne 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.
- Partecipazione agli Implementing Agreement 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 .
- Caratterizzazione di materiali e componenti semitrasparenti (componente vetrato più elementi schermanti) di facciata: individuazione delle tipologie e famiglie di prodotti trasparenti ed ombreggianti e nella definizione delle loro proprietà energetiche e luminose più rilevanti e 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. Determinazione dell'influenza dei sistemi semitrasparenti sulle prestazioni energetiche e luminose degli edifici. E' stato sviluppato un modello di calcolo per le proprietà ottiche e termiche dei sistemi trasparenti secondo le norme nazionali vigenti ed ai fini del calcolo dell'indice di prestazione energetica.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

A. Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva

Sulla base della metodologia sviluppata nel corso dell'annualità precedenti, e già applicata alle regioni del centro-nord, verrà estesa a tutto il territorio nazionale l'elaborazione delle nuove serie di dati climatici contenute nella norma UNI 10349.

A partire dalla metodologia di calcolo dell'Indice di severità del Clima, messa a punto precedentemente, verrà realizzata una proposta di zonizzazione ai fini della determinazione dei limiti di consumo ammissibili per la climatizzazione estiva, risultando pertanto fondamentale per la corretta applicazione delle norme UNI TS 11300.

Risultati/Deliverable:

- Proposta di zonizzazione del territorio nazionale ai fini del contenimento dei consumi energetici per condizionamento in base all'Indice di Severità del Clima;
- Elaborazione di nuovi dati climatici per la progettazione invernale degli edifici.

Principali collaborazioni: CTI

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

B. Edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, Applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani

Verrà proseguita la attività impostata nel corso del primo anno e che ha prodotto un set di edifici tipo ad uso ufficio, alberghiero e scolastico. Si prevede di allargare l'indagine alle tipologie: grande distribuzione commerciale, Istituti di credito e Assicurativi. L'attività di calcolo dei benchmark verrà svolta mediante campagne di monitoraggio, e attraverso campagne di simulazione dinamica condotte sugli edifici tipo identificati nel corso del primo anno e all'inizio del secondo anno di attività. Si prevede di poter sottoporre il singolo edificio ad una attività di monitoraggio sufficiente in modo da ottimizzare i sistemi disponibili e di monitorare un numero sufficiente di edifici nei mesi di interesse per le stagioni invernale ed estiva.

Verrà infine realizzato uno studio con la definizione di indici di applicabilità e di potenzialità (risparmi ottenibili rispetto a componenti convenzionali, frazione solare etc.) di componenti di impianto innovative.

L'attività risponde alle disposizioni introdotte con il Dlgs 115/08 in materia di monitoraggio dei consumi degli edifici ed alla revisione della Direttiva 2002/91/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:

- Edifici Tipo per: edilizia grande distribuzione commerciale, Istituti di credito e Assicurativi ed ospedaliera;
- Definizione dei benchmark di consumo per le seguenti destinazioni d'uso: edilizia grande distribuzione commerciale, Istituti di credito e Assicurativi ed ospedaliera.

Principali collaborazioni: CRESME (Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l' Edilizia e il Territorio) , Università di Pisa, Politecnico di Milano (BEST), FIRE

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

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 poco "user friendly". La ricerca ha lo scopo di definire e sviluppare soluzioni, ad elevata valenza tecnologica, integrate nel complesso edilizio, 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 lo sviluppo, applicazione e la 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 integrando a sistema gli 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. Un risultato che si prevede di conseguire è quello della definizione di un kit domotico "fai da te", indirizzato all'utente, facilmente utilizzabile dall'utente con un minimo di una assistenza tecnica.

A tal fine si prevede di utilizzare il Laboratorio Casa Intelligente dell'ENEA CASACCIA in cui sarà possibile effettuare le azioni di R&S dei componenti e dispositivi.

I risultati delle attività di sviluppo tecnologico saranno trasferiti agli utenti e al mercato in senso più ampio, con ricadute positive di risparmio energetico e di sviluppo economico e occupazionale.

Risultati/Deliverable:

- Individuazione dei sistemi e valutazioni sulle tecnologie e sistemi e stesura di linee guida

Principali collaborazioni: Università, Operatori del settore, Associazioni di categoria

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

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.

Le attività prevedono: la definizione, lo sviluppo e l'applicazione di tecnologie, sistemi e componenti finalizzati al contenimento dei consumi energetici ed alla riduzione di emissioni di gas climalteranti; la definizione di una metodologia, di schede tecniche di riferimento per gli interventi più ricorrenti; la stesura di linee guida, propedeutiche alla redazione di un piano di intervento per la riduzione dei consumi e della emissioni di gas serra, dei costi per la gestione e di quelli per la manutenzione del sistema edificio-impianto, tenendo presenti le caratteristiche di pregio architettonico dell'edificio/area.

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.

La metodologia di ricerca ed intervento potrà inoltre rappresentare un modello replicabile in altri contesti e su altri edifici/aree archeologiche presenti sul tutto il territorio nazionale.

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 MiSE 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:

- Individuazione del caso studio e prime valutazioni sulle tecnologie e sistemi, stesura di linee guida.

Principali collaborazioni: Università

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

E. Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio

Il costante aumento dei consumi energetici, prevalentemente elettrici, è legato alla domanda sempre crescente per la climatizzazione estiva a livello nazionale ed europeo. Il fenomeno è legato, tra gli altri, alla maggiore richiesta di comfort di una parte sempre più estesa della popolazione ed ai cambiamenti climatici, con un innalzamento delle generalizzate temperature. Tale aumento assume dimensioni preoccupanti all'interno dei grandi agglomerati urbani, con il fenomeno dell'isola di calore urbana. Con il termine di Cool Material sono indicati quei materiali in grado di innalzare la propria temperatura di pochi gradi sotto l'effetto della radiazione solare, grazie ad una elevata riflessione solare ed una elevata emittanza termica.

L'utilizzo di Cool Material per le coperture e le facciate degli edifici limita l'apporto solare e quindi la richiesta energetica per il raffrescamento. L'utilizzo di questi materiali riduce la temperatura dell'aria in ambiente urbano, migliorando il comfort termico e riducendo il salto termico tra ambiente interno ed esterno, con riduzione della richiesta di fabbisogno per raffrescamento per gli edifici. Infine l'utilizzo di materiali generalmente chiari consente di ridurre la potenza degli impianti di illuminazione esterna a parità di prestazione illuminotecnica e riveste quindi una notevole importanza per l'efficienza energetica negli usi finali, in particolar modo quelli elettrici, legati alla riduzione dei regimi termici durante la stagione estiva

Obiettivo della proposta è la dimostrazione delle potenzialità di risparmio energetico conseguibili a scala urbana e di edificio con l'utilizzo di Cool Material. Per il raggiungimento di questi obiettivi sono necessarie una serie di azioni: analisi dei materiali disponibili; tipo di applicazione (coperture e sistemi schermanti, degli edifici, pavimentazioni stradali, pavimentazioni di aree pedonali); sviluppo di nuovi materiali (termo cromatici, a selettività spettrale); potenzialità di risparmio energetico di ogni tipologia di applicazione; progetti dimostrativi; analisi dell'impatto della riduzione dell'isola di calore urbana sui consumi energetici a scala urbana e di edificio.

I risultati della ricerca saranno utilizzati da MSE per la definizione degli interventi di efficienza energetica negli edifici ed a scala urbana e l'individuazione delle politiche di sviluppo industriale.

Risultati/Deliverable:

- Valutazioni di tecnologie esistenti per l'efficienza energetica a scala urbana e di edificio;
- Sviluppo e valutazione di materiali innovativi.

Principali collaborazioni: Università, Istituti di Ricerca

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

F. 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, è prevista la partecipazione a congressi sulle tematiche specifiche e mediante la pubblicazione di articoli sulle riviste nazionali e internazionali del settore e di documenti editi dall'ENEA.

Per le attività di comunicazione e diffusione si utilizzerà il sito web dell'ENEA "Ricerca Sistema Elettrico" nel quale sono già presenti i risultati delle singole attività tramite la pubblicazione, visionabili e scaricabili dagli utenti, dei rapporti tecnici prodotti.

In particolare tale sito sarà strutturato per fornire informazioni sugli eventi che saranno organizzati per la diffusione dei risultati, in cui ENEA partecipa istituzionalmente.

Sarà assicurata la partecipazione 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.

Risultati/Deliverable:

- Pubblicazione di documenti e articoli scientifici, presentazione a seminari nazionali ed internazionali;
- Rapporti sulla partecipazione all'IEA ECBCS.

Principali collaborazioni: Università

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

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.

**Attività di ricerca 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	Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva	Sett 2011	1670	100	0	10	70	0	180
B	Edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, Applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani	Sett 2011	1330	80	0	0	190	50	320
C	Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile	Sett 2011	1835	110	90	30	0	50	280
D	Efficienza energetica in edifici di pregio architettonico con destinazione non residenziale/aree archeologiche di proprietà pubblica	Sett 2011	1835	110	80	30	50	55	325
E	Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio	Sett 2011	1330	80	80	20	0	45	225
F	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	1000	60	0	10	0	100	170
TOTALE			9000	540	250	100	310	300	1500

(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). 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. Attualmente esistono diverse componenti tecnologiche per la realizzazione di sistemi di raffrescamento solare, tuttavia non esiste ancora una soluzione tecnologica integrata di facile applicazione, con il risultato che gli impianti di questo tipo sono ancora per lo più di tipo sperimentale e come tali molto costosi e poco competitivi.

Il progetto ha lo scopo di definire e sviluppare un sistema integrato che sia robusto, competitivo e di riferimento per il "sistema Italia", in grado di assolvere l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale. Il progetto consentirà inoltre di comprendere in quali condizioni climatiche, con quali tecnologie e con quale politica di supporto possa essere avviata un'azione che porti ad una diffusione di massa di sistemi di climatizzazione basati sull'energia solare o comunque assistiti da fonti rinnovabili.

Va anche osservato che i sistemi di climatizzazione assistiti da solare possono far ricorso alla integrazione di tecnologie diverse, quali l'impiego in varie forme di sistemi basati su tubi di calore (*heat pipe*). Va infine rilevato che, per migliorare la competitività del sistema, è interessante indagare le potenzialità di impiego invernale di un sistema di solar cooling: il progetto si dedicherà pertanto anche allo studio del comportamento delle pompe di calore elio assistite in periodo invernale.

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.

L'attività di ricerca sul solar cooling è invece attiva pressoché in tutti gli atenei ed enti per la ricerca, anche se prevalentemente con studi e simulazioni al computer, sia sui sistemi ad essiccazione che su quelli basati sulle macchine ad assorbimento.

La tecnologia è considerata con grande interesse, ma è al momento penalizzata dai costi di investimento elevati dovuti a componenti di limitata produzione industriale quali pannelli solari a concentrazione,

macchine ad assorbimento e sistemi di essiccazione. Si deve considerare che tutti questi componenti, salvo pochissime eccezioni, siano di costruzione estera.

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 ~ 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, al prezzo 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, si ritiene necessario post-riscaldarla utilizzando energia termica: questa energia è fornita dagli heat pipe, senza dover far ricorso a caldaie integrative o batterie di post riscaldamento 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 condotta la simulazione con il codice TRNSYS di una pompa di calore elettrica reversibile, tipo acqua/acqua accoppiata a pannelli solari a bassa temperatura sul circuito invernale dell' evaporatore, per valutarne prestazioni stagionali in differenti climi italiani (Milano, Roma, Palermo). La stessa macchina è stata poi virtualmente equipaggiata di sonde geotermiche per opportuna comparazione e valutazione tra le differenti tecnologie;
- è stata effettuata la ricognizione delle prestazioni di sistemi esistenti ed individuazione dei fattori di criticità. I lavori si sono concentrati sull'impianto di solar cooling realizzato presso un edificio del Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA. Su questo impianto sono stati effettuati test di produzione solare e si sta migliorando la logica di regolazione e controllo;
- 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; 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;
- sono stati specificati ed acquistati tutti i componenti per realizzare la stazione di prova per pompe di calore elioassistite presso la sala prove CAPOC 2 del Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA;
- è stato completato lo studio preliminare per selezionare il ciclo termodinamico da adottare per i prototipi di macchina ad assorbimento acqua/ammoniaca per il solar cooling reversibili da realizzare, e sono stati progettati e approvvigionati tutti i componenti dei prototipi; le macchine avranno una

alimentazione mista Gas-Solare e potranno essere azionate tramite calore a 100 °C proveniente da un campo solare del tipo a tubi evacuati;

- è stata effettuata un'analisi dal punto di vista teorico per l'individuazione dei parametri fondamentali caratterizzanti un heat pipe. E' stato progettato un circuito di test per la sperimentazione, individuati tutti i componenti che lo realizzano compreso il sistema di supervisione delle principali grandezze fisiche che permettono la caratterizzazione dell'heat pipe. E' stato realizzato il circuito per la prova del prototipo di collettore, in grado di caratterizzare l'heat pipe e di permetterne una scelta appropriata in funzione della destinazione d'uso (es. produzione acqua calda sanitaria, abbinamento con pompe di calore, etc.).
- è stata effettuata l'ottimizzazione termofluidodinamica ed il dimensionamento di uno scambiatore di calore in controcorrente con layer adsorbenti e raffreddamento evaporativo indiretto (desiccant compatto: ECOS) per impianti innovativi di solar air-conditioning a ciclo aperto destinati ad utenze industriali e commerciali. E' stata quindi completata la progettazione generale dello scambiatore;
- è stata assicurata la partecipazione italiana ai gruppi di lavoro IEA - Solar Heating and Cooling e SolarPACES.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

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 e analisi sperimentale di due pompe di calore ad assorbimento del tipo ad acqua-ammoniaca. La scelta di realizzare due prototipi quasi identici permetterà di verificare le soluzioni costruttive più adatte all'impiego di queste macchine al variare del livello di temperatura richiesto dai vari sistemi di distribuzione del calore utilizzati durante la stagione di riscaldamento.
- A2. Analisi sperimentale sugli heat pipe per verificarne il comportamento termico al variare della geometria, del fluido di riempimento, del grado di vuoto e della sua inclinazione. L'obiettivo è creare un legame tra questi parametri e le prestazioni da utilizzare per ottimizzarne l'impiego rispetto alla 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.
- A3. Monitoraggio dell'Edificio F51 Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA, che è stato dotato di un impianto di solar cooling opportunamente strumentato. L'analisi del comportamento di un impianto di solar cooling realmente funzionante, consentirà la validazione dei modelli utilizzati per la simulazione del complesso Edificio-Impianto. Con questa attività si intende ottimizzare il simulatore affinché dia risultati di previsione il più possibile vicini a quelli reali.
- A4. Messa in funzione e analisi sperimentale del prototipo di macchina elio assistita. L'obiettivo è quello di verificare le prestazioni stagionali ed il range di funzionamento di questo tipo di applicazioni, oltre a validare il metodo di simulazione utilizzato per la progettazione preliminare.
- A5. Sviluppo di una facility per la caratterizzazione di sistemi solar cooling integrati in un edificio sperimentale, altamente strumentato e con utenza simulata. Tale sistema sarà realizzato con una pompa di calore ad assorbimento reversibile installata sull'edificio denominato "Casa Intelligente" esistente presso il C.R. Casaccia dell'ENEA.

- A6. Analisi sperimentale di una pompa di calore che impiega come fluido refrigerante la CO₂ (R744), abbinata a dei collettori solari, del tipo a tubi evacuati, utilizzando gli heat pipe oggetto di ricerca nell'azione A2. Oltre all'evidente interesse di una prima applicazione pratica di tubi evacuati realizzati con gli heat pipe, l'impiego di una pompa di calore a CO₂ potrebbe permettere, grazie all'apporto del sole e, quando non sufficiente, attraverso la pompa di calore utilizzando energia elettrica, di produrre acqua calda fino alla temperatura massima di 65°C anche qualora la temperatura esterna fosse prossima ai -25°C. L'attività prevederà dapprima la prova dei vari componenti costituenti la pompa di calore, e, successivamente, la realizzazione di un prototipo ottimizzato da potere abbinare a degli heat pipe sviluppati ad hoc per questa applicazione. Sarà inoltre allestita una facility per la caratterizzazione della pompa di calore abbinata agli heat pipe, integrati in un edificio sperimentale, altamente strumentato e con utenza simulata.
- A7. A completamento di una azione già intrapresa nella precedente annualità, verrà reso accessibile via web il geodatabase open source dei Dati geo-litologici nazionali; il geodatabase sarà 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.

Risultato/Deliverable:

- Prototipi di due pompe di calore ad assorbimento del tipo ad acqua-ammoniaca e rapporto tecnico.
- Rapporto tecnico sulla sperimentazione heat pipe.
- Rapporto tecnico sul monitoraggio impianto solar cooling Ed F51 e sul modello di simulazione del complesso Edificio-Impianto.
- Rapporto tecnico sulla sperimentazione della macchina elio assistita.
- Installazione pompa di calore ad assorbimento reversibile sull'edificio "Casa Intelligente" e rapporto tecnico.
- Rapporto tecnico sulla sperimentazione del sistema con pompa di calore a CO₂.

Principali collaborazioni: Università di Padova, Università di Palermo, Università di Roma

Durata: Ottobre 2010-Settembre 2011

B. Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni di solar cooling

L'attività si focalizzerà sullo sviluppo di una facility per la caratterizzazione di componenti e sistemi destinati ad applicazioni di climatizzazione estiva ed invernale elio-assistite ed in particolare:

- B1. la sperimentazione e qualificazione di collettori solari a media temperatura utilizzando diversi sistemi ottici per la concentrazione della radiazione solare (CPC, parabolici lineari, parabolici puntuali, a specchi di Fresnel). A tale scopo si utilizzerà la stazione sperimentale di test già allestita presso il Laboratorio solare del C.R. Trisaia dell'ENEA. In particolare le attività di sperimentazione riguarderanno analisi termo-fluidodinamiche ed ottiche abbinata a verifiche sperimentali su componenti commerciali e/o prototipi;
- B2. l'analisi e la caratterizzazione energetica degli accumuli (secondo la normativa europea vigente). Relativamente a tale azione, si prevede l'ampliamento del Laboratorio con la realizzazione delle facility necessarie alla caratterizzazione degli accumuli. In particolare, verranno implementate le infrastrutture necessarie allo svolgimento delle attività sperimentali (circuiti termoidraulico, apparato di acquisizione e controllo, ecc.) e si procederà al relativo collaudo funzionale;
- B3. lo studio, l'implementazione e l'ottimizzazione di sistemi avanzati di controllo; allo scopo, si realizzerà un impianto pilota di solar-cooling di piccola taglia dotato della necessaria modularità e flessibilità tale

da consentire l'attività di sperimentazione relativa alle diverse strategie di controllo che si andranno ad implementare.

Risultato/Deliverable finale:

- Rapporti tecnici.

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

C. Sistemi di regolazione, monitoraggio e controllo degli impianti di climatizzazione in edifici complessi e/o distretti energetici

Le attività che verranno svolte riguardano lo sviluppo delle metodologie di modellazione predittiva, ottimizzazione e regolazione dell'intero sistema edificio-sistema di climatizzazione innovativa, attraverso cui si intende cogliere l'ulteriore margine di efficienza ma anche garantire la robustezza del sistema nel suo insieme. In particolare, saranno condotte le azioni di seguito descritte.

- C1. Sviluppo di un modello predittivo della richiesta energetica per la climatizzazione (estate-inverno) di un edificio complesso o un insieme di edifici (distretto energetico). Il modello terrà conto delle componenti periodiche *long* e *medium term* (giornaliere, settimanali e stagionali) e le armonizzerà con le componenti *short term* che hanno un carattere a corta predicibilità (variazioni rapide di richiesta dell'utenza, guasti, effetti climatici). Il modello farà uso di predittori neurali e metodologie di evolutionary computation. Il modello non si basa su predizioni teoriche (non ha lo scopo di progettare il sistema di climatizzazione, bensì quello di gestirlo), ma ricostruisce progressivamente nel tempo il profilo di utenza dell'edificio al fine di ottimizzarne la prestazione. Pertanto verrà elaborato/qualificato sulla base di dati sperimentali provenienti da un edificio complesso o da un insieme di edifici. L'utilità del modello risiede sia nella regolazione ottimale che nella disponibilità di un potenziale profilo di produzione del distretto, base per una strategia di negoziazione della rete attiva con la rete elettrica esterna, passo molto importante per un sistema soggetto alla variabilità delle rinnovabili.
- C2. Verrà identificata una metodologia di ottimizzazione multiobiettivo della regolazione delle varie componenti di climatizzazione e di produzione energetica, interne ed esterne all'edificio/distretto, per ottenere la massima efficienza, il minimo impatto ambientale, la garanzia di funzionamento, il minimo costo di gestione.

Risultato/Deliverable:

- Rapporti tecnici.

Principali collaborazioni: Università di Roma Tre (Dip. Ing. Gestionale ed Automazione)

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

D 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:

- 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;
 - realizzare un sito internet dedicato ai "Sistemi di climatizzazione estiva ed invernale assistiti da fonti rinnovabili".

Inoltre sarà assicurata la partecipazione, quali rappresentanti italiani, ai lavori dell'Implementing Agreement "Solar Heating and Cooling" e "SolarPACES, Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems" della Agenzia Internazionale per l'Energia.

In particolare, nell'ambito IEA Solar Heating and Cooling si proseguirà nei lavori del TASK 42 "Compact Thermal Energy Storage: Material Development and System Integration", e sarà avviata la partecipazione al Task 44 "Solar and Heat Pump Systems".

Risultato/Deliverable:

- Rapporto sulla attività svolta nel corso del periodo di riferimento.

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Università di Roma Tre

Durata: Ottobre 2010 – Settembre 2011

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.

Attività di ricerca 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	Sett 2011	2550	153	205	110	15	125	608
B	Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni di solar cooling	Sett 2011	700	42	150	40	0	0	232
C	Sistemi di regolazione, monitoraggio e controllo degli impianti di climatizzazione in edifici complessi e/o distretti energetici	Sett 2011	700	42	60	20	50	60	232
D	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	465	28	0	20	25	55	128
TOTALE			4415	265	415	190	90	240	1200

(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

In questi ultimi anni le preoccupazioni di carattere ambientale, il bisogno di diversificazione delle fonti di energia e le opportunità di risparmio energetico, insieme ai grandi progressi tecnologici nel campo dell'accumulo, hanno rivalutato l'uso della trazione elettrica, che consente una notevole riduzione dei consumi energetici.

Le linee di ricerca che saranno sviluppate sono rivolte a studi ed applicazioni relativi al settore dei nuovi materiali e dei componenti innovativi: una prima linea di ricerca è dedicata allo sviluppo di metodologie di progettazione, realizzazione ed assemblaggio di materiali e strutture leggere e riciclabili per alleggerire sia il *Body in white* sia gli *interiors* dei vettori per il trasporto e per migliorare, al tempo stesso, le caratteristiche inerenti la protezione dei passeggeri in caso di incidente; un'altra linea è rivolta allo sviluppo di sistemi di accumulo elettrico (sviluppo di batterie modulari di piccola taglia e/o a ricarica rapida) e delle infrastrutture di ricarica; la terza linea di ricerca è relativa al tema dell'azionamento (sviluppo di prototipi di veicoli e sistemi di trazione). Completa il quadro uno studio di LCA su queste tecnologie.

Nell'ambito della prima linea saranno studiate tre classi di materiali differenti: i materiali metallici cellulari a base di leghe di alluminio, materiali cellulari ibridi a base di resine termoplastiche e sfere cave e compositi polimerici caricati con fibre naturali. Inoltre, saranno sviluppate le metodologie e le tecnologie per la caratterizzazione e la giunzione dei materiali/componenti realizzati. Lo sviluppo di tecnologie per la produzione, la formatura e la successiva caratterizzazione dei materiali prodotti permetterà lo sviluppo e l'affinamento di codici di calcolo numerico che simulino correttamente il comportamento di questi nuovi materiali in modo da fornire a progettisti e designer un valido mezzo per la progettazione di vettori per il trasporto. Associate alle tecnologie di produzione ed ai codici di modelling saranno sviluppate le tecnologie di giunzione, anche di materiali dissimili, per la definizione completa delle tecnologie di impiego di questi materiali.

Nell'ambito della seconda linea si interverrà sull'accumulo elettrico, perché i due fattori limitanti la diffusione su larga scala della trazione elettrica sono il peso ed il costo del pacco batterie. La loro riduzione passa naturalmente attraverso l'applicazione di tecnologie come il litio, ma anche attraverso la ricarica rapida (che consente di ridurre drasticamente il peso del pacco batteria e di conseguenza i consumi, specialmente nel campo dei sistemi per il trasporto pubblico locale) e la standardizzazione di moduli commerciali completi degli ausiliari indispensabili al loro buon funzionamento, sul modello di quanto già disponibile per le batterie ad alta temperatura. La ricerca è quindi mirata allo sviluppo di conoscenze (prove di caratterizzazione in condizioni critiche, prove vita di celle commerciali e analisi di rischio) e tecnologie (hardware e software) indispensabili per la realizzazione di batterie al litio ed accumuli "ibridi" (batterie + supercapacitori). In particolare saranno sviluppati moduli integrati, completi di BMS (Battery Management System) per le celle che li costituiscono, utilizzabili da soli o in batterie di dimensioni qualsiasi, con gestione centralizzata dei BMS, e sperimentata la ricarica rapida (hardware e software) degli stessi.

Circa la terza linea di attività, se grandi progressi si sono stati ottenuti nel campo degli azionamenti di taglia medio/grande, non altrettanto può dirsi, nel campo della trazione, per quelli di piccola taglia. Le attività saranno quindi rivolte allo sviluppo di azionamenti e convertitori di piccola potenza ad alto rendimento, che si avvalgano dei notevoli progressi ottenuti per queste apparecchiature nel settore delle rinnovabili di piccola potenza.

Infine si effettuerà il Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie proposte. La possibilità di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra legate all'elettrificazione del trasporto sono infatti strettamente dipendenti dai *pathway* di produzione e di utilizzo dell'energia elettrica, nonché dal ciclo di produzione di componenti innovativi e poco studiati, da questo punto di vista come le batterie di nuova generazione.

Il prodotto dell'attività è quindi costituito da un insieme di materiali, componenti, tecnologie e processi ad alto grado di innovazione per la realizzazione di veicoli a basso impatto ambientale con caratteristiche competitive in termini di prestazioni e sostenibilità, quest'ultima intesa come costi ed impatto ambientale.

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 basati 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 (MP). 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 un 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) hanno 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 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 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 microsferi 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.

OBIETTIVO FINALE DELL'ATTIVITÀ

L'obiettivo del programma di attività è 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 batterie modulari di piccola taglia e/o a ricarica rapida;
- lo sviluppo di sistemi di trazione e la sperimentazione di prototipi di veicoli.

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 integrati, completi di BMS (battery management system);
- realizzazione e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida (hardware e software) e distribuita, dotati di possibilità di colloquio con i sistemi d'accumulo e con essi compatibili;
- studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori, e sistemi d'accumulo misti (batterie + supercondensatori).
- sviluppo di azionamenti e convertitori di piccola potenza ad alto rendimento ed applicazione su prototipi di veicoli elettrici leggeri per uso urbano comprendente sistemi di ricarica rapida e distribuita;
- effettuazione del Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie suddette.

Sviluppo materiali

- analisi delle caratteristiche degli AFS commerciali e sviluppo delle tecnologie di giunzione fra AFS e estrusi in lega di alluminio: saranno analizzati i materiali metallici cellulari strutturali commerciali ed eventuali precursori per una loro caratterizzazione in particolare per gli ASF che possono essere impiegati come materiale base per la realizzazione delle cellule di sicurezza dei mezzi di trasporto;
- Studio e sviluppo di processi per la fabbricazione di materiali metallici cellulari: saranno valutati i processi più adatti all'implementazione di processi di fabbricazione di materiali metallici cellulari a base di leghe di alluminio basati sulla MP e/o sull'iniezione di gas nel fluido. Lo studio riguarderà la 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 di processi per materiali cellulari ibridi polimero metallo: sviluppo dei processi di fabbricazione delle microsfere cave con la tecnica del gocciolamento con doppio ago e definizione dei legami fra parametri di processo e dimensione e spessore delle microsfere; sviluppo del processo di amalgama e formatura fra materiali polimerici e sfere metalliche; definizione dei test di schiacciamento per la correlazione della dimensione del rinforzo in microsfere del tipo di matrice e del rapporto fra volume della matrice e volume delle sfere cave;
- caratterizzazione del materiale base e delle giunzioni mediante test meccanici: sarà sviluppato 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: saranno sviluppati 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: saranno individuati alcuni elementi rappresentativi: *crashworthiness* e/o elementi strutturali che verranno progettati con i codici di calcolo sviluppati per valutarne la resistenza e la capacità ad assorbire energia. Questi saranno realizzati, strumentati e testati in modo da verificare la congruenza fra dati sperimentali e dati numerici;
- produzione dei materiali compositi a base di fibre naturali per impiego nella realizzazione di *interiors*: definizione dei legami costitutivi macro e microscopici che correlino il tipo di matrice, il tipo di rinforzo e la sua percentuale di utilizzo alle principali caratteristiche meccaniche. Individuazione dei test meccanici di caratterizzazione e comparazione. Realizzazione di componenti prototipali e loro caratterizzazione per applicazioni nella realizzazione di *interiors* a basso costo e peso ridotto.

ELENCO DEGLI OBIETTIVI RELATIVI ALL'ANNUALITÀ 2008-09

Nel campo dei componenti innovativi per la trazione

A. Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system)

Definizione di valori standard di tensioni e correnti per quanto riguarda i moduli integrati. Si procederà poi alla realizzazione di un sistema modulare da destinare alla sperimentazione al banco e parallelamente si attiverà lo studio per la realizzazione del prototipo di un'unità master del battery management system. Verranno infine emesse le specifiche tecniche per il BMS.

Risultati/Deliverable:

- Rapporto tecnico sulle attività svolte

Principali collaborazioni: Università degli Studi di Pisa

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

B. Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori)

Lo studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, in competizione con le batterie al litio in alcune delle principali applicazioni, consta di una valutazione delle potenzialità applicative mediante calcoli di simulazione e verifiche sperimentali.

Principali collaborazioni: Politecnico di Milano

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

C. Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida

Gli 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, mentre nel campo delle piccole potenze analoghi progressi sono stati fatti per i convertitori di piccola potenza sviluppati per l'uso delle rinnovabili (fotovoltaico e micro-eolico). Verrà quindi effettuato uno studio teorico-sperimentale per valutare la possibilità di adattamento di questi convertitori ai veicoli, con la dimostrazione su di un quadriciclo full electric. La successiva sperimentazione permetterà di capire quali sono le potenzialità effettive di questi mezzi nell'ambito della mobilità urbana sostenibile.

Risultati/Deliverable:

- Individuazione di azionamenti e convertitori di piccola potenza e delle potenziali applicazioni da fonti rinnovabili in cui essi potrebbero trovare applicazione;
- Applicazione su di un quadriciclo full electric.

Principali collaborazioni: Università degli Studi dell'Aquila

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

D. Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie suddette

Oggetto delle attività del primo anno del progetto sarà la raccolta dati, modellazione e quantificazione del Life Cycle Assessment per batterie per autotrazione di ultima generazione.

Principali collaborazioni: Università di Palermo, Dipartimento di Ricerche Energetiche e Ambientali

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

Nel campo dei materiali

E. Analisi dello stato dell'arte e qualificazione chimico/fisica di AFS standard e sviluppo di processi di schiumatura innovativi

Si procederà alla valutazione delle caratteristiche chimico fisiche di AFS (Aluminum Foam Sandwich commerciali) e verdi (precursori) attraverso analisi di microscopia ottica e SEM per la definizione della distribuzione dei costituenti. La caratterizzazione meccanica degli AFS avverrà mediante test a flessione su quattro punti in modo da valutare la resistenza a flessione e all'indentazione.

Saranno effettuati test di schiumatura su precursori commerciali per individuare i parametri limite per il processo ed identificare le caratteristiche necessarie per la realizzazione di un apparato prototipale per la produzione di sinterizzati e schiume metalliche che possano essere impiegati nel riempimento di forme (estrusi di alluminio o scatolati in acciaio) che possano essere caratterizzati in termini di capacità di assorbimento di energia.

I test di schiumatura saranno condotti in appositi forni con controllo del gradiente di temperatura e sarà sviluppato un sistema di raffreddamento che blocchi il processo di schiumatura.

Risultati/ Deliverable:

- Caratterizzazione macro e micro strutturale di pannelli AFS e degli elementi precursori

- Allestimento della macchina per test di flessione su quattro punti su provini standard in AFS; verrà prodotto un report inerente le modalità operative di preparazione provini ed esecuzione della prova;
- Report sui test di schiumatura con definizione dei range di temperature ed i tempi di permanenza ammissibili e correlazione di questi con la dimensione delle celle ottenute

Principali collaborazioni: Università Roma 3, Dipartimento di Ingegneria meccanica ed industriale, Università Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Meccanica gruppo di Metallurgia.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

F. Sviluppo delle tecnologie di giunzione

L'obiettivo concerne lo 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.

Per la realizzazione di elementi strutturali complessi in grado di costituire una struttura completa di protezione è necessario individuare le tecnologie di giunzione e formatura fra AFS e profilati estrusi. Considerato che la formatura dei materiali metallici cellulari comporta la permanenza di un residuo di agente schiumante sono da privilegiare i processi di saldatura ad elevata densità di energia che riducono le deformazioni locali indotte dall'attivazione dell'agente schiumante.

Risultati/ Deliverable:

- Sviluppo di procedure di saldatura mediante Design of Experiment con tecnologia laser e fascio elettronico fra AFS e fra questi ultimi ed estrusi in alluminio anche come mezzi di transizione o irrigidimento. Saranno prodotti dei campioni di qualifica in modo da definire l'efficienza di giunzione rispetto ai pannelli AFS originali e verrà prodotto un report che descrive l'analisi dei dati di processo e la correlazione di essi con le variazioni micro strutturali e meccaniche indotte dal processo di saldatura.

Durata: Ottobre 2010 - Settembre 2011

G. Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsfere metalliche con polimeri termoplastici e di processi per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici

L'impiego di polimeri termoplastici al posto dei tradizionali termoindurenti permette l'aumento di una serie di caratteristiche funzionali quali la riciclabilità, la saldabilità e la riparabilità. Queste caratteristiche risultano essenziali nel settore dei trasporti anche se permangono problematiche legate alla minore resistenza al fuoco di questa classe di polimeri.

L'impiego di fibre naturali come rinforzo associato alle matrici termoplastiche incide fortemente sulla riciclabilità totale dei componenti e sui costi complessivi dei materiali.

L'alleggerimento dei vettori per il trasporto deve comunque essere accompagnato da un'adeguata salvaguardia dei passeggeri in caso di incidente. A questo riguardo, sono molti gli sforzi per impiegare materiali ad elevato assorbimento di energia. Alcune applicazioni riguardano in riempimento degli scatolati frontali delle autovetture con materiali metallici cellulari a base di leghe di alluminio. Alcuni moderni studi hanno dimostrato che a causa della disomogeneità delle celle esiste una variabilità nel livello di assorbimento di energia. La realizzazione di componenti a partire da sfere metalliche di opportuno calibro immerse in resine polimeriche permettono di produrre dei componenti assai più omogenei che garantiscono livelli di assorbimento di energia controllati. L'impiego di polimeri termoplastici prevede lo sviluppo di adeguati processi di miscelazione e formatura.

Risultati/ Deliverable:

- Sviluppo di processi di stampaggio per compositi polimerici a base di resine termoplastiche e fibre naturali;

- Sviluppo di processi di miscelazione e formatura per materiale cellulare ibrido termoplastico-metallo per crashworthiness.

Principali collaborazioni: Università Napoli Federico II, Dipartimento DIMP

Durata: Ottobre 2010- Settembre 2011

H. Comunicazione e diffusione dei risultati

La divulgazione dei risultati, per tutte le precedenti attività, verrà assicurata attraverso rapporti tecnici resi disponibili sul sito ENEA dedicato e con articoli su riviste scientifiche e memorie presentate a convegni nazionali e internazionali.

In particolare, è prevista la partecipazione ad (almeno) i seguenti congressi e attività dimostrative:

- EVS-25 Electric Vehicle Symposium, Shanghai 2010, l'appuntamento più importante sull'elettromobilità
- Formula ATA Electric & Hybrid Vehicle 2010, Torino, manifestazione dell'Associazione Tecnica dell'Auto che prevede la competizione tra team universitari
- Expo laser Forum Piacenza Nov 2010 sulla saldatura laser degli AFS nel settore trasporti.
- Annual Meeting della SETAC Europe (Milano, maggio 2011);
- Life Cycle Management 2011 (Berlino, Agosto 2011) e LCA Case Study Symposium (Copenaghen 2012)
- e la pubblicazione entro il 2010 di 4-5 articoli su riviste nazionali/internazionali.

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 rispetto a quello dei veicoli elettrici con infrastruttura fissa (catenaria o terza rotaia), restando 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 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.

Attività di ricerca 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).	Sett 2011	1350	81	20	20	0	30	151
B	Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori).	Sett 2011	1350	81	0	6	0	25	112
C	Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida	Sett 2011	650	39	40	10	30	30	149
D	Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie suddette	Sett 2011	1600	96	0	10	0	30	136
E	Analisi dello stato dell'arte e qualificazione chimico/fisica di AFS standard e sviluppo di processi di schiumatura innovativi	Sett 2011	1050	63	25	40	0	30	158
F	Sviluppo delle tecnologie di giunzione	Sett 2011	1000	60	18	40	0	25	143
G	Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsferre metalliche con polimeri termoplastici e di processi per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici	Sett 2011	800	48	0	35	15	30	128
H	Comunicazione e diffusione dei risultati	Sett 2011	150	9	0	14	0	0	23
TOTALE			7950	477	103	175	45	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

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. 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 le 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.

Si tratta di obiettivi estremamente ambiziosi e impegnativi, per conseguire i quali si prevede di mettere in campo tutte le competenze di comunicazione disponibili all'interno dell'Agenzia: sin dall'avvio delle attività programmate nell'anno un gruppo di esperti della comunicazione ENEA sta operando a tale scopo, affiancando i ricercatori e tecnici che si occupano delle attività di ricerca.

Le principali azioni di diffusione e comunicazione riguarderanno principalmente:

- pubblicazioni ed articoli sulla stampa, generica e specializzata
- elaborazione dei rapporti tecnici, che riportano informazioni e dettagli di grande importanza, ma destinati a un pubblico ristretto di tecnici e specialisti del settore ed in parallelo la diffusione di testi e strumenti informativi destinati ad un pubblico più vasto e ad esso più accessibili
- organizzazione di eventi (workshop, seminari, manifestazioni espositive) il più possibile distribuiti sul territorio nazionale, sia per illustrare i risultati nella loro totalità, che per argomenti specifici. Ad esempio si cita nell'ambito delle attività di ricerca su "Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO₂" la promozione del CO₂ Club e l'organizzazione della conferenza S4FE2009 "Sustainable Fossil Fuels for Future Energy", che si ripeterà nel 2010 con la conferenza PTSE2010 "Processes and technologies for a sustainable energy".
- Implementazione del sito web appositamente allestito per la Ricerca di Sistema Elettrico (http://www.enea.it/enea_paese/ricerca_sistema_elettrico.html) raggiungibile dalla home page dell'Agenzia ENEA, dove sarà 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'ERSE 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 CCS (in via di allestimento)
- 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
- realizzazione e diffusione di una Newsletter che diffonda - ad una mailing il più possibile estesa - aggiornamenti continui sulle attività e i risultati, nonché sulle iniziative di diffusione e comunicazione.
- 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 da 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 nazionali di importanti risultati di attività di ricerca afferenti la Ricerca di Sistema Elettrico.