

ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

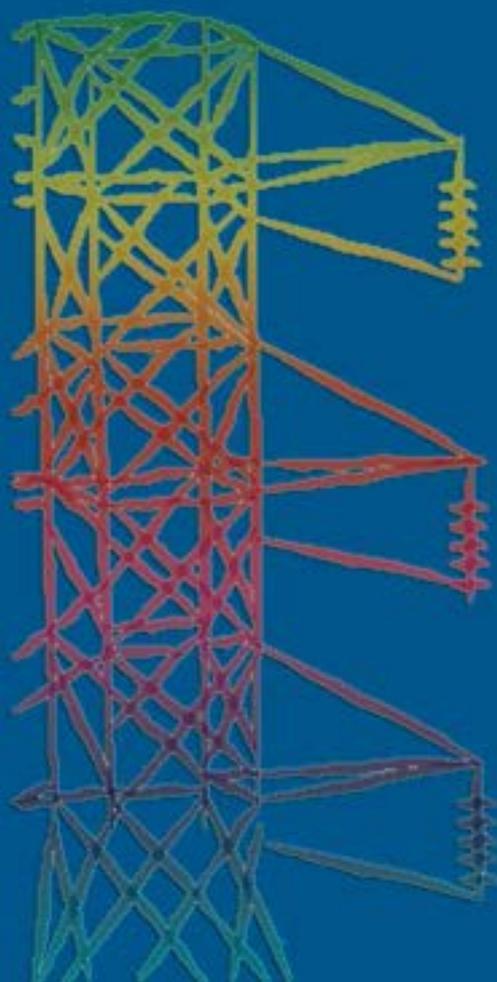


Ministero dello Sviluppo Economico

Accordo di Programma MSE/ENEA 2006-08

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sintesi dei risultati del secondo anno di attività



Settembre 2010

Edito dall'ENEA - Unità Comunicazione
Revisione testi: Antonino Dattola
Progettazione e realizzazione grafica: Cristina Lanari
Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati
Finito di stampare nel mese di ottobre 2010

INDICE

AREA PRODUZIONE E FONTI ENERGETICHE

1.	GASSIFICAZIONE DEL CARBONE CON CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO₂	5
2.	CENTRALI A POLVERINO DI CARBONE. RIDUZIONE EMISSIONI	11
3.	COPRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E IDROGENO CON CATTURA DELLA CO₂	17
4.	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - STUDI E ACCORDI INTERNAZIONALI	23
5.	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - REATTORI EVOLUTIVI	29
6.	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - REATTORI DI QUARTA GENERAZIONE	35
7.	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - DEPOSITO RIFIUTI RADIOATTIVI	41
8.	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - SUPPORTO ALL'AUTORITÀ DI SICUREZZA	47
9.	NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - FORMAZIONE E COMUNICAZIONE	53
10.	CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE	59
11.	CELLE A COMBUSTIBILE PER COGENERAZIONE CON L'UTILIZZO DI BIOMASSE	65

AREA USI FINALI

12.	FABBISOGNI E CONSUMI ENERGETICI DEI SISTEMI EDIFICIO-IMPIANTO E LORO RAZIONALIZZAZIONE	71
13.	SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE ESTIVA ASSISTITI DA FONTI RINNOVABILI	77
14.	ELETTROTECNOLOGIE INNOVATIVE PER I SETTORI INDUSTRIALE E TERZIARIO	83
15.	TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ENERGETICO NELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA	89
16.	TECNOLOGIE EFFICIENTI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ELETTRICI	95

GASSIFICAZIONE DEL CARBONE CON CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO₂

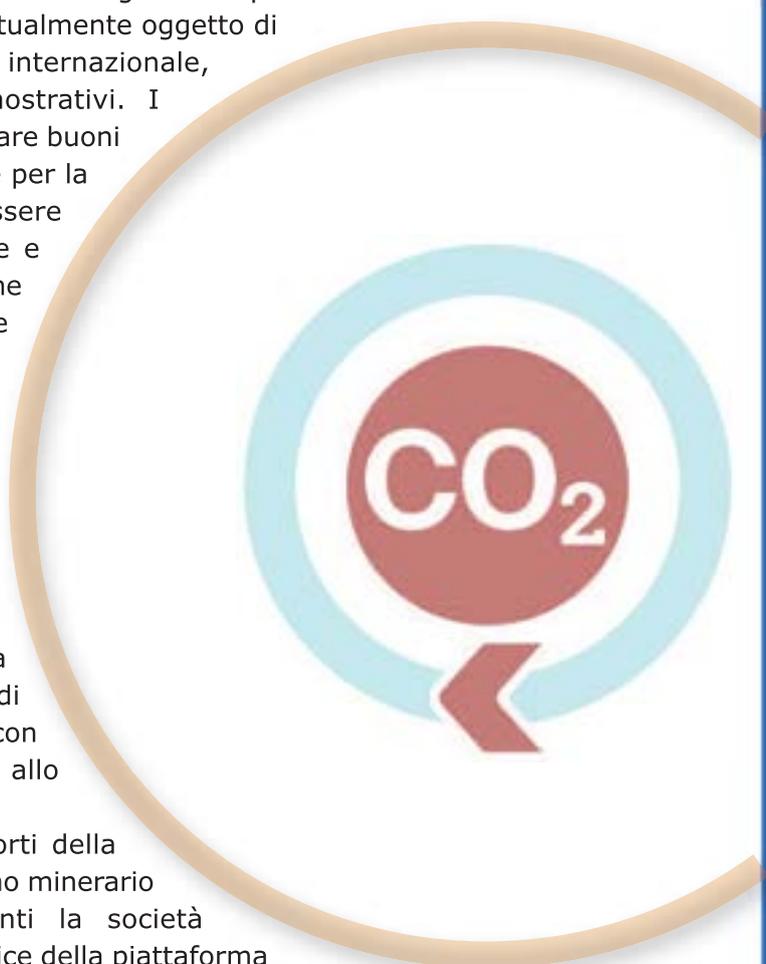
Tema di ricerca 5.2.5.2 - Tecnologie di gassificazione del carbone con cattura e sequestro della CO₂

Scenario di riferimento

Nell'attuale quadro energetico internazionale assumono particolare rilevanza le politiche e le iniziative volte alla messa a punto di tecnologie pulite del carbone che consentano da un lato una maggiore differenziazione delle fonti energetiche, dall'altro la produzione di idrogeno ed energia elettrica, rendendo percorribile la strada verso un'economia basata su questi due vettori energetici.

Le tecnologie per l'utilizzo del carbone in sistemi energetici che prevedono la cattura e lo stoccaggio della CO₂ sono attualmente oggetto di un rilevante numero di iniziative, a livello internazionale, volte alla realizzazione di impianti dimostrativi. I programmi di ricerca e sviluppo iniziano a dare buoni risultati e molte delle tecnologie necessarie per la cattura ed il sequestro risultano essere disponibili per le attività di ottimizzazione e scale-up. La Commissione europea ritiene che in condizioni di mercato chiare e ambiziose in termini di emissioni di carbonio, si potranno rendere accessibili queste tecnologie entro il 2020. Ciò richiederà coraggiosi investimenti industriali sia per una serie di impianti dimostrativi sia per le necessarie attività di R&S. L'integrazione di tali tecnologie con quelle applicate per ridurre le emissioni di inquinanti e incrementare l'efficienza energetica, avvierà la fase di dimostrazione industriale di produzione di energia elettrica da carbone con costi ridotti ed emissioni di CO₂ prossime allo zero.

Le attività di ricerca in questo settore, forti della collocazione territoriale nell'ambito del bacino minerario del Sulcis, dove hanno sede e impianti la società SOTACARBO, compartecipata ENEA detentrica della piattaforma sperimentale di gassificazione del carbone, e la Carbosulcis, società concessionaria dell'area del bacino minerario, sono focalizzate sulle tecnologie per gli impianti integrati di gassificazione del carbone con



cattura e stoccaggio definitivo dell'anidride carbonica e utilizzano gli impianti esistenti presso l'area sperimentale SOTACARBO, sviluppando ulteriormente strutture, impianti e laboratori.

Obiettivi

Gli obiettivi riguardano sviluppo, sperimentazione e dimostrazione di sistemi e componenti avanzati per un unico impianto di generazione elettrica da carbone, cattura e sequestro della CO₂ in bacini carboniferi profondi, con miglioramento delle efficienze e riduzione dei costi di investimento e gestione.

Le ricerche sul processo di gassificazione del carbone puntano a promuovere tale combustibile anche per la contemporanea produzione di idrogeno.

Nel breve termine le attività teoriche e sperimentali riguardano il miglioramento dei processi di produzione di syngas mediante gassificazione di carbone per produzione di energia elettrica, idrogeno e combustibili liquidi e/o gassosi di opportunità, attraverso l'approfondimento di aspetti relativi alla gassificazione con diversi agenti gassificanti, al trattamento e alla conversione del syngas da carbone, alla cattura e al confinamento della CO₂ in strati carboniferi non coltivabili.



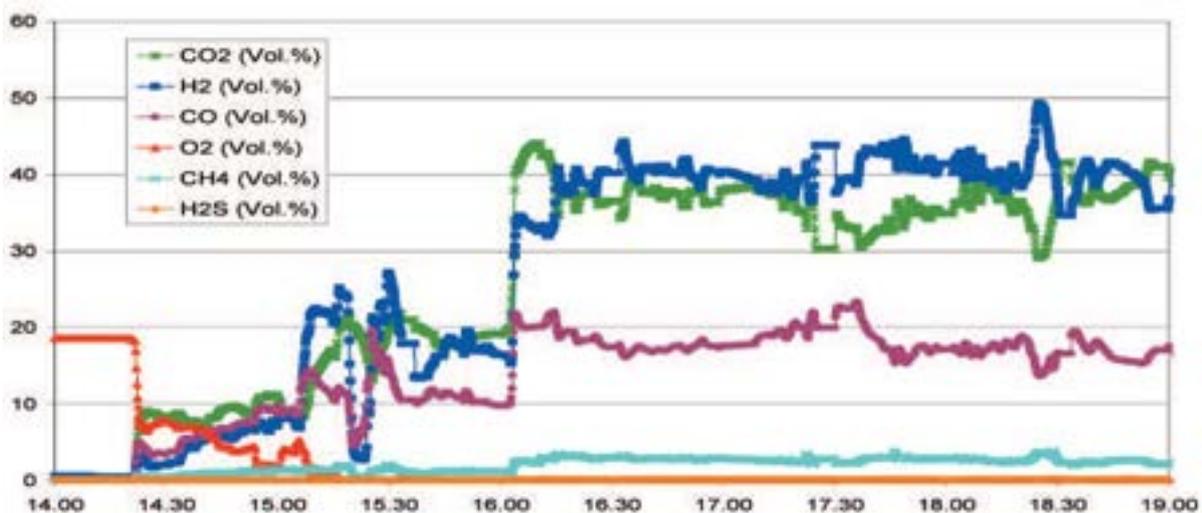
*ENEA/SOTACARBO
Piattaforma pilota per la produzione
di energia elettrica e idrogeno da
carbone*

Risultati

Sono stati sperimentati i processi di produzione, trattamento e conversione di syngas da carbone, sia presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia sia presso la piattaforma pilota del Centro Ricerche SOTACARBO dove sono state condotte venticinque prove di avviamento per un ammontare di circa 450 ore di sperimentazione a caldo, con attività sugli impianti di gassificazione con aria, vapore, ossigeno e CO₂, con test relativi a diverse condizioni di funzionamento per la messa a punto e l'ottimizzazione di processi e apparecchiature. È stato in tal modo acquisito know-how tecnologico sulla gestione di impianti di piccola-

media taglia, con una riduzione dei costi di investimento e di esercizio degli stessi.

Parte di tali attività sono state effettuate sugli impianti di gassificazione della piattaforma pilota ENEA/SOTACARBO opportunamente adeguati sia dal punto di vista impiantistico che da quello della sicurezza. Sono stati altresì messi a punto alcuni degli strumenti necessari per la realizzazione dei modelli delle sezioni di gassificazione e di quelle di cattura dell'anidride carbonica prodotta nell'impianto nelle diverse condizioni di funzionamento. Anche sul tema del confinamento geologico della CO₂ sono stati condotti diversi studi relativi alla scelta dei siti idonei ed al loro monitoraggio nell'intento di verificare la fattibilità dell'applicazione di queste tecnologie all'area del bacino minerario del Sulcis.



Composizione del syngas in una prova sperimentale

Sperimentazione e ottimizzazione di sistemi di gassificazione

Grande enfasi è stata data, nel corso della seconda annualità, alla sperimentazione sul campo e all'ottimizzazione degli impianti e sistemi di gassificazione del carbone. Le attività di sperimentazione sono state concentrate sul processo di gassificazione e sull'ottimizzazione dei processi e delle apparecchiature per il funzionamento in continuo. In questo ambito sono state effettuate diverse modifiche alla componentistica degli impianti preesistenti, migliorando in particolare il sistema di scarico delle ceneri, la misura di livello, la strumentazione e l'analitica di corredo in modo da poter effettuare sperimentazioni più accurate e con funzionamento in continuo.

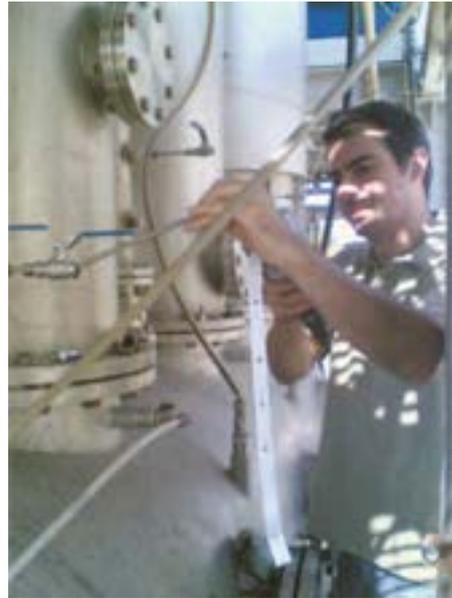
Sperimentazione e ottimizzazione di sistemi di cleanup

Sono state svolte attività sperimentali di trattamento a freddo del syngas prodotto negli impianti di gassificazione con test volti ad acquisire dati e competenze sul processo di desolfurazione e su quello di separazione di polveri e tar.

In quest'ambito sono stati eseguiti test di cleanup del syngas in torri di lavaggio e colonne a riempimento con diversi solventi liquidi quali soluzioni acide, alcaline e ammine di vario tipo.

Trattamento e conversione del syngas prodotto

Presso i laboratori ENEA sono state svolte attività sperimentali volte al trattamento del syngas con prove e test su processi e sistemi. In particolare è stata svolta un'attività sperimentale inerente lo studio della reazione di idrogenazione della CO_2 e della sua conversione in metano. L'applicazione di questa reazione al syngas prodotto dalla gassificazione del carbone ha il duplice effetto di arricchire il syngas in metano e di abbattere il contenuto di CO_2 , evitando o limitando notevolmente l'impiego sia di sorbenti solidi che di solventi liquidi.



Misure di sporramento con gli opacimetri

Sperimentazione e ottimizzazione dei processi di cattura della CO_2

Sono state condotte diverse prove di cattura della CO_2 presente nel syngas prodotto sugli impianti di gassificazione della piattaforma pilota del Centro Ricerche SOTACARBO, sia in reattori a bolle che in colonne di assorbimento, operando con diversi solventi liquidi (MEA, MDEA e piperazina) a varie concentrazioni con l'obiettivo di acquisire dati e competenze sul processo.

È stata altresì effettuata, con l'ausilio di modelli e codici di simulazione, la progettazione di un'unità completa di rigenerazione termica del solvente che, andando a completare in futuro la dotazione dell'impianto in scala laboratorio, consente di operare in continuo con la cattura della CO_2 dal syngas che proviene dal gassificatore.

Sono stati valutati i costi di investimento e di conduzione degli impianti e dei processi sia in termini energetici che economici.



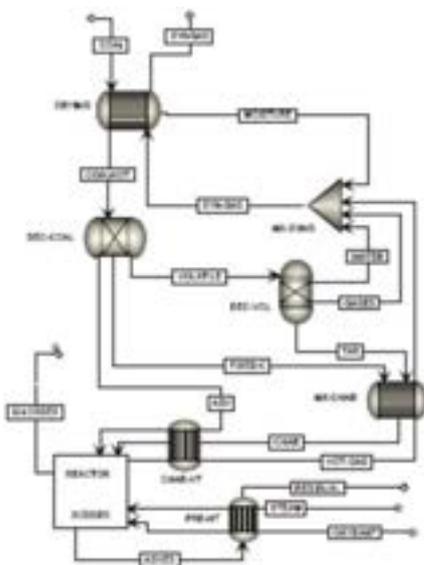
Reattori di assorbimento della CO_2

Studio e sperimentazione di tecnologie di confinamento della CO₂

Per quanto riguarda lo stoccaggio della CO₂, è stato sviluppato uno studio geosismologico mediante attività analitiche di laboratorio e indagini geologiche mirate all'applicazione, nel bacino carbonifero del Sulcis, di tecniche di confinamento della CO₂ all'interno degli strati carboniferi non coltivabili, con tecniche ECBM, e negli acquiferi salini sottostanti. Partendo dalla collaborazione con operatori già coinvolti per competenze sugli aspetti geologici e know how tecnologico nell'ambito del confinamento della CO₂, si è dato inizio in questo frangente alla valutazione, progettazione e realizzazione di un primo set up sperimentale che fornirà utili dati sui processi di iniezione e monitoraggio di un impianto prova Test Site. Nell'ambito di questa attività è stato curato sia l'aspetto legato allo studio della baseline, sia quello relativo alla messa a punto e installazione del sistema di monitoraggio in continuo.

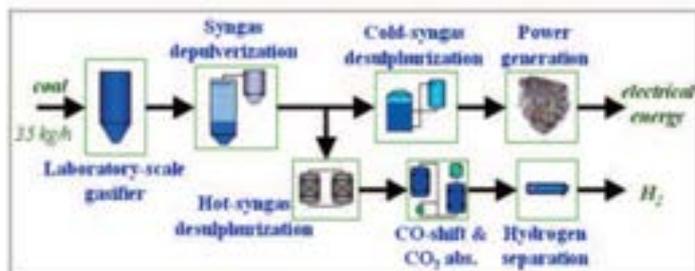
Elaborazione di un unico sistema di generazione elettrica con cattura e stoccaggio CO₂

Con l'ausilio di software di progettazione impiantistica e analisi termodinamica di tipo commerciale, si è dato corso allo sviluppo di modelli teorici e simulazioni numeriche di un unico sistema di generazione elettrica equipaggiato con cattura e stoccaggio della CO₂. Sono state in questo ambito effettuate comparazioni tra le diverse tecnologie, considerando anche l'integrazione di sistemi di produzione di combustibili di opportunità sia liquidi che gassosi, andando ad investigare in particolare la tecnologia di liquefazione del carbone per via indiretta, che si basa sulla gassificazione e sulla sintesi di Fisher Tropsch.



Simulazione di processo

Con l'obiettivo di effettuare un confronto tra le due tecnologie CCS più promettenti per un utilizzo negli impianti di potenza, sono state analizzate le due tipologie di impianto basate sulla combustione (impianto a vapore con ciclo supercritico basato su caldaia a polverino) e sulla gassificazione del carbone (impianto di gassificazione integrata in ciclo combinato turbogas e vapore) con l'integrazione di sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂.



Schema semplificato dell'impianto pilota ENEA/SOTACARBO



Dettaglio del reattore di cattura della CO₂

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

CENTRALI A POLVERINO DI CARBONE. RIDUZIONE EMISSIONI

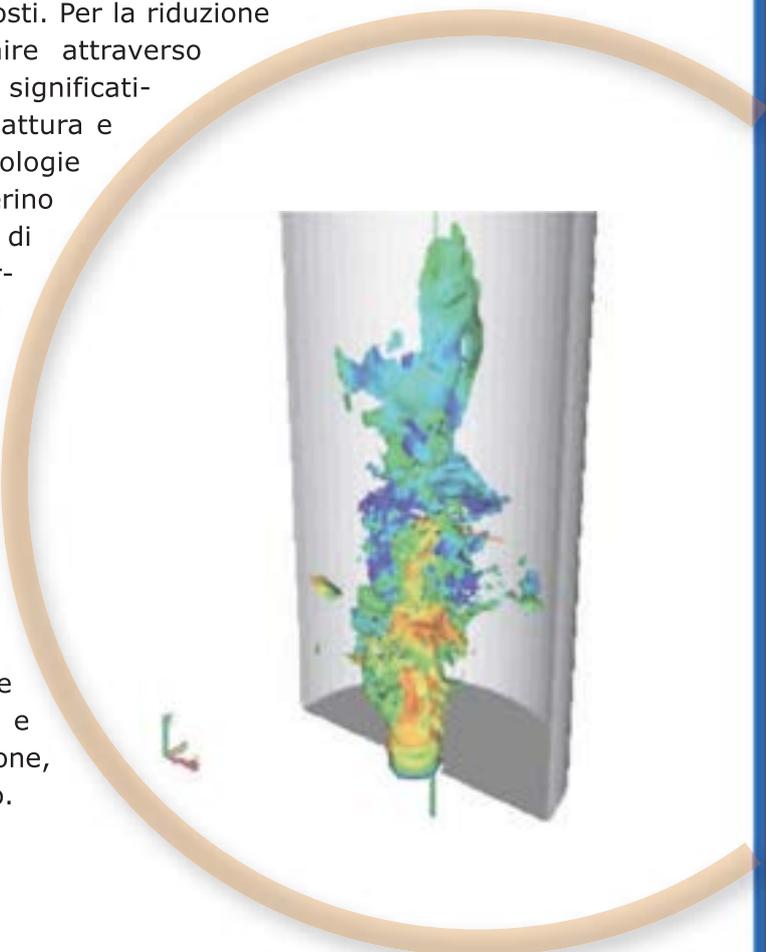
Tema di ricerca 5.2.2.2 - Sviluppo di un sistema innovativo di combustione, oxicombustione di tipo "flameless", per impianti di produzione di elettricità con ridottissimi livelli di emissione, predisposti per la cattura della CO₂

Scenario di riferimento

Il carbone rappresenta a livello internazionale un'alternativa concreta e sicura per la produzione di energia. Anche il nostro Paese si sta indirizzando verso un incremento nell'uso di tale fonte (oggi pari a un terzo della media europea) attraverso attività di ricerca e sviluppo di tecnologie pulite, in grado di aumentare l'efficienza di conversione e contenere i costi di investimento.

L'utilizzo tecnologicamente avanzato del carbone consente già oggi livelli di emissioni molto al di sotto dei limiti imposti. Per la riduzione delle emissioni di CO₂ si può intervenire attraverso l'incremento dell'efficienza e, ancor più significativamente, attraverso la sua separazione, cattura e successivo sequestro. Le moderne tecnologie prevedono la combustione diretta del polverino di carbone in una caldaia per la produzione di vapore (impianti SuperCritici e UltraSuper-Critici) oppure la gassificazione e combustione in turbogas del syngas prodotto in impianti IGCC (Integrated Gasification Combined Cycles). In entrambi i casi, per ridurre significativamente le emissioni di CO₂, occorre far ricorso a tecnologie di "CCS" (Carbon Capture and Storage).

Un'alternativa promettente a queste tecnologie è rappresentata dalla combustione in ossigeno (ossicombustione), che produce una corrente concentrata di CO₂ e vapore facilmente separabili per condensazione, cui far seguire la fase di cattura e sequestro.



Obiettivi

Obiettivo dell'attività è lo sviluppo di un sistema per la combustione diretta del polverino di carbone, due volte innovativo, in quanto realizza una combustione di tipo "flameless" (senza fronte di fiamma) altamente

controllabile, efficiente e a basse emissioni, e perché si basa sulla ossi-combustione.

L'ossicombustione "flameless" offre una serie di vantaggi:

- forte riduzione nei fumi di agenti inquinanti quali polveri, NO_x , metalli pesanti, e possibilità di impiegare combustibili "sporchi" come il carbone Sulcis;
- fusione massiva delle ceneri con produzione di scorie vetrificate inerti facilmente riciclabili;
- gas combustibili costituiti prevalentemente da CO_2 e vapor d'acqua, con facilità di cattura e separazione della CO_2 e minori penalizzazioni economico-energetiche;
- rendimenti nella produzione di energia elettrica più elevati, dell'ordine del 37%, rispetto ai tradizionali cicli a vapore con sequestro della CO_2 ;
- dimensioni contenute dell'impianto (nel caso del dispositivo in pressione).

Il programma intende sviluppare conoscenze di base e ingegneristiche per la progettazione di dispositivi innovativi, quelli operanti in pressione, o per il retrofit di sistemi convenzionali operanti a pressione atmosferica. Obiettivi a breve termine sono la messa a punto di metodi di progettazione per applicare i risultati ottenuti su impianti pilota al dimensionamento di impianti di potenza con taglie di interesse industriale, e lo sviluppo di strumenti, numerici e sperimentali, per l'analisi e il controllo di processo.

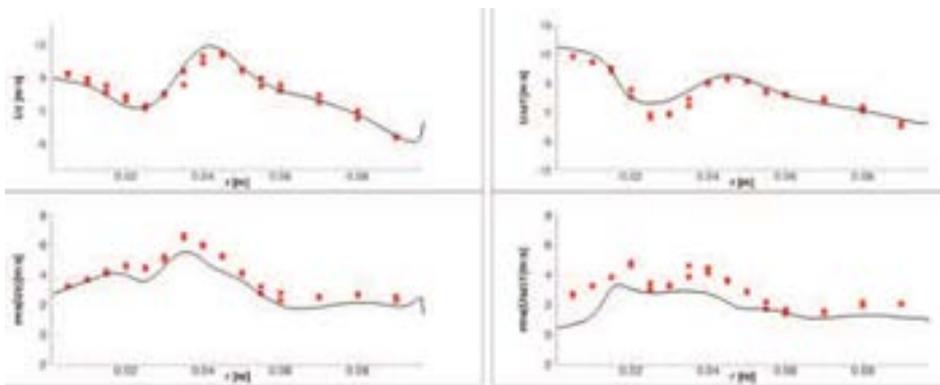
Risultati

Sviluppo di criteri di scalatura tramite codici di simulazione termofluidodinamica

La scalatura del combustore pressurizzato da 5 MW_t a 50 MW_t si basa sull'invarianza della velocità in ingresso del combustibile (in questo caso slurry e vapore) e del comburente (gas riciccolati arricchiti di ossigeno). Sono stati definiti diametri del bruciatore tali da garantire l'uguaglianza delle velocità per le nuove portate, ottenendo un reattore geometricamente "simile" a quello pilota reale. Sono state considerate diverse granulometrie per il carbone, differenti contenuti di acqua nello slurry, differenti rapporti di ricircolazione dei gas combustibili e temperature degli stessi. L'attività ha messo in luce la sostanziale uniformità del campo termico, e della temperatura di uscita dal combustore, al variare della potenza per granulometrie fini. L'aumento di potenza ha un effetto positivo nel caso di granulometria grossolana (completa combustione

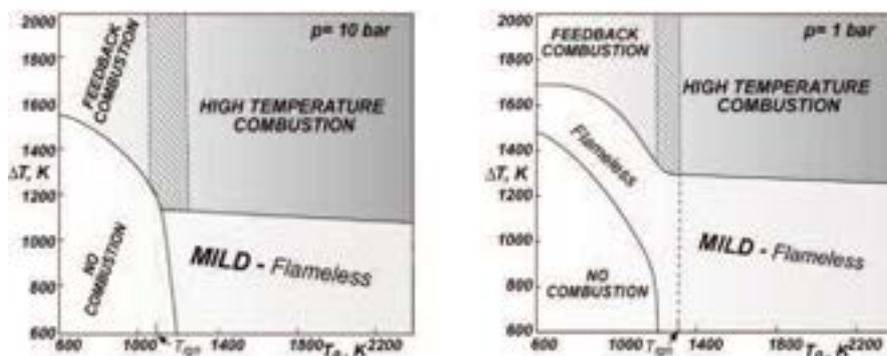
delle particelle e massimizzazione del ricircolo interno).

Per cogliere gli aspetti connessi alla stabilità di combustione, è stata analizzata l'interazione fase solida-fase gassosa nella zona di reazione, mediante modelli di simulazione avanzata LES (Large Eddy Simulation) integrati nel codice proprietario HeaRT® di ENEA. In particolare è stato individuato e analizzato un modello matematico adatto a descrivere processi di combustione di polverino di carbone, poi implementato all'interno del codice HeaRT®. È stato anche messo a punto e testato un modello radiativo per il caso di fluidodinamica multifase. Il codice si è dimostrato in grado di riprodurre la struttura del flusso sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo. L'attività è stata condotta da ENEA in collaborazione con l'Università di Roma "La Sapienza" (Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica).



Validazione del codice HeaRT: confronto tra velocità assiale misurata (simboli) e simulata (linee), per la fase gas (sinistra) e per la fase dispersa (destra) a 52 mm dall'ingresso in camera test. In alto sono riportate le velocità medie mentre in basso sono mostrate le fluttuazioni rms

Lo studio delle condizioni di combustione determinate dal forte ricircolo di gas esausti ha richiesto l'individuazione di diversi regimi ossidativi, in quanto le distribuzioni di temperatura e di specie sono differenti rispetto a quelle della combustione standard. L'analisi è stata effettuata al variare della temperatura, della concentrazione di ossigeno, della velocità del flusso e della pressione. Tale attività è stata svolta dall'Università di Napoli (Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica).



Mappa di comportamento ottenuta per la configurazione con preriscaldamento e diluizione a 10 e 1 bar. Nei diagrammi è indicata la regione di combustione "flameless"

Altro aspetto fondamentale riguarda lo sviluppo di una modellistica della cinetica di volatilizzazione e ossidazione del carbone che tenga conto della particolare natura del carbone Sulcis, ricco di zolfo. Il Politecnico di Milano (Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica) ha sviluppato un modello predittivo basato sulla sola analisi elementare del carbone. Nel primo anno di attività sono state sviluppate correlazioni per individuare la percentuale delle varie componenti solforate rilasciate. Nel secondo anno sono stati studiati il rilascio di composti azotati dal carbone e i meccanismi cinetici di ossidazione di composti solforati e azotati in fase gas, le interazioni reciproche e quelle con altri composti del sistema. I modelli sono in accordo con i dati sperimentali e soprattutto sembrano in grado di prevedere gli andamenti delle emissioni al variare delle condizioni operative.

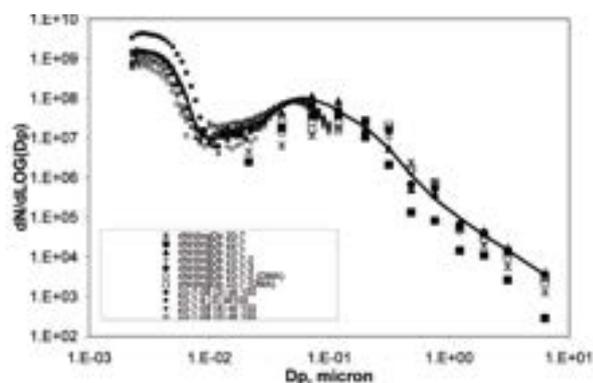
È stata inoltre studiata la devolatilizzazione in condizioni flameless, per la predizione, in relazione alle condizioni di esercizio (pressione e temperatura), delle specie combustibili che da tale fase originano per la successiva ottimale ossidazione. L'attività, svolta da ENEA in collaborazione con l'Università di Roma "La Sapienza" (Dipartimento di Chimica, Materiali e Ambiente), ha riguardato lo sviluppo e l'utilizzo di modelli di predizione quantitativa dei composti che si sviluppano in questa prima fase della combustione e che ne condizionano gli stadi successivi, in fase gassosa. I risultati sono stati utilizzati per simulazioni numeriche con codice FLUET per un'analisi di sensibilità sul reattore pressurizzato al variare di parametri fondamentali (granulometria polverino, portata e temperatura dei gas esausti riciclati ecc.)

Per determinare i dati sperimentali indispensabili all'attività di modellazione condotta da ENEA, Politecnico di Milano, e Università di Roma "La Sapienza", Sotacarbo ed ENEA hanno realizzato facility sperimentali integrate per la caratterizzazione chimico-fisica dei carboni.

Prove sperimentali

Sono state condotte campagne di prova sull'impianto pilota da 5 MW_t ISOTHERM, di SOFINTER (Gioia del Colle), e sugli impianti FOSPER e IPFR di ENEL-IFRF (Pisa), in collaborazione con l'Università di Napoli (Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica) per la caratterizzazione delle emissioni e del particolato solido. I risultati ottenuti in termini di inquinanti sono lusinghieri (un ordine di grandezza inferiori ai limiti imposti).

È stato messo in opera un sistema integrato per la caratterizzazione dimensionale del particolato (da 2 nm a 10 μm) e la successiva speciazione chimica. La caratterizzazione è stata effettuata in diverse condizioni operative sui reattori ISOTHERM e FOSPER, con carboni di differenti caratteristiche chimico-fisiche. L'analisi ai raggi x del materiale raccolto

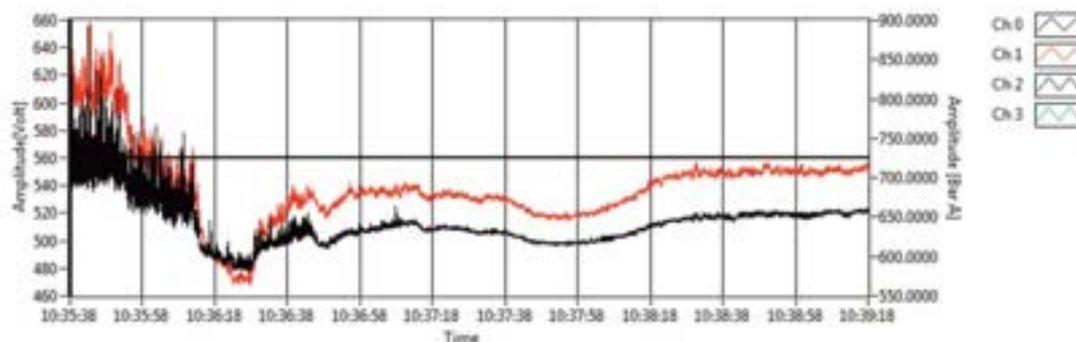


Caratterizzazione del particolato solido. Distribuzione dimensionale delle polveri a valle del reattore ISOTHERM, nell'intervallo 2 nm - 10 μm

mostra una forte dipendenza dalla composizione chimica del combustibile. Le polveri si distribuiscono secondo una funzione multimodale. In generale la combustione in ossigeno riduce la formazione di particelle con diametro elevato a favore di quelle microbiche (3 nm). Le polveri microbiche hanno un elevato contenuto di incombusti e derivano da polverino parzialmente bruciato. Quelle nanometriche hanno uno spettro di assorbimento simile a quello del carbonio organico prodotto nella combustione ricca degli idrocarburi. Particelle di ossidi metallici sono presenti in tutto l'intervallo dimensionale seppure in quantità limitata. Le polveri nanometriche hanno una grossa affinità in acqua e sono parzialmente rimosse dalla condensazione del vapore di combustione.

Sviluppo e test di sistemi diagnostici avanzati

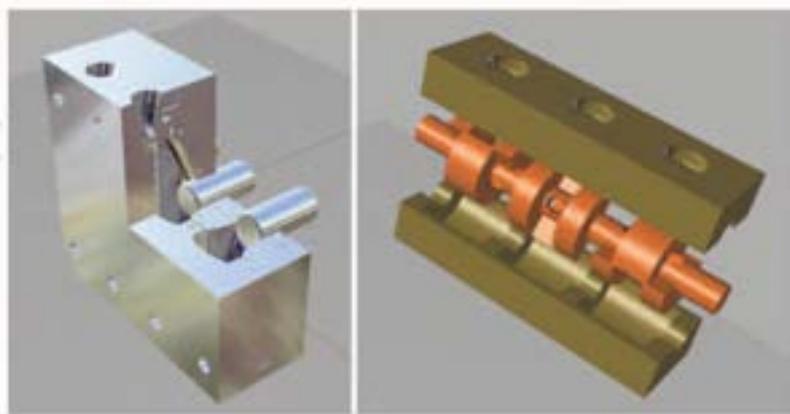
È stato messo a punto e brevettato da ENEA un dispositivo di misura non invasivo, basato sulla tecnologia ODC® (Optical Diagnostic of Combustion) per misure di stabilità di combustione, velocità, fluttuazioni di temperatura. L'attività è stata svolta in collaborazione con la società ENSYEN Srl e il Dipartimento di Ingegneria Chimica, Chimica Industriale e Scienza dei Materiali dell'Università di Pisa. Il dispositivo è stato ingegnerizzato per applicazioni industriali, come i reattori ISOTHERM, FOSPER e IPFR, ove l'accesso alla zona reagente deve essere miniaturizzato e reso passivo alle alte temperature, grazie al ricorso a una sonda in monocristallo di zaffiro. Una prima campagna di misure ha avuto come obiettivo l'individuazione di "indicatori sintetici" utili alla caratterizzazione dinamica del processo, all'ottimizzazione e al controllo. Alle variazioni di ossigeno, portata combustibile e prodotti di combustione riciccolanti, corrispondono andamenti coerenti degli indicatori suddetti, anche in transitori operazionali.



Transitorio da combustione standard a flameless. Trend dei segnali da sonde ODC variamente dislocate

Sviluppo di componenti ed analisi di sistema

È stata sviluppata e testata una tecnologia di pompaggio con un dispositivo volumetrico a pistoni che assicura la costanza della pressione di alimentazione e della portata del combustibile (slurry di carbone e acqua) con oscillazione massima del 3%. Il sistema ha un rendimento



Rendering del corpo pompa assemblato con pistoni posizionati, ed espeso delle valvole ad otturatori rotativi

energetico di circa il 30% superiore a quello dei normali sistemi in uso, e un rendimento volumetrico del 98%. La tecnologia è stata messa a punto con prove di laboratorio su facility ENEA in piccola scala prima della progettazione di un'unità modulare per l'alimentazione del reattore ISOTHERM.

Per l'analisi di sistema, sono state effettuate simulazioni utili alla progettazione del circuito dimostrativo finale, con collegamento ad una caldaia di tipo UltraSuperCritico a elevato rendimento, e sottrazione della CO₂. Sono state valutate possibili alternative di ciclo, con simulazioni numeriche. Un'applicazione di particolare interesse riguarda l'utilizzo del sistema a ossi-combustione come sistema di "internal heating" in un ciclo operante sul vapore a bassa pressione di un ciclo UltraSuperCritico. Il sistema prevede l'integrazione di un ciclo Rankine classico con un surriscaldatore aggiuntivo del vapore di bassa pressione, ove l'apporto entalpico avviene attraverso la combustione all'interno del flusso di vapore. Il ciclo comporta un notevole aumento di rendimento, che l'estrazione della CO, prodotta dopo condensazione, riduce solo di alcuni punti. Il sistema è idoneo al retrofit di impianti esistenti, senza produzione aggiuntiva di inquinanti.

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

COPRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E IDROGENO CON CATTURA DELLA CO₂

Tema di ricerca 5.2.5.9 - Centrali elettriche per la coproduzione di energia elettrica e idrogeno

Scenario di riferimento

Nell'attuale quadro energetico internazionale assumono particolare rilevanza le politiche e le iniziative volte alla messa a punto di tecnologie pulite del carbone, che consentano da un lato una maggiore differenziazione delle fonti energetiche, favorendo la transizione verso un più ampio ed articolato ricorso alle rinnovabili, dall'altro lo sviluppo di tecnologie per la produzione da tale fonte di idrogeno ed energia elettrica, aprendo la strada verso una possibile economia basata su questi due ultimi vettori energetici.

Il contesto internazionale ed europeo sollecita l'adozione di una strategia per lo sviluppo delle tecnologie CCS (Carbon Capture & Storage) per impianti di produzione di energia elettrica, con la preparazione di un documento di "Vision" e di una Road-map, e l'avvio di un programma nazionale per la dimostrazione di tali tecnologie.

Nel nostro Paese esistono le condizioni tecniche ed il know how necessario per avviare un programma nazionale al passo con i tempi e coordinato con le iniziative europee ed internazionali. Molti progetti sono in corso e altri sono in fase di avvio, in un quadro però di scarso coordinamento.



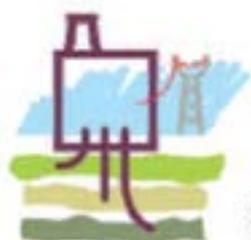
Obiettivi

Le attività di ricerca sono focalizzate su tecnologie che derivano dagli IGCC (Integrated Gasification Combined Cycles) e si basano su impianti di gassificazione del carbone che producono elettricità e idrogeno con sequestro (separazione e stoccaggio definitivo) della CO₂. L'obiettivo di fondo è quello di favorire l'integrazione delle varie iniziative in Italia – già avviate, in fase di definizione, o in fase di proposta – e consentire una più ampia ed efficace

partecipazione del nostro Sistema Paese ad importanti iniziative internazionali.

Gli obiettivi principali sono così sintetizzabili:

- Contribuire alla definizione di una Road-map per l'avvio di un programma italiano di dimostrazione delle tecnologie CCS associate ad impianti di produzione di energia elettrica ed idrogeno per usi diversi.
- Sviluppare le attività di ricerca volte allo sviluppo e dimostrazione di tecnologie basate sull'impiego del carbone per la produzione combinata di idrogeno ed elettricità
- Favorire una più ampia, autorevole e qualificata partecipazione del sistema italiano impresa/ricerca ai grandi programmi ed iniziative europee ed internazionali quali CSLF, ZEP, HYPOGEN, FUTURGEN, IEA e Programmi FP7/8.



Carbon Sequestration Leadership Forum
www.cslforum.org



The European Technology Platform for
Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP)

Risultati

Studi e sperimentazioni sui fenomeni di cleaning ad elevata temperatura del syngas prodotto da gassificazione innovativa del carbone

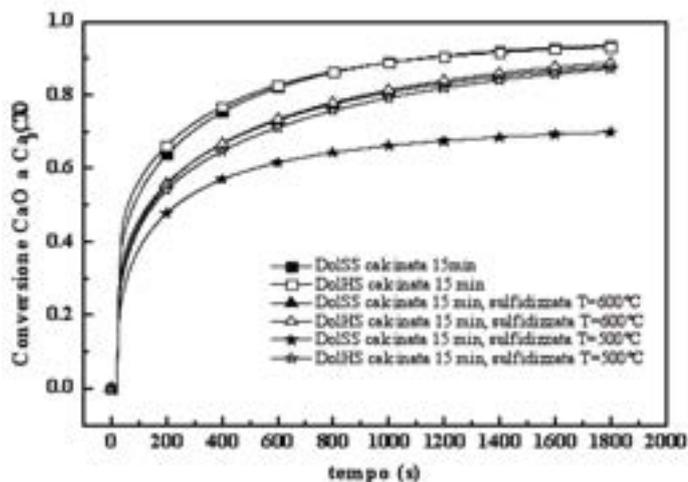
Tali attività sono state eseguite nei laboratori ENEA della Casaccia, attraverso prove sperimentali per approfondire le conoscenze di base su tematiche quali la pirolisi, la desolforazione mediante sorbenti a base di dolomite e la gassificazione del carbone con idrogeno (idrogassificazione), fondamentali per l'utilizzo efficiente e a basso impatto ambientale del carbone, anche di bassa qualità come quello del Sulcis.

L'attività sulla desolforazione mediante sorbenti solidi ha dimostrato la fattibilità di un processo di assorbimento sia dell'anidride carbonica che del solfuro di idrogeno (H₂S), ad una temperatura compresa tra i 500 ed i 600 °C, mediante l'utilizzo dello stesso sorbente solido. I test hanno inoltre fornito le necessarie indicazioni su come configurare un possibile dispositivo per effettuare entrambi i processi in linea e procedere alla

rigenerazione del sorbente separando nel contempo i composti solforati.

L'attività sulla devolatilizzazione e la pirolisi del carbone Sulcis ha permesso di acquisire i dati sulla cinetica della reazione e di testare positivamente un modello di calcolo per caratterizzare il processo anche in condizioni non riproducibili in laboratorio. L'obiettivo futuro è quello di mettere a punto una configurazione di processo, alternativa alla gassificazione in letto fluido convenzionale, che sfrutti in maniera più efficace l'elevato contenuto di volatili del carbone del Sulcis, in particolare il contenuto energetico dei tar presenti, e nel contempo utilizzare il char residuo in modo ottimale.

Sempre in questa ottica di ricerca di soluzioni più avanzate per la gassificazione di carboni difficili come quello del Sulcis, si è intrapresa l'attività sperimentale sull'idrogassificazione, identificandone con esattezza i range operativi ottimali.

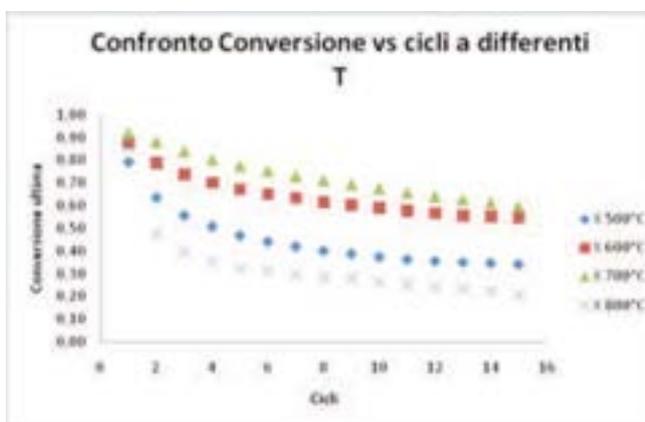


Effetto della presenza di zolfo sulla conversione della dolomite calcinata con due diverse granulometrie (DolSS: 0,4-0,6 mm, DolHS: 0,6-1,6 mm)

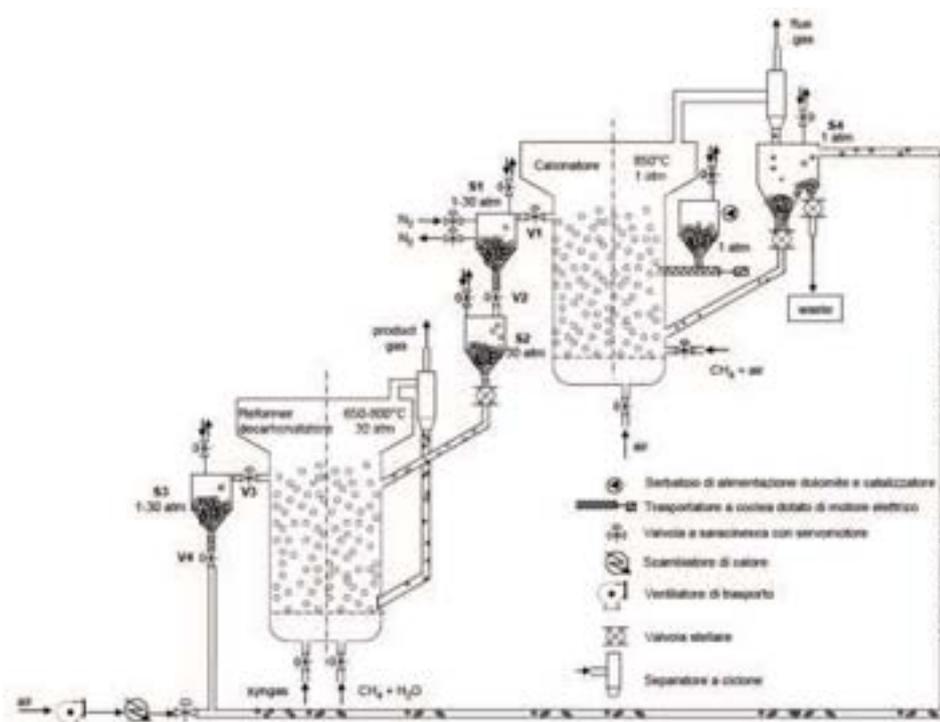
Studio di un impianto pilota associato a tecnologie CCS ad elevata efficienza

Tale studio è finalizzato alla determinazione delle caratteristiche progettuali di un impianto pilota, di taglia approssimativa di 5 MW_t, che utilizzi il processo Zecomix come tecnologia CCS.

Le attività svolte direttamente da ENEA hanno riguardato la sperimentazione, con attrezzature esistenti, sul ciclo CaO-CaCO₃ per la cattura della CO₂ ad alta temperatura e sulla combustione dell'idrogeno con ossigeno e vapore, tramite l'impianto sperimentale IDEA (IDrogeno Experimental Activities). La prima attività ha proseguito la sperimentazione iniziata il primo anno, che si era fermata al 4° ciclo di rigenerazione del sorbente, spingendo lo studio fino a condizioni di regime, ossia ad un numero sufficientemente elevato di cicli da ritenere stabilizzate le condizioni di efficienza del processo. La seconda ha riguardato lo studio del comportamento di fiamme di tipo "swirlato".



Andamento della conversione del sorbente al variare del numero di cicli



Una possibile configurazione impiantistica per la realizzazione del ciclo Zecomix in continuo

È stata esaminata una configurazione impiantistica di decarbonazione/calcinazione, per un impianto pilota, basata sul funzionamento a doppio reattore con circolazione continua del sorbente, che rispetto a quella studiata nella precedente annualità (doppio reattore funzionante in batch, più adatto alle piccole taglie) assicura il mantenimento di condizioni operative di pressione diverse nelle due fasi e quindi una maggiore ottimizzazione di esercizio, soprattutto alle taglie più elevate. Tale configurazione si ritiene possa essere quella di un futuro impianto prototipale (Università dell'Aquila, Dipartimento di Chimica, Ingegneria Chimica e materiali).

Infine, è stato realizzato un gassificatore a letto fluido ad ossigeno allo scopo di produrre un syngas a base di CO e H₂ partendo da varie tipologie di carbone, anche ad alto contenuto di zolfo (carbone del Sulcis), e di effettuare una desolforazione preliminare all'ingresso al reattore di carbonatazione/reforming dell'impianto Zecomix.

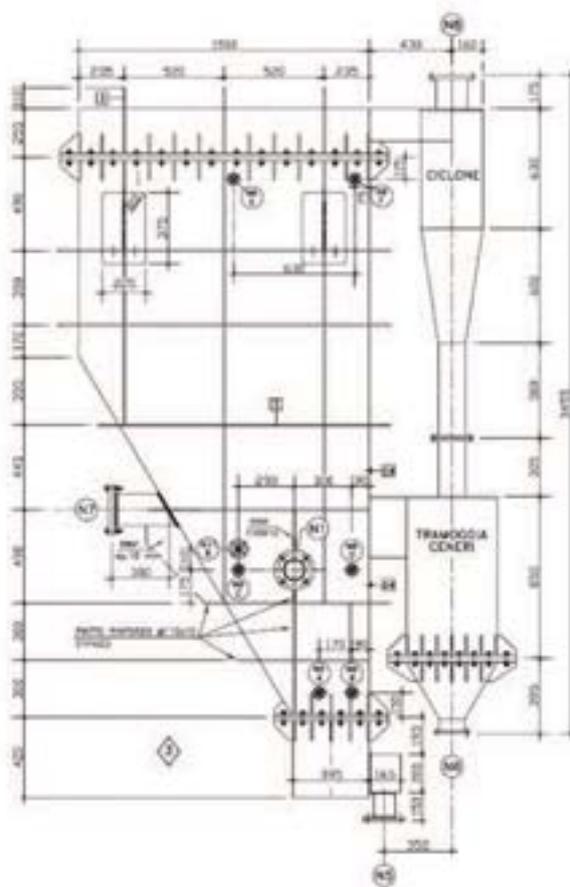
Studi su sistemi non convenzionali di separazione e stoccaggio della CO₂ per la piccola/media taglia

Sono state svolte due attività distinte, una di analisi e dimensionamento di un impianto basato sull'utilizzo della cella a combustibile a carbonati fusi (MCFC) come "concentratore" di CO₂ allo scarico di una turbina a gas, l'altra in stretta collaborazione con l'Università di Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile, per lo studio delle potenzialità della carbonatazione di minerali e residui industriali per lo stoccaggio

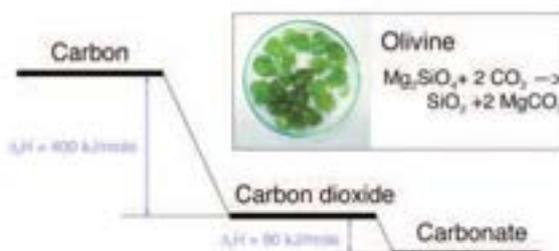
dell'anidride carbonica. Entrambe le attività hanno permesso di analizzare sistemi particolarmente indicati per le piccole taglie, laddove i sistemi CCS "convenzionali" non sembrano essere applicabili per ragioni di costo.

Il primo processo analizzato presenta aspetti interessanti soprattutto dove la CO₂ è particolarmente diluita (come allo scarico delle turbine a gas). Lo studio effettuato ha messo in rilievo gli aspetti da approfondire per ottimizzare il sistema, soprattutto in relazione alla pressione di funzionamento della cella e il rapporto tra le potenze elettriche di turbina e cella. Il risultato finale è l'ottenimento di una corrente concentrata di CO₂ (25-30% in volume) da inviare ai sistemi di cattura.

Per quanto riguarda il secondo processo studiato, la Mineral Carbonation, esso non si presenta in realtà come alternativa alla tecnologia di riferimento, costituita dallo stoccaggio geologico negli acquiferi salini, in quanto non sembra essere applicabile alle taglie usuali degli impianti di produzione concentrata di energia (centinaia di MW_e) ma, piuttosto, ad impianti di produzione distribuita di potenze medio basse (al più qualche decina di MW_e). Un aspetto interessante del processo è quello di essere potenzialmente applicabile direttamente al fluido contenente la CO₂, evitando in tal modo la fase di cattura. Tale eventualità è più concreta nel caso in cui la CO₂ non sia troppo diluita e questo può fare considerare l'ipotesi dell'integrazione con il sistema basato sulla turbina a gas e la cella a combustibile.



Vista gasificatore lato alimentazione carbone



Mineral Carbonation

Contributo alla definizione della Road-map tecnologica italiana sulle tecnologie zero emission da carbone. Attività di informazione tecnologica e divulgazione delle tecnologie rivolta sia al pubblico che alle imprese

Le attività svolte hanno consentito da una parte la presenza nei tavoli nazionali ed internazionali di discussione ed aggiornamento delle priorità e quindi delle Road-map, dall'altra un'intensa attività di diffusione dei risultati della ricerca e di divulgazione tecnologica. Sono stati organizzati ed effettuati due convegni internazionali, uno a Roma e l'altro a Ischia; è stato attivato un portale sulle tecnologie zero-emission

(www.zeroemission.enea.it) con un'ampia sezione dedicata alle "Clean Coal Technologies" ed alle tecnologie CCS; tale portale è in fase di aggiornamento per quanto riguarda l'impiantistica dell'ENEA e delle società partecipate dedicate allo sviluppo di queste tecnologie. Le attività future riguardano in particolare la partecipazione con attività di ricerca e sviluppo al Joint Program sulle tecnologie CCS dell'European Energy Research Alliance (EERA), oltre alla partecipazione alle numerose iniziative a livello internazionale per lo sviluppo e dimostrazione delle tecnologie CCS e CCT, quali il Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), la piattaforma europea sugli impianti alimentati a combustibili fossili a emissioni zero (ZEP) e i gruppi di lavoro dell'Implementing Agreement della IEA "Clean Coal Center".



Impianto ZECOMIX per studi sperimentali sulla gassificazione del carbone per produzione di energia elettrica con emissioni zero

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - STUDI E ACCORDI INTERNAZIONALI

Tema di ricerca 5.2.5.8 - Linea progettuale 1: Studi sul nuovo nucleare e partecipazioni ad accordi internazionali/bilaterali sul nucleare da fissione. Funzione Advisor

Scenario di riferimento

Le attività di ricerca e sviluppo relative al nuovo nucleare da fissione richiedono una costante partecipazione alle iniziative internazionali nel settore dei sistemi nucleari e dei relativi cicli del combustibile. È necessario acquisire ed elaborare informazioni ad uso dei decisori politici e degli stakeholders per una strategia nazionale di rientro nel nucleare che si raccordi con le numerose iniziative internazionali nello specifico settore. Studi di scenario, completi di valutazioni economiche e di impatto ambientale e socio-politico, sono di fondamentale importanza per la valutazione delle strategie di impiego dei vari sistemi nucleari. La valutazione della resistenza alla proliferazione di sistemi nucleari innovativi è necessaria per qualsiasi strategia di impiego.

In materia di definizione di programmi di ricerca comunitari, sicurezza, protezione fisica, salvaguardie nucleari e produzione di normativa tecnica è necessaria la partecipazione ai principali comitati e gruppi internazionali: EURATOM, OECD-NEA, IAEA, INPRO, GIF, IFNEC ecc.

Sono inoltre estremamente importanti accordi bilaterali/multilaterali, nella modellistica nucleare e nella realizzazione e utilizzo di grandi strutture sperimentali, come ad esempio l'accordo tra l'ENEA e il CEA francese.

La presenza in tali contesti richiede diverse competenze, sia tecnico-scientifiche, appartenenti ad Enti, Università e Industrie, sia politico-amministrative, appartenenti a Ministeri, Autorità di Controllo ecc.

L'ENEA opera per l'integrazione fra le varie competenze e soggetti coinvolti e assicura la funzione di Advisor verso le Istituzioni e i Ministeri che richiedono supporto nella definizione della policy nazionale nel campo dell'energia nucleare.



Obiettivi

Sono stati individuati i seguenti obiettivi:

- supporto al Ministero dello Sviluppo Economico per il coordinamento della partecipazione nazionale a progetti ed accordi internazionali;
- partecipazione a comitati e gruppi internazionali;
- partecipazione italiana in particolare al gruppo Physical Protection & Proliferation Resistance (PR&PP) del Generation IV International Forum;

cattività di studio e ricerca nell'ambito dell'accordo bilaterale ENEA-CEA sul nucleare da fissione firmato il 22 luglio 2009;

- studio di uno scenario relativo ad un ipotetico impiego di reattori nucleari di diversa taglia sul territorio nazionale e relative valutazioni economiche.

Risultati

Partecipazione a comitati e gruppi internazionali

L'ENEA, anche con il supporto di Università e Politecnici del CIRTEN, ha svolto il ruolo di "focal point" e di "Advisor" per le tematiche scientifiche e tecnologiche, essendo presente nei principali comitati ed organizzazioni che si occupano di energia nucleare (NEA-Nuclear Energy Agency, IAEA-International Atomic Energy Agency ecc.). In particolare l'ENEA ha assicurato la presenza di rappresentanti ed esperti italiani nella quasi totalità degli Standing Committees della NEA (NSC - Nuclear Science Committee, NDC - Committee for Technical and Economic Studies of Nuclear Energy development and the Fuel Cycle, CSNI - Committee on the Safety of Nuclear Installations, RWMC - Radioactive Waste Management Committee, CRPPH - Committee on Radiation Protection and Public Health, NLC - Nuclear Law Committee), oltre che esprimere un rappresentante nazionale nello Steering Committee, e in un numero elevato di Working Party della NEA e Technical Working Groups (TWG) permanenti dell'IAEA.



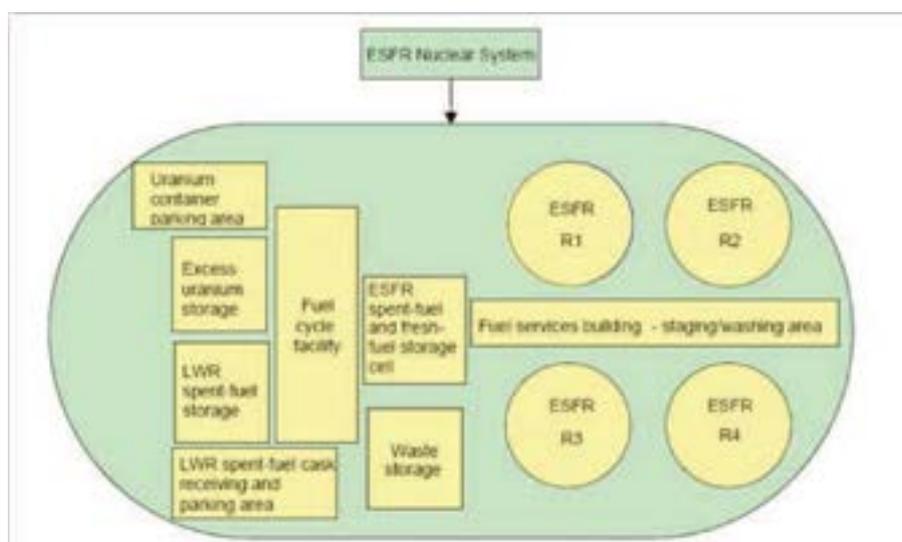
*NEA NSC - NEA NDC: Country Report
Italy 2010*

L'ENEA è presente in altri importanti gruppi internazionali quali, ad esempio, l'European Security Research and Innovation Forum (ESRIF), l'European Atomic Energy Society (EAES), il Research Reactor Operators Group (RROG), l'International Society for Neutron Radiology (ISNR), il Global Nuclear Cleanout Coalition (GNCC), il Cooperative Severe Accident Research Programme (CSARP), il MELCOR Cooperative Assessment Program (MCAP), l'European Safeguards Research and Development Association (ESARDA) e l'Interpretation Circle PHEBUS-FP.

Applicazione di metodologie per valutare la resistenza alla proliferazione e la protezione fisica dei sistemi innovativi

Le attività su resistenza alla proliferazione (PR) e protezione fisica (PP) sono svolte all'interno dei due forum internazionali:

- Proliferation Resistance & Physical Protection (PR&PP) Working Group del Generation IV International Forum (GIF);
- Gruppo di lavoro su "Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative SMRs and associated Fuel Cycles" della IAEA.



Il complesso del sistema nucleare ESFR diviso in elementi

Nell'ambito del PR&PP WG di GIF è stato pubblicato sul sito GIF (<http://www.gen-4.org/Technology/horizontal/proliferation.htm>) il rapporto finale su "Example Sodium Fast Reactor (ESFR) Case Study", un ipotetico reattore veloce raffreddato a sodio e parte del ciclo associato cui è stata applicata la metodologia sviluppata dal PR&PP WG, "Evaluation Methodology for Proliferation Resistance and Physical Protection of Generation IV Nuclear Energy Systems - Revision 5".

L'uso sostenibile dell'energia nucleare da fissione nei paesi sviluppati e in via di sviluppo si esprime anche attraverso la proposta di diversi progetti

innovativi di reattori di piccola e media taglia (SMR) con previsione di installazione nel periodo 2012–2030. La IAEA ha iniziato con la partecipazione di ricercatori ENEA e sotto l'egida della Nuclear Power Technology Development Section, Division of Nuclear Power, il confronto con gli stati membri interessati sull'Options to Enhance Proliferation Resistance and Security of NPPs with Innovative Small and Medium Sized Reactors (SMRs). Si tratta di identificare opzioni che aumentino le caratteristiche di resistenza intrinseca alla proliferazione e protezione fisica di questi reattori e le metodologie di valutazione più appropriate. Il contributo ENEA ha posto l'accento sulla necessità di una stretta interazione tra progettisti ed esperti di non proliferazione nucleare fin dalle prime fasi di progetto.

Attività di studio e ricerca nell'ambito del rinnovato accordo ENEA-CEA sul nucleare da fissione

Programma di lavoro CAST3M. Il programma prevede due attività principali:

- diffusione del sistema di calcolo CAST3M;
- sviluppo e validazione di modelli per il comportamento di calcestruzzo in temperatura.

Per il CAST3M si è effettuato un corso introduttivo a ingegneri in formazione presso il centro ENEA di Portici, affrontando problematiche termomeccaniche tipiche di impianti energetici; presso il Centro ENEA Casaccia si è svolto un secondo corso dedicato prevalentemente a personale ENEA neoassunto sia dell'area nucleare che dell'area fonti rinnovabili con richiami sul metodo degli elementi finiti ed esempi applicativi. Le attività di progetto e verifica di componenti mediante questo codice di calcolo permettono costantemente di testare l'affidabilità del sistema. Limiti d'impiego sono stati individuati riguardo l'irraggiamento termico in cavità e sono state proposte soluzioni.

Per quanto riguarda la seconda azione, è stata adeguata la procedura HTCTRAN per il trasferimento di massa e di calore nei calcestruzzi basata sul modello termo-igrometrico monofase di BAZANT, resosi necessario per la modifica da parte CEA di alcune strutture dati da essa richiamate.

Codice termoidraulico di sistema CATHARE. L'ENEA ha modificato il codice allo scopo di rendere possibile la simulazione di sistemi raffreddati a metallo liquido pesante. Il rapporto tecnico finale ha riassunto il lavoro svolto per implementare le proprietà termodinamiche della lega eutettica piombo-bismuto e del piombo nel codice CATHARE. L'implementazione, nelle future release del codice, delle modifiche effettuate dovrà sottostare ad una più ampia campagna di validazione sia con dati sperimentali che tramite confronto con altri codici di sistema già testati.

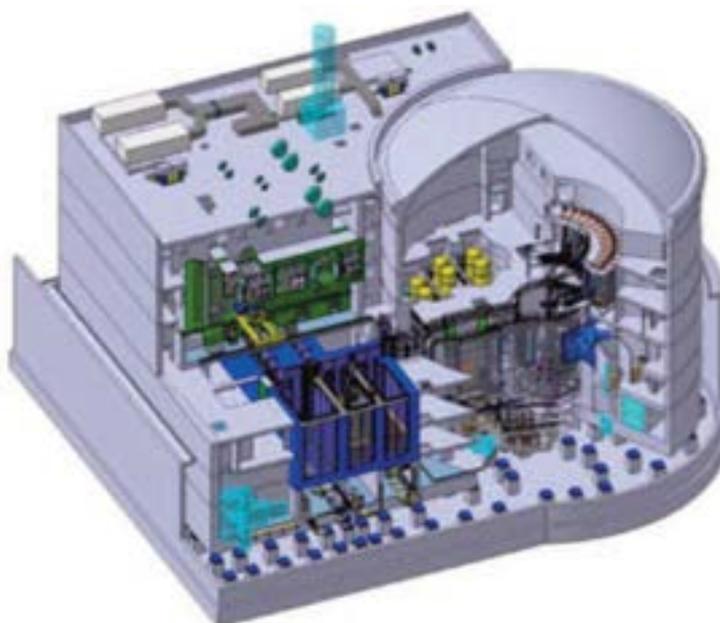
Un secondo rapporto ha riassunto l'attività svolta presso il CIRTEN, in collaborazione con ENEA, e rappresenta il primo passo nel processo di validazione di CATHARE nel trattare nuovi fluidi. Questa attività è mirata a verificare la capacità del codice nel riprodurre test integrali su impianti sperimentali. In particolare, sono stati presi in considerazione i dati provenienti da un recente benchmark internazionale realizzato dall'OECD/NEA denominato LACANES cui ENEA partecipa con la propria

versione modificata del codice RELAP5 per fluidi metallici. In tale ambito è stato costruito un modello rappresentativo del loop sperimentale denominato HELIOS raffreddato a piombo-bismuto per CATHARE ed è stato testato in circolazione forzata, attraverso due stazionari isoterma a differente portata che hanno mostrato una buona capacità di simulazione delle perdite di carico lungo il loop, sia nei confronti dei risultati sperimentali sia di quelli ottenuti con RELAP5. Inoltre, è stato analizzato il comportamento del loop in circolazione naturale fornendo una potenza alle barre scaldanti e le perdite di carico calcolate sono risultate in accordo con quelle misurate sperimentalmente.

I risultati di questo studio sono un buon punto di partenza per le future analisi necessarie a validare le modifiche a CATHARE per la simulazione di impianti raffreddati con la lega eutettica piombo-bismuto.

Jules Horowitz Reactor (JHR). Si tratta di un reattore da 100 MW in fase di avanzata costruzione a Cadarache, frutto della collaborazione del CEA con la Commissione Europea e vari partner internazionali sia pubblici che privati: CIEMAT (Spagna), SCK (Belgio), NRI (Repubblica Ceca), VTT (Finlandia), DAE (India), JAEA (Giappone), EDF e AREVA (Francia), VATTENFALL (Svezia). Sarà il più importante reattore sperimentale europeo a disposizione della collaborazione internazionale per lo sviluppo, la qualificazione, l'ottimizzazione e la sicurezza del combustibile nucleare e dei materiali utilizzati dall'industria per i reattori di II, III e IV generazione. Si prevede lo start-up del reattore nel 2014 e un'operatività di circa 50 anni.

L'ENEA ha proposto ai responsabili del CEA una prima collaborazione che riguarda la partecipazione di ricercatori italiani (ENEA e CIRTEN) ad alcune specifiche fasi di progettazione e l'acquisizione di elementi utili a valutare l'opportunità di una partecipazione dell'Italia al consorzio internazionale JHR. Attualmente 3 ricercatori italiani (2 ENEA, 1 CIRTEN) sono operativi presso il CEA a Cadarache, nel gruppo di progettazione di JHR.



Ricostruzione 3D del JHR del CEA-Cadarache

Studio di uno scenario relativo ad un ipotetico impiego di reattori nucleari di diversa taglia sul territorio nazionale e relative valutazioni economiche

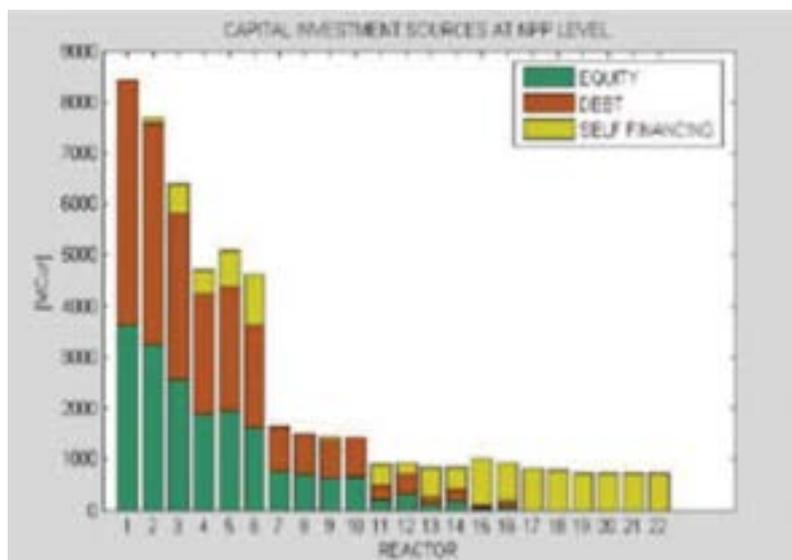
L'attuale politica energetica italiana è caratterizzata, nel lungo termine, dall'obiettivo di ricavare una quota pari al 25% del fabbisogno di energia elettrica da fonte nucleare, con termine temporale al 2030. Sono stati studiati due scenari, uno di riferimento, l'altro di sviluppo, caratterizzati

da una capacità nucleare installata di 19,5 e 35 GWe rispettivamente. Utilizzando il codice DESAE (Dynamic Energy System - Atomic Energy), di origine IAEA, sono state studiate le performance di sistemi nucleari ad acqua leggera rispetto a parametri quali: consumo di uranio, quantità di combustibile spento, accumulo di plutonio fissile ed attinidi minori; i risultati confermano che sistemi nucleari caratterizzati da elevati valori di burnup sono più performanti. Per contro, sistemi a basso burnup sono più attrattivi, sulla base di un maggiore accumulo di plutonio fissile, qualora si pianificasse l'introduzione di reattori veloci e la chiusura del ciclo del combustibile.

Un secondo studio riguarda uno scenario con impiego in Italia di centrali nucleari in un parco misto di SMR (Small-Medium Reactors) e LR (Large Reactors), con orizzonte temporale 2020-2030. Una "High variant" (2,5% di tasso di crescita annuale della domanda elettrica) ed una "Low variant" (1,0% di tasso di crescita annuale della domanda

elettrica) finalizzate entrambe alla fornitura del 25% di energia elettrica in Italia al 2030, sono state analizzate sia in termini di flussi di massa di materiali che per gli aspetti economici. Lo studio è stato condotto anche come contributo ENEA al "IAEA Coordinated Case Studies on Competitiveness of SMR in Different Applications" parte integrante del "IAEA Collaborative Project on Common Technologies and Issues for SMRs".

Il secondo studio mette in evidenza che, nonostante costi totali più elevati, il ricorso ad un parco reattori di tipo "misto" offre degli indubbi vantaggi: miglior scaglionamento nella costruzione di impianti, maggior flessibilità ed indipendenza delle singole unità di impianto, maggior facilità di gestire "modularmente" il debito iniziale che diventa più "attraente" per gli investitori grazie alla maggior controllabilità del rischio.



Capital investment sources at NPP level, Case MAX

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - REATTORI EVOLUTIVI

Tema di ricerca 5.2.5.8 - Linea progettuale 2: Reattori evolutivi INTD, International Near Term Deployment

Scenario di riferimento

Per le potenziali caratteristiche di elevata sicurezza, facilità di trasporto, costruzione e ridotto rischio economico-finanziario, i reattori di piccola o media taglia di tipo modulare (SMR) hanno recentemente guadagnato sia l'interesse di operatori elettrici di limitata dimensione, sia l'attenzione dei Paesi emergenti e in via di sviluppo, che hanno espresso all'IAEA l'interesse a ricorrere, per la prima volta, all'energia nucleare. Per tale motivo gli SMR sono oggetto dell'iniziativa International Framework for Nuclear Energy Cooperation (IFNEC), ex GNEP - Global Nuclear Energy Partnership, della quale fa parte anche l'Italia.

Negli Stati Uniti il DOE (Department of Energy) ha annunciato il lancio, nella primavera 2011, di un programma di R&S specificamente finalizzato ad un rapido sviluppo, licensing e commercializzazione di tali reattori.

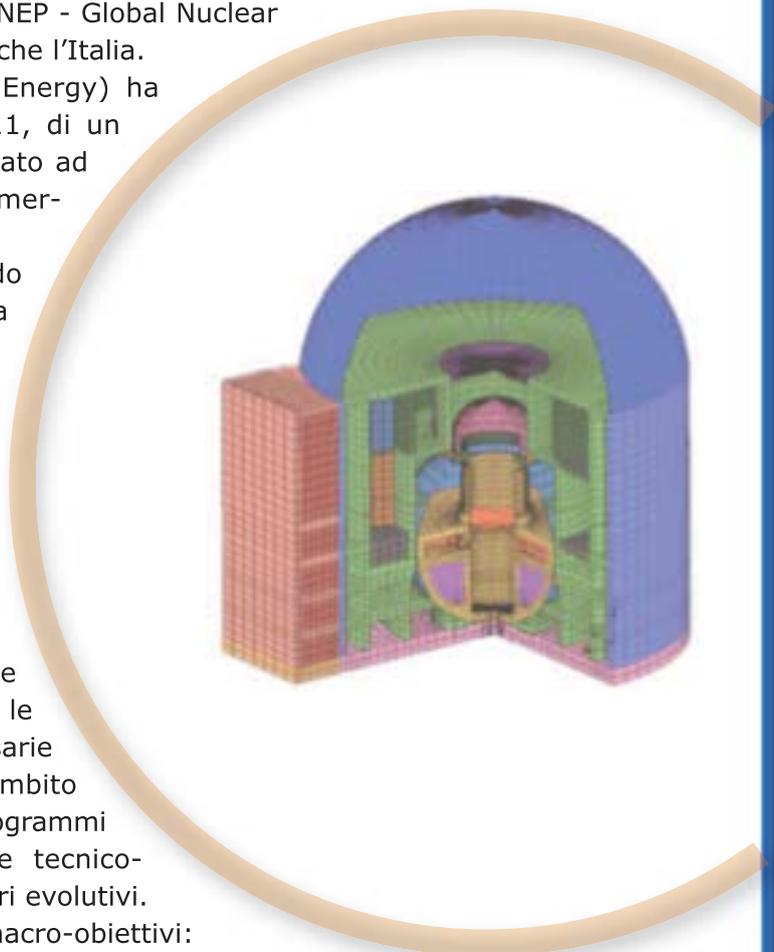
Infine, alcuni Paesi stanno studiando l'applicabilità dei reattori evolutivi di piccola taglia ad un uso combinato, prevalentemente mirato alla contemporanea produzione di energia elettrica e dissalazione dell'acqua.

Obiettivi

Scopo dell'attività è contribuire, nel breve e medio termine, a ricreare le competenze e le infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per la ripresa del settore nucleare in ambito nazionale, attraverso la partecipazione a programmi internazionali e allo studio di tematiche tecnico-scientifiche di carattere generale dei reattori evolutivi.

A tal fine sono stati individuati i seguenti macro-obiettivi:

- Prova integrale SPES-3 per reattori SMR di tipo integrato; tale prova è finalizzata alla realizzazione dell'impianto SPES-3 presso l'area sperimentale della SIET, all'esecuzione delle campagne sperimentali orientate allo studio dell'accoppiamento contenitore-



impianto durante un incidente di perdita di refrigerante e alla validazione dei metodi e dei codici di calcolo per la progettazione di sistema e le analisi di sicurezza (codici integrati d'impianto).

- Sviluppo di componenti critici per reattori 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.
- Analisi di sistema, finalizzate allo studio di soluzioni impiantistiche e alla messa a punto di metodologie di analisi, riguardanti la progettazione di sistemi per la prevenzione e la mitigazione delle conseguenze di terremoti e degli eventi esterni, come l'impatto di un aereo, la radioprotezione, l'attivazione e il danneggiamento dei materiali da radiazione, studi su noccioli innovativi ecc.

Risultati

Prova integrale SPES-3 per reattori SMR di tipo integrato

È stata completata la progettazione dell'impianto sperimentale SPES-3, in grado di simulare i transitori operativi e incidentali di un impianto SMR (piccoli LOCA, rottura delle linee vapore ecc.). È stata, quindi, definita la configurazione impiantistica ed eseguito il dimensionamento meccanico, termico e idraulico dei componenti. A supporto dell'attività di approvvigionamento dei componenti, è stato progettato e realizzato un impianto per la qualifica delle canne scaldanti, che simulano in SPES-3 la potenza termica di origine nucleare.

Particolare attenzione è stata dedicata alla selezione e allo sviluppo di strumentazione idonea per la misura delle grandezze di interesse (portata, grado di vuoto e spessore del film liquido) in regime di flusso bifase, uno degli aspetti più critici nella realizzazione dell'impianto. Sono stati definiti i criteri per la scelta e la qualificazione dei metodi di misura, e sono state valutate potenzialità e prestazioni degli strumenti commerciali o sviluppati da laboratori internazionali. In particolare sono stati messi a punto modelli matematici per la determinazione della portata, che hanno dimostrato la fattibilità della misura della portata con una catena di strumenti costituita da una turbina, una sonda per la misura del grado di vuoto e un drag disk. Sono stati realizzati sensori a termo-resistenza con la relativa elettronica per misure di velocità del fluido, che si sono dimostrati più idonei per misure di livello, e sono state progettate sonde di tipo capacitivo per la misura del grado di vuoto,



Tenuta inferiore dell'impianto prova canne scaldanti e struttura di supporto di SPES-3

viste le condizioni fluidodinamiche di pressione e temperatura durante i transitori.

Il prodotto finale è costituito dal dossier di progettazione esecutiva, per l'approvvigionamento delle parti di impianto (tubazioni, valvole, serbatoi ecc.), e da infrastrutture tecniche (impianto SPES-3 in corso di completamento, impianto prova barre scaldanti, strumentazione speciale per misure bifase).

L'attività di progettazione e realizzazione impianti è stata eseguita dalla SIET, società partecipata dell'ENEA, con la collaborazione dell'ENEA. L'attività del CIRTEN è stata focalizzata sia sulla selezione della strumentazione per misure in bifase sia sulla verifica della capacità dell'impianto sperimentale di simulare i transitori incidentali.

Sviluppo componenti

I componenti considerati, scambiatori immersi e generatori di vapore, sono stati selezionati sia per l'esperienza che il sistema Italia può vantare per il loro sviluppo sia per poter assicurare, in prospettiva, commesse agli operatori industriali nazionali per la realizzazione dei futuri SMR.

Per gli scambiatori immersi è stata sviluppata una correlazione di scambio termico basata sulla teoria della condensazione a film su parete, validata con le esperienze PERSEO messe a disposizione da ENEA ed eseguite da SIET sul prototipo in scala reale di un condensatore a tubi verticali. Tale

correlazione è stata implementata nel codice di sistema RELAP5.



Impianto sperimentale per la caratterizzazione termofluidodinamica dei tubi elicoidali di generatori di vapore

Per i tubi elicoidali dei generatori di vapore sono state sviluppate e validate correlazioni per valutare le perdite di carico e lo scambio termico in condizioni di crisi termica (dryout) e post-dryout, sia con dati sperimentali sia con dati reperibili in letteratura. Tali correlazioni sono state successivamente implementate nel codice RELAP5. È stata eseguita una prima campagna di prove finalizzate allo studio dell'instabilità termo-fluidodinamica che si può instaurare nei canali paralleli dei tubi elicoidali. Le prove sperimentali sono state eseguite presso la SIET e presso il CIRTEN.

Sono state eseguite anche analisi meccaniche per la valutazione del carico di collasso di tubi elicoidali. I

risultati delle prove sperimentali 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.

Un altro risultato significativo riguarda lo sviluppo e la validazione 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. Tale modello è stato implementato nel codice FLUENT.

Per studiare il miscelamento del boro durante l'intervento dei sistemi di sicurezza sono state eseguite simulazioni dinamiche ed è stata progettata un'apparecchiatura sperimentale (scala 1:5) che simula il downcomer e la parte bassa del vessel. Tale apparecchiatura è in corso di realizzazione. È stata completata la progettazione concettuale di un impianto sperimentale per lo studio di miscele bifase in tubi di diversa geometria (spirale, elicoidale ecc.). Il prodotto è costituito da apparecchiature sperimentali, dati sperimentali e modelli implementati nei codici di sistema e CFD.

Le attività di sviluppo componenti sono state eseguite principalmente dal CIRTEN.

Analisi di sistema

Le attività sono state focalizzate sulla riduzione del rischio sismico, sull'analisi degli eventi esterni, sulla verifica del progetto per gli aspetti radio-protezionistici e di attivazione e danneggiamento materiali, su valutazioni neutroniche di noccioli di diversa potenza termica al fine di ridurre/eliminare il controllo chimico della reattività lungo il ciclo.

Relativamente alla riduzione del rischio sismico, sono stati evidenziati i vantaggi dell'isolamento sismico rispetto ad un impianto non isolato o parzialmente interrato. A tal fine è stato valutato il comportamento di un edificio isolato e non isolato sismicamente durante il terremoto di progetto, dopo avere definito le dimensioni geometriche, il fattore di forma, il tipo di miscela, il numero e la disposizione degli isolatori. È stata altresì valutata l'influenza sul comportamento dinamico dell'edificio del guasto di una frazione di isolatori.

È stata anche effettuata una valutazione preliminare dei costi connessi all'utilizzo di questa tecnologia. Infine è stata messa a punto una metodologia per la valutazione delle curve di fragilità, basata su tecniche numeriche consolidate (FEM, Montecarlo ecc.) e capace di eliminare o ridurre le incertezze e il grado di conservatività dei metodi tradizionali. Tale metodologia è stata applicata all'edificio non isolato per valutare le



Isolatore in prova

curve di fragilità di alcuni componenti. Al fine di valutare tali curve anche nel caso di un edificio isolato simicamente, è stato sviluppato un modello analitico/numerico capace di descrivere adeguatamente il comportamento di un isolatore ed è stata eseguita una serie di prove sperimentali finalizzate alla caratterizzazione meccanica degli isolatori selezionati.

Infine è stata elaborata una proposta di estensione agli impianti nucleari della normativa

europea EN 15129, valida per l'isolamento sismico degli edifici civili.

Riguardo all'analisi degli eventi esterni è stato completato lo studio dell'impatto aereo (Boeing 747 e Phantom F4) e del comportamento dell'edificio in caso di un tornado estremo, in accordo con la normativa ASCE e utilizzando il modello di Rankine per il calcolo delle velocità del vortice.

Per quanto riguarda la valutazione delle dosi nei vari locali dell'edificio ausiliari, e dell'attivazione e danneggiamento dei materiali nelle varie condizioni operative dell'impianto, i risultati dei calcoli hanno permesso di individuare le migliorie da apportare al progetto e di verificare la correttezza delle scelte progettuali fatte dal progettista.

Per quanto riguarda le valutazioni neutroniche di noccioli di reattori pressurizzati ad acqua leggera di tipo evolutivo è stato studiato un nocciolo di un reattore di potenza termica dell'ordine di 600 MW (circa 220 MW_e) con uno schema di ricarica del combustibile a ciclo unico

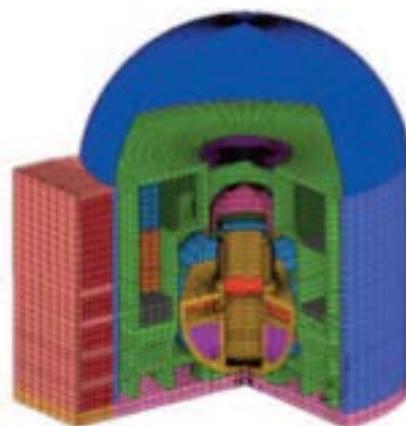
(once-through). Tale soluzione offre la possibilità di gestire il reattore con contratti di "leasing" del combustibile, con importantissimi risvolti per quanto riguarda la difesa dal rischio di proliferazione.

Sono state inoltre valutate, per un nocciolo di potenza dell'ordine di 150 MW termici, soluzioni alternative al controllo chimico della reattività. Ogni soluzione investigata ha richiesto un approfondito studio partendo dall'elemento di combustibile per valutare arricchimento, quantità e distribuzione dei veleni bruciabili, dimensioni del reticolo, per poi passare alla valutazione di una disposizione ottimale dell'elemento di combustibile nel nocciolo a seconda del sistema assorbitore prescelto.

I calcoli neutronici sono stati finalizzati a ridurre/eliminare la



Rottura isolatore

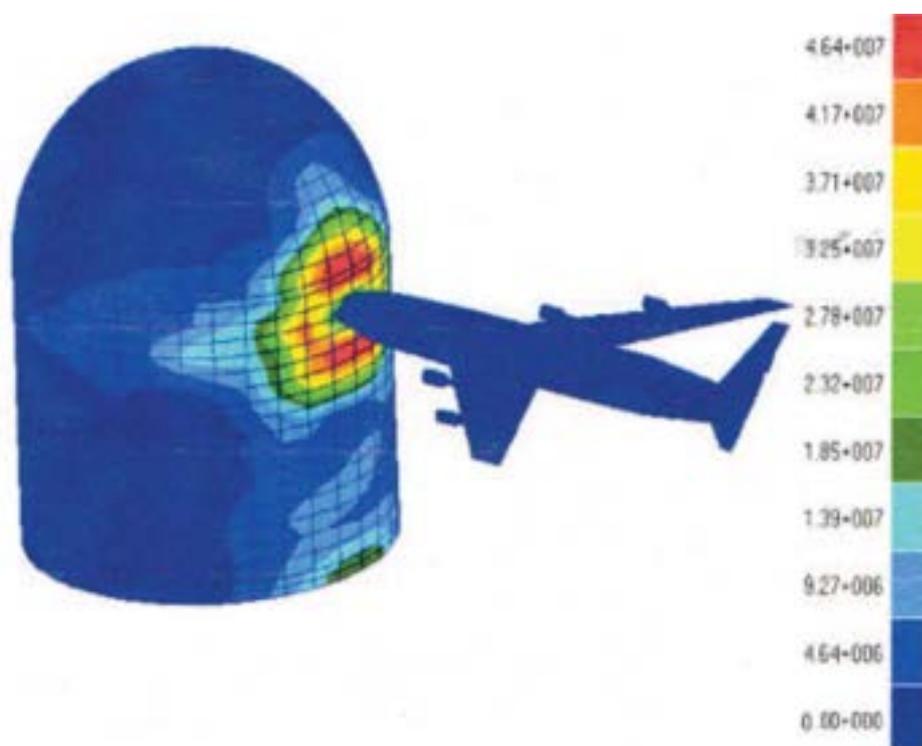


Modello dell'edificio del reattore SMR prescelto

concentrazione di boro con riduzione dei rifiuti prodotti e delle dosi ai lavoratori e una semplificazione impiantistica, oltre che a ottimizzare i coefficienti di reattività.

Il risultato è la messa a punto di metodologie applicabili anche ai reattori appartenenti all'attuale III Generazione, oltre all'acquisizione e trasferimento di competenze.

L'attività è stata effettuata dall'ENEA e dal CIRTEN.



Impatto aereo - distribuzione delle tensioni

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - REATTORI DI QUARTA GENERAZIONE

Tema di ricerca 5.2.5.8 - Linea progettuale 3: Reattori di quarta generazione

Scenario di riferimento

I reattori nucleari di quarta generazione sono sistemi completamente innovativi rispetto alle attuali generazioni e sono progettati per 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 bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e capacità di 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'aumentata protezione contro attacchi terroristici.

Tra i sei sistemi individuati nella Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, l'impegno italiano è focalizzato sui seguenti sistemi:

- Lead-Cooled Fast Reactor (LFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a piombo con ciclo del combustibile chiuso.
- Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) - reattori a spettro veloce, refrigerati a sodio e con ciclo del combustibile chiuso.
- Very-High-Temperature Reactor (VHTR) - reattore moderato a grafite e refrigerato ad elio, con ciclo del combustibile ad un solo passaggio (once-through).



GEN IV Nuclear Energy Systems

Obiettivi

L'obiettivo principale è sostenere lo sviluppo tecnologico dei sistemi nucleari di quarta generazione - in particolare Lead Cooled Fast Reactor (LFR) e Sodium Cooled Fast Reactor (SFR) - che riscuotono particolare interesse in Europa nell'ambito della European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII) dello Strategic Energy Technology Plan europeo. Le attività implementate riguardano la qualifica dei materiali strutturali, la caratterizzazione di componenti prototipici, lo sviluppo e qualifica di modelli di calcolo avanzati che supportino la progettazione di tali sistemi, la progettazione concettuale del core del reattore, l'investigazione della fluidodinamica e termoidraulica di fluidi refrigeranti non convenzionali, in particolare in condizioni "safety relevant".

Risultati

Le attività di ricerca e sviluppo condotte in supporto ai "Reattori di IV Generazione" hanno avuto come obiettivo principale l'implementazione delle tecnologie relative ai reattori nucleari veloci refrigerati a piombo, LFR, e a sodio, SFR, e la qualifica e validazione di codici di calcolo per il supporto alla progettazione dei sistemi nucleari refrigerati a gas ad alta temperatura, VHTR.

Progettazione e realizzazione circuito ad acqua in pressione per l'alimentazione del Decay Heat Removal (DHR) System

Sulla base delle specifiche funzionali e di prova è stato progettato e realizzato il circuito ad acqua in pressione per l'alimentazione del prototipo di scambiatore per la rimozione del calore di decadimento (DHR). L'impianto ad acqua in pressione è stato realizzato in maniera da garantire l'interfaccia termomeccanica con l'impianto sperimentale a metallo liquido CIRCE del Centro ENEA del Brasimone in configurazione di prova ICE - Integral Circulation Experiment - nel quale è stata installata la sezione di prova per la qualifica del prototipo di scambiatore DHR.

Tale attività è stata condotta in sinergia con quanto previsto nell'ambito del progetto IP-EUROTRANS del VI Programma Quadro Euratom, che ha come obiettivo l'investigazione sperimentale del comportamento termofluidodinamico di una porzione del



Prove Integrali e Qualifica Componenti

Sezione di prova ICE - Impianto CIRCE - per la qualifica DHR

sistema primario di un reattore LFR o ADS (Accelerator Driven System) in scala 1 MW.

Montaggio e collaudo della sezione di prova DHR sull'impianto sperimentale a metallo liquido CIRCE

Nell'ambito dell'attività ICE sopra menzionata è stata progettata e approvvigionata una sorgente termica per simulare una porzione di nocciolo di reattore LFR della potenza di 1 MW. Tale porzione di nocciolo, costituita da un fascio di barrette disposte su reticolo esagonale, è realizzata con resistenze elettriche altamente performanti (flusso da 1 MW/m², densità di potenza di circa 500 W/cm³) che necessitano di alimentazione in corrente continua. Progettato e implementato il sistema di alimentazione della potenza di 1 MW, si è provveduto all'avvio dell'impianto CIRCE per i collaudi in temperatura e, in anticipo sui tempi, si è provveduto alla realizzazione di una campagna sperimentale preliminare (test a piena potenza in regime stazionario) per verificare la funzionalità del sistema e fornire i primi dati sulle prestazioni del prototipo di DHR.

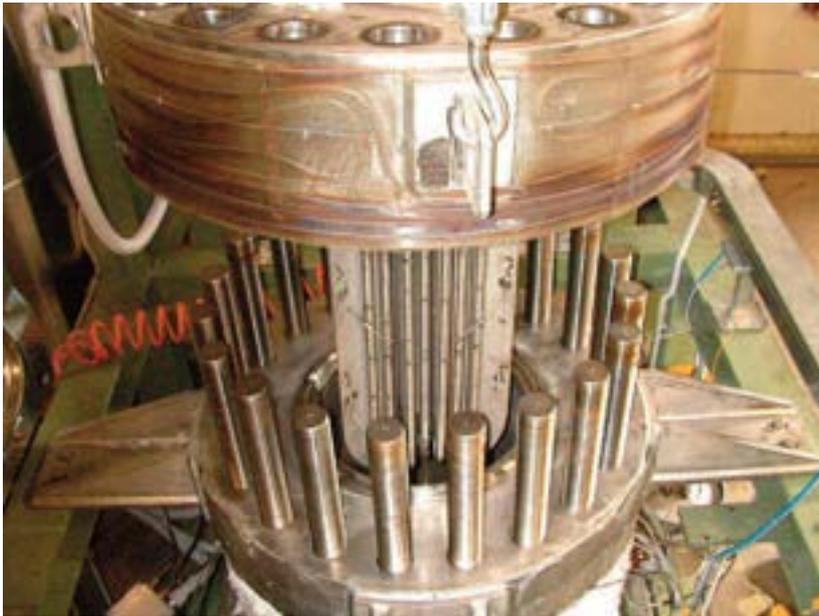
Qualifica girante per pompa centrifuga realizzata con materiale ad elevata resistenza alla corrosione/erosione

Data l'aggressività del piombo fluente a temperature superiori ai 400 °C, per i sistemi LFR è stato necessario individuare nuovi materiali per la realizzazione della girante della pompa, dei cuscinetti idrodinamici e del corpo valvola. Come materiale ad elevata resistenza alla corrosione ed erosione è stato individuato il MAXTHAL (ceramico Ti₃SiC₂), che permette applicazioni d'uso in piombo fino a 500 °C.

Si è quindi provveduto alla progettazione concettuale e termoidraulica di un circuito a metallo liquido, denominato HELENA - Heavy Liquid Metal Experimental Loop for Advanced Nuclear Applications - nel quale installare un prototipo di pompa centrifuga con girante in MAXTHAL. Simulazioni numeriche di pre-test sono state effettuate per valutare il comportamento termoidraulico dell'impianto in regime stazionario e durante i transitori operazionali.

Progettazione attività sperimentale, definizione set-up impiantistico e analisi numerica di pre-test in supporto alla qualifica del generatore di vapore

Nell'ambito delle attività sperimentali in supporto alle analisi incidentali di un sistema LFR per rottura del Generatore di Vapore (Steam Generator Tube Rupture - SGTR), è stata implementata e realizzata sull'impianto sperimentale LIFUS5 del Centro ENEA del Brasimone una campagna sperimentale preliminare.



Sezione di prova Impianto LIFUS5

I risultati hanno permesso di validare e supportare la progettazione e futura implementazione di un'appropriata sezione di prova da installare nell'impianto LIFUS5, per caratterizzare il generatore di vapore per il dimostrativo di LFR.

Ai risultati preliminari si è, inoltre, associata un'analisi di post-test mediante simulazioni numeriche realizzate con il codice SIMMER III (2D) e SIMMER IV (3D), ottenendo una qualificata modellazione della sezione di prova attuale e una validazione del codice per applicazioni di supporto alla progettazione.

Sezione di prova e provini per la caratterizzazione fuori pila dei materiali strutturali

Nell'ambito delle attività di ricerca e sviluppo definite in supporto alla qualifica dei materiali strutturali per sistemi nucleari innovativi e in sinergia con il progetto europeo GETMAT del VII Programma Quadro Euratom, ENEA ha avviato il progetto LEXUR-II, che prevede test di irraggiamento neutronico sui materiali strutturali proposti - T91, T91 ricoperto in GESA e FeAl, 15-15Ti, 14 Cr ODS (Y_2O_3). I test, che saranno realizzati nel reattore russo a spettro neutronico veloce BOR-60, hanno l'obiettivo di qualificare il comportamento dei materiali strutturali sotto irraggiamento quando operati in piombo fluente. Per disporre di un database di confronto si sono definiti e progettati opportuni test di qualifica su campioni identici a quelli proposti per LEXUR-II ma ad irraggiamento nullo.

Sviluppo modelli di calcolo per la termo-fluidodinamica, la neutronica e la cinetica di nocciolo

L'attività ha riguardato principalmente la validazione di un modello 3D del reattore LFR- ELSY, sviluppato con il codice FEM-LCORE, attraverso la comparazione con i risultati del codice SIMMER-III.

Il confronto puntuale dei profili di pressione, velocità e temperatura nelle

diverse regioni del nocciolo ha messo in evidenza un generale accordo fra i risultati dei due codici, in particolare per quanto riguarda l'influenza dei fenomeni di turbolenza nei volumi di ingresso e uscita sui flussi trasversali nel nocciolo aperto (ovvero con elementi di combustibile privi di scatole).

Il confronto ha inoltre dimostrato come l'accuratezza del modello CFD può evidenziare eventuali disomogeneità e punti caldi lungo le linee di efflusso del nocciolo LFR.

Per quanto riguarda la neutronica, si è ulteriormente esteso il modello di cinetica neutronica sviluppato in precedenza, mediante la messa a punto di un algoritmo per la soluzione delle equazioni di bilancio in geometria pluridimensionale.

Concettualizzazione del DEMO di LFR

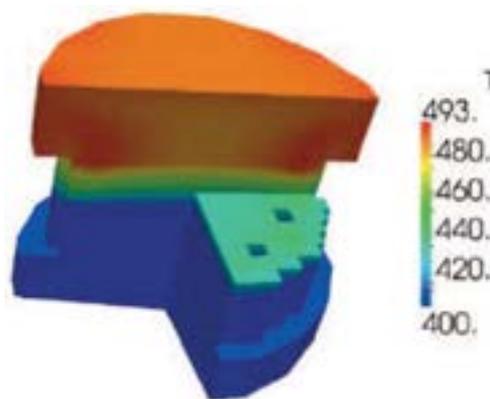
Con l'obiettivo di dimostrare la fattibilità di un reattore raffreddato a piombo, è stato realizzato un progetto preliminare di un nocciolo per un reattore LFR dimostrativo.

Si è prodotto quindi un design dell'elemento di combustibile, delle barrette e del sistema di controllo. Il nocciolo è stato poi caratterizzato neutronicamente per mezzo del codice ERANOS e della libreria JEFF 3.1.

Sono stati calcolati i coefficienti di reattività da utilizzarsi come input per l'analisi cinetica.

È stata infine effettuata un'analisi termoidraulica preliminare, che ha verificato il rispetto dei limiti di temperatura assunti in fase di progetto.

Parallelamente, è stato sviluppato un modello semplificato di dinamica di nocciolo che permette un approccio preliminare alle problematiche di controllo del sistema: questo consente un'analisi relativamente veloce della dinamica e della stabilità del sistema, che deve essere tenuta in conto anche in fase di progettazione concettuale.



Distribuzione di temperatura nel nocciolo di LFR (FEM-LMCORE)

Generatore di vapore per reattori SFR

Le attività hanno riguardato lo sviluppo e la messa a punto, presso il Laboratorio Solare Termodinamico del Centro Ricerche ENEA Casaccia, di un laboratorio di misura, dotato di strumentazione e sensori miniaturizzati, progettato per la determinazione delle proprietà termofisiche primarie e secondarie di una miscela di sali fusi proposta, nei reattori nucleari di Quarta Generazione refrigerati a sodio, come fluido di scambio termico intermedio poiché permette un impiego a temperature elevate fino a 550 °C.

Calcoli di pre-test e definizione specifiche per prove sull'impianto HE-FUS3 evoluto

L'attività di calcolo di pre-test per la definizione di una campagna sperimentale sull'impianto HEFUS3 (Centro Ricerche ENEA Brasimone) è stata condotta alla luce dei risultati sperimentali già disponibili. È stata individuata la nuova strumentazione indispensabile e definiti nuovi transitori sperimentali per ampliare il database di validazione dei codici, tenendo conto di scenari e condizioni di impianto significative per il progetto e la sicurezza dei reattori a gas ad alta temperatura (VHTR). Calcoli di pre-test hanno portato alla definizione di una nuova campagna sperimentale caratterizzata da pressione e portata dell'elio superiori a quelle delle precedenti prove sperimentali.

Sono stati poi simulati diversi transitori incidentali che hanno permesso di individuare le condizioni iniziali e al contorno ottimali per la conduzione dei transitori sperimentali.

Core VHTR: Progettazione set-up TAPIRO ed esperienza per interfaccia core-riflettore VHTR

Nell'ambito delle attività è stato valutato, mediante simulazioni numeriche, il rateo di dose nelle sezioni di prova preventivamente progettate, dopo uno o più cicli d'irraggiamento nella colonna termica del reattore TAPIRO.

Lo studio dell'andamento nel tempo della dose residua nelle componenti del manufatto permette di valutare il rischio radiologico associato a tutte le operazioni di manipolazione dei campioni e dei materiali del manufatto.

Si è inoltre predisposto un benchmark per la validazione di codici e librerie da utilizzare per il calcolo di reattori tipo VHTGR.



Immagine del reattore TAPIRO

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - DEPOSITO RIFIUTI RADIOATTIVI

Tema di ricerca 5.2.5.8 - Linea progettuale 4: Attività di ricerca e sviluppo relative alla caratterizzazione dei rifiuti radioattivi e alle fenomenologie di base che influenzano la scelta di un sito per un deposito definitivo di rifiuti radioattivi di II categoria e temporaneo di rifiuti di III categoria

Scenario di riferimento

Il rilancio dell'opzione nucleare da parte del Governo ha reso più urgente la necessità di risolvere il problema della gestione in sicurezza dei rifiuti radioattivi prodotti dalle attività nucleari pregresse e dallo smantellamento degli impianti nucleari dismessi. L'accettabilità di nuove centrali nucleari da parte dell'opinione pubblica è infatti maggiore se si dimostra di aver trovato una soluzione sicura e definitiva a questo problema.

L'Italia inoltre ha ratificato nel 2006 la "Joint Convention on the Safety of the Management of Spent Fuel and on the Safety of the Management of Radioactive Waste", che impegna i Paesi contraenti alla messa in sicurezza del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi.

Il Governo ha indicato la SOGIN come soggetto responsabile della realizzazione e dell'esercizio del deposito nazionale dei rifiuti radioattivi e dell'annesso Parco Tecnologico Nucleare (D.Lgs. 15/02/10 n. 31). Il compito affidato all'ENEA nell'ambito dell'Accordo di Programma è invece di definire la situazione italiana attraverso la revisione e l'aggiornamento del lavoro svolto in passato dai vari soggetti interessati, e di avviare studi e programmi di R&S necessari per acquisire e mettere a disposizione del Paese competenze tecniche e scientifiche propedeutiche alle attività operative.



Obiettivi

Obiettivo principale è lo sviluppo di competenze e strumenti per la caratterizzazione dei rifiuti, la performance assessment, la valutazione di impatto ambientale, lo studio di scenari, le analisi territoriali, la definizione dei criteri di accettabilità dei rifiuti, i sistemi di condizionamento, la radioprotezione, l'analisi di sicurezza ecc. Sono state esaminate le seguenti tematiche:

- supporto al processo decisionale;
- stato dell'arte su studi e ricerche svolti in Italia;
- inventario nazionale dei rifiuti radioattivi;
- caratterizzazione dei rifiuti da conferire al sito di deposito;
- analisi propedeutiche alla progettazione e realizzazione del deposito;
- trasporto dei rifiuti radioattivi;
- linee guida per la security;
- linee guida per comunicazione, informazione e formazione;
- analisi e R&S relative allo smaltimento geologico.

Risultati

Supporto al processo decisionale

Il GdL Stato-Regioni ex DM 25/02/08 ha affidato all'ENEA lo studio di tematiche specifiche:

- "Centro Servizi": individuazione della natura e della tipologia delle infrastrutture da realizzare nel Centro, relative sia al deposito sia al "Parco Tecnologico".
- "Legislazione e Normativa": individuazione del regime di responsabilità nella varie fasi, stima economica dei costi di realizzazione, riordino della normativa sui rifiuti nucleari.

I risultati dello studio sono stati incorporati nel Rapporto Finale del GdL Stato-Regioni presentato al Ministro dello Sviluppo Economico (settembre 2008).

Stato dell'arte su studi e ricerche svolti in Italia

È stato costruito un archivio della documentazione tecnico-scientifica prodotta in passato, con analisi critica dei documenti più significativi, al fine di valutare le necessità di aggiornamento. L'analisi critica del Rapporto della "Commissione Cenerini" ne mostra ad esempio, per molti aspetti, la straordinaria attualità.

È stata condotta un'analisi delle attività effettuate tra il 1996 e il 2003 dall'ENEA, individuando anche documenti tecnico-scientifici e iniziative più significativi. I lavori della Task Force Sito dell'ENEA sono stati numerosi e, già alla fine degli anni 90, fu elaborato un primo progetto concettuale del sito di smaltimento superficiale con sistema multi-barriera; in quel periodo la Task Force ha anche elaborato una metodologia di selezione geografica delle aree potenzialmente idonee ad

ospitare l'insediamento, basandosi su una serie di stringenti criteri di esclusione, con un approccio che ha ancora una sua validità intrinseca, con opportuni aggiornamenti tecnici e scientifici.



Principali siti nucleari italiani

Inventario nazionale dei rifiuti radioattivi

L'ultimo "Inventario Nazionale dei Materiali Radioattivi" prodotto dall'ENEA risale all'anno 2000. Da allora l'unico inventario disponibile era quello dell'ISPRA (ex APAT), che raccoglie le informazioni fornite dagli esercenti ma fornisce solo una "fotografia" dell'esistente e non effettua, in quanto non di sua competenza, elaborazione dei dati ai fini dello stoccaggio definitivo. Tali elaborazioni sono state affidate ad ENEA mediante un accordo raggiunto con ISPRA nel corso della prima annualità. L'ENEA ha elaborato i dati sui rifiuti radioattivi sulla base di ipotesi di condizionamento, laddove non già condizionati, al fine di pervenire all'inventario nazionale dei rifiuti radioattivi condizionati. 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. L'attività è proseguita nella seconda annualità con la messa a punto di un sistema informativo e l'aggiornamento dei dati. Si è iniziato ad interagire con la SOGIN per ottenere informazioni aggiornate sul programma di gestione dei rifiuti radioattivi, evitando sovrapposizione di ruoli.

La valutazione critica delle informazioni ricavate dall'inventario consente di individuare carenze, soprattutto in termini di caratterizzazione, e fornisce spunti per studi e programmi di ricerca e sviluppo che migliorino

la conoscenza sulla situazione dei rifiuti radioattivi in Italia. Il feedback all'autorità di controllo ed agli esercenti stessi potrà meglio indirizzare la caratterizzazione dei rifiuti.

Caratterizzazione dei rifiuti da conferire al sito di deposito

L'attività è iniziata nel primo anno con l'elaborazione di procedure per la caratterizzazione radiologica e chimico-fisica dei rifiuti radioattivi e di criteri di massima per l'accettabilità al deposito, identificando anche le tecniche distruttive e non distruttive più idonee e la migliore strumentazione disponibile sul mercato.

Dopo la definizione concettuale elaborata nella prima annualità, è stata messa a punto una descrizione più accurata dell'insieme integrato di infrastrutture, tecnologie e servizi necessari per la caratterizzazione di rifiuti radioattivi, ai fini del conferimento al deposito. Si è provveduto alla progettazione preliminare dei laboratori di misure distruttive e non-distruttive e del laboratorio di qualificazione e certificazione di matrici di condizionamento. È stato inoltre sviluppato, in collaborazione con il CIRTEN, un progetto particolareggiato di prototipo di sistema integrato di caratterizzazione radiologica non distruttiva, basato su tecniche di interrogazione neutronica

attiva tramite fissione indotta, interrogazione gamma attiva tramite fotofissione e tomografia gamma, che si propone come sistema innovativo con limiti di rivelazione particolarmente bassi per la quantificazione della massa di fissile, della massa di fertile nonché del contenuto totale di attinidi in contenitori di rifiuti radioattivi, per la caratterizzazione completa del manufatto con tecniche non distruttive e per la corretta discriminazione dei rifiuti di II e III Categoria.

A completamento è stata effettuata dal CIRTEN un'analisi critica delle norme UNI relative alla caratterizzazione radiologica dei rifiuti radioattivi ai fini di una valutazione dei contenuti sulla base dei più recenti standard internazionali.

Analisi propedeutiche alla progettazione e realizzazione del deposito

Nella prima annualità sono stati individuati i requisiti minimi del sito e analizzate le azioni propedeutiche alla progettazione del deposito, 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 (parzialmente già effettuati in passato) relativi a scenari, analisi territoriali, performance assessment, 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 ecc.

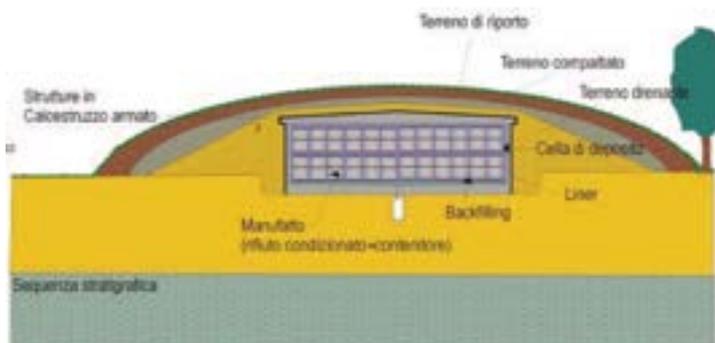


Strumento portatile per misura gamma

Il CIRTEN ha ulteriormente sviluppato nella seconda annualità gli studi per la modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive del deposito e per una metodologia di analisi probabilistica del rischio associato alla costruzione e operazione del deposito stesso.

Le attività del secondo anno sono state inoltre finalizzate alla formazione delle competenze necessarie per l'analisi di sicurezza e per i calcoli di performance assessment, mediante acquisizione o sviluppo dei relativi strumenti computazionali.

Si sono anche avviati studi relativi alla caratterizzazione geologico-ambientale dei siti, che spesso appare poco esaustiva e soggetta a critiche. Sono stati analizzati i principali aspetti geologici, territoriali, ambientali e antropici che possono influire direttamente e indirettamente sulla scelta di un sito per l'ubicazione di un deposito di rifiuti radioattivi a bassa attività. È stato proposto un approccio metodologico alla caratterizzazione, che risulti chiaro e pragmatico ma che permetta anche di desumere un quadro esaustivo e dettagliato degli aspetti geologico-ambientali. L'approccio prescelto per individuare il sito, oltre che tecnicamente ineccepibile, dovrà risultare trasparente per fornire l'evidenza che i criteri rispondano a precisi requisiti, e siano stati applicati in modo ottimale, per la tutela dell'ambiente e della salute pubblica. In particolare dovranno essere definite, in maniera dettagliata, le caratteristiche delle matrici ambientali coinvolte nella realizzazione e nell'esercizio del deposito stesso; queste costituiranno un utile elemento conoscitivo nei successivi studi finalizzati alla riduzione dei rischi.



Schema di deposito superficiale

Trasporto dei rifiuti radioattivi

È stato effettuato uno studio relativo alle problematiche inerenti il trasporto dei rifiuti condizionati dai siti di produzione al deposito nazionale, e identificate le soluzioni tecniche più idonee. Si segnalano inoltre l'acquisizione e le prove preliminari di un software della IAEA per la valutazione degli indici di rischio relativi ad un trasporto nucleare.

Linee guida per la security

Sulla base dell'esperienza internazionale e con riferimento a documenti di indirizzo emessi da organismi internazionali qualificati (IAEA, OECD-NEA, UE) sono state identificate le problematiche di Security correlate con il deposito dei rifiuti radioattivi e le relative soluzioni tecniche e procedurali.

Linee guida per comunicazione, informazione e formazione

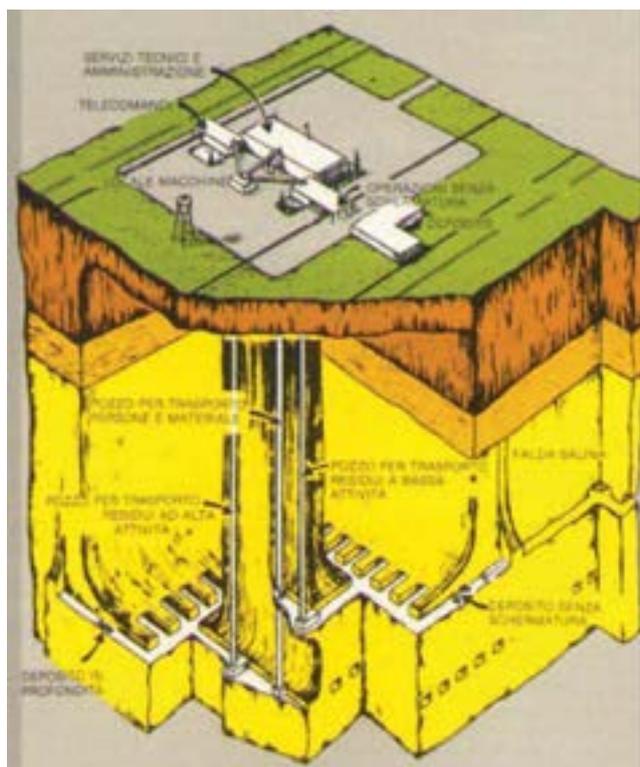
Sulla base dell'esperienza internazionale e con riferimento a indicazioni di organismi internazionali qualificati (IAEA, OECD-NEA, UE), sono state proposte le linee guida per la definizione di un piano di azioni per informare, coinvolgere ed ottenere il consenso del pubblico.

Alla luce del rilancio dell'opzione nucleare in Italia, con la seconda annualità questo argomento è stato esteso al tema del nucleare in genere ed è stato oggetto di una linea progettuale ad hoc.

Analisi e R&S relative allo smaltimento geologico

Con la prevista realizzazione di nuove centrali nucleari e il successivo sviluppo della IV generazione, ma soprattutto in base ad un input specifico del Ministero dello Sviluppo Economico all'ENEA nel 2009, si è ritenuto opportuno che, almeno a livello di ricerca di sistema, il Paese torni ad occuparsi del tema dello smaltimento geologico per sviluppare competenze utili a future decisioni in merito alla gestione dei rifiuti ad alta attività e lunga vita. La proposta è di sviluppare queste competenze partecipando alle principali iniziative a livello europeo ed internazionale.

In particolare l'ENEA ha aderito e ha partecipato ai lavori del Consorzio ARIUS (*Association for Regional and International Underground Storage*) e associato gruppo di lavoro ERDO-WG (*European Repository Development Organisation Working Group*) e alla Piattaforma Tecnologica europea sullo smaltimento geologico (IGD-TP), lanciata a fine 2009 e in procinto di definire una *Strategic Research Agenda* con l'obiettivo di avere un deposito geologico operativo in Europa entro il 2025.



Schema di deposito geologico

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - SUPPORTO ALL'AUTORITÀ DI SICUREZZA

Tema di ricerca 5.2.5.8 - Linea progettuale 5: Supporto all'Autorità istituzionale di sicurezza per gli iter autorizzativi, anche al fine di elevare il grado di accettazione dei reattori di III generazione. Comparazione delle attuali opzioni scientifiche e tecnologiche

Scenario di riferimento

Alla luce delle recenti dichiarazioni e determinazioni del Governo, miranti a creare le condizioni per la realizzazione sul suolo italiano di impianti nucleari di III generazione, le attività di ricerca sono state orientate sui reattori di terza generazione per fornire un'esauriente informazione sia sulle possibili opzioni tecnologiche (EPR, AP-1000, con apertura allo studio di altre proposte), sia sullo stato attuale e sulle necessità di sviluppo di modellistica, infrastrutture e normativa a supporto della loro comparazione, valutazione e qualifica.

Obiettivi

Sono stati individuati i seguenti obiettivi:

- base informativa: studi di comparazione delle attuali opzioni scientifiche e tecnologiche per la produzione di energia nucleare;
- modellistica: messa a punto di metodi e raccolta/elaborazione di informazioni sulle metodologie di calcolo più aggiornate utilizzate per lo studio della sicurezza dei più recenti reattori commerciali (III generazione di tipo evolutivo) a supporto della loro valutazione e certificazione;
- qualifica sperimentale: adeguamento tecnologico degli impianti sperimentali dedicati alla qualifica sperimentale, individuazione delle normative di riferimento e studio e programmazione di prove di qualifica sperimentale di sistemi e componenti, a supporto dell'iter di certificazione.



Base informativa sulla realizzazione di reattori di III generazione

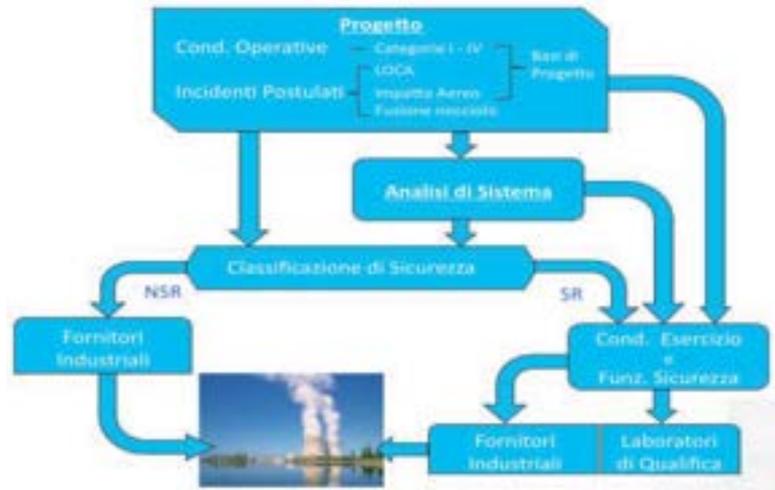
Lo studio comparativo delle attuali opzioni scientifiche e tecnologiche per la produzione di energia nucleare è stato orientato alla ricerca di informazioni aggiornate sulle proposte di maggiore interesse in Europa e in Italia, e alla loro elaborazione in un quadro omogeneo e referenziato. L'attenzione è stata rivolta alle due proposte di maggiore interesse per l'Italia, in accordo con le indicazioni che si sono delineate durante lo studio attraverso i contatti ufficiali di rappresentanti del governo e delle maggiori realtà industriali coinvolte: EPR di Areva (Francia) e AP-1000 di Toshiba-Westinghouse (Giappone-Stati Uniti).

Nella fase informativa lo spettro delle tecnologie esplorato è stato più ampio e ha comportato incontri con vendors, con la cui collaborazione sono state organizzate giornate di studio presso le sedi ENEA, aperte agli operatori del settore, su ciascuna delle seguenti tecnologie: EPR, AP-1000, ABWR e ESBWR della GE-Hitachi Nuclear Energy, mPOWER della Babcock & Wilcox, VVER-1000 della Atomenergoproekt (AEP, Federazione Russa). Inoltre una giornata di studio su argomenti trasversali alle diverse tecnologie è stata organizzata in collaborazione con la Technical Support Organization francese: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), coinvolta in attività di supporto alle autorità regolatorie o al sistema industriale per EPR e VVER (in Bulgaria).

Nella fase di elaborazione l'attenzione è stata rivolta principalmente agli aspetti - tra loro fortemente correlati - che caratterizzano e differenziano le due tecnologie di maggiore interesse, EPR e AP-1000 per:

- la filosofia di sicurezza implementata nella progettazione impiantistica;
- la sensibilità della progettazione impiantistica ai requisiti derivanti dalle caratteristiche di un sito specifico e di una specifica gestione dell'impianto e del suo ciclo del combustibile;
- la gestione dei flussi della catena di fornitura, in relazione anche con i requisiti di qualificazione nucleare dei sistemi e delle componenti rilevanti per la sicurezza.

I documenti sono stati elaborati in un ambito professionale di ampia esperienza nel settore della normativa e degli standard di sicurezza. Come raccolta strutturata di informazioni, essi costituiscono una premessa essenziale per l'indirizzo delle attività di ricerca e il



Schema dei flussi nella fase di realizzazione di una centrale nucleare

conseguente contributo allo sviluppo delle linee guida italiane sui rapporti di sicurezza, nonché alla pianificazione della formazione e dell'organizzazione delle risorse necessarie al sistema nazionale per l'implementazione della normativa di sicurezza nucleare e per la gestione delle relazioni con le organizzazioni internazionali. Le attività per il conseguimento di questo obiettivo sono state condotte in collaborazione con CIRTEN.



Stato del cantiere OL3 in Finlandia, febbraio 2010



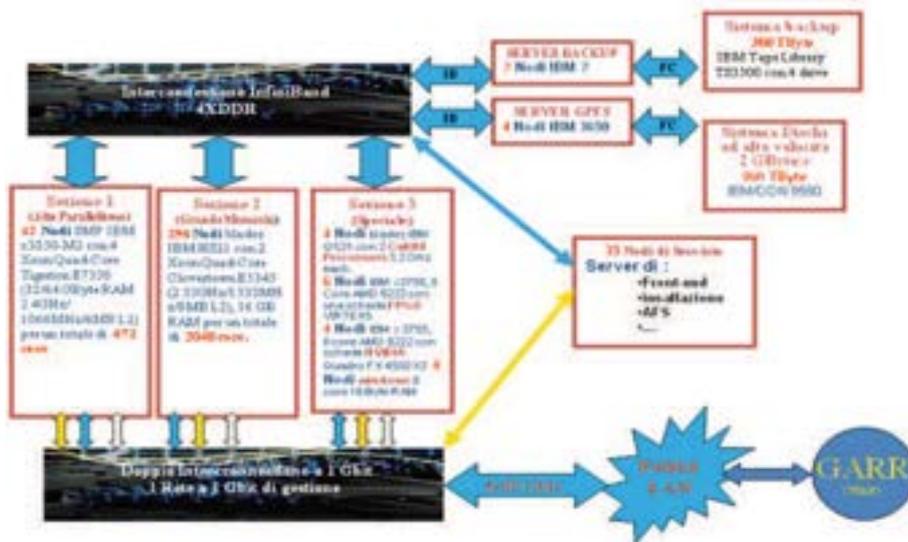
Confronto tra schedula prevista (in verde) e reale (in rosso) per la centrale OL3

Piattaforme per la modellistica

L'acquisizione e validazione di piattaforme avanzate di calcolo per lo studio dei più recenti reattori LWR commerciali (III generazione di tipo evolutivo) richiede un programma pluriennale che tenga conto dei continui sviluppi nel settore della modellistica nucleare. Il lavoro svolto ha seguito due linee principali:

- Analisi dell'attuale modellistica a supporto della progettazione e degli studi di sicurezza applicata in campo internazionale, con particolare attenzione alla realtà americana e francese, al fine di capire le necessità di sviluppo e acquisizione codici da mettere in programma per le annualità successive.
- Acquisizione e installazione sulle infrastrutture di calcolo ENEA di codici e piattaforme di calcolo che permettano di effettuare analisi multi-fisica (mutua influenza delle diverse discipline: termoidraulica,

Struttura a blocchi del sistema HPC CRESCO



Schema a blocchi infrastruttura supercalcolatore CRESCO

neutronica, termomeccanica ecc.) e multi-scala (a livello di sistema, di componente e di zone circoscritte interessate da particolari fenomenologie).

Nella prima linea il principale risultato conseguito ha riguardato il quadro dell'attuale modellistica di tipo Best Estimate (BE) utilizzata per lo studio della sicurezza dei reattori evolutivi e dell'approccio seguito per la sua corretta applicazione. Sono stati analizzati i diversi aspetti dell'utilizzo di una metodologia BE, dai possibili campi di applicazione alle procedure adottate per la qualifica dei codici, fino alle metodologie seguite per la valutazione del grado di incertezza dei risultati. In questo quadro è stata inserita una descrizione degli strumenti di calcolo attualmente disponibili in ENEA per le diverse applicazioni afferenti agli studi di sicurezza: termoidraulica, neutronica, comportamento del combustibile, Probabilistic Safety Assessment (PSA) e incidenti severi. Un'attenzione particolare è stata rivolta alle problematiche di modellistica per la valutazione del rischio derivante dalle installazioni nucleari.

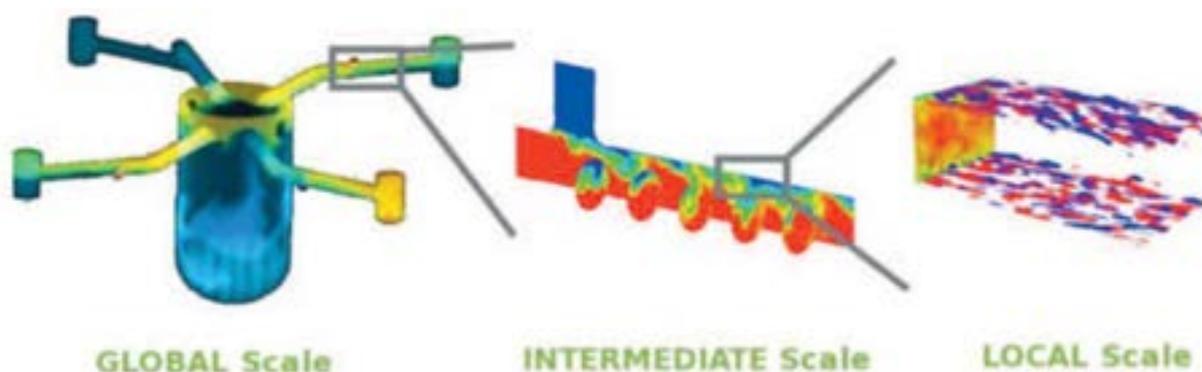
La maggior parte dell'impegno sulla seconda linea di attività ha riguardato l'implementazione sulla rete di calcolo ENEA dei codici resi disponibili nell'ambito degli accordi CAMP (Code Assessment & Maintenance Program) e CSARP (Cooperative Severe Accident Research Program) con l'US-NRC, e della piattaforma di calcolo NURISP (Nuclear Reactor Integrated Simulation Project) cui ENEA ha avuto accesso nell'ambito dell'omonimo progetto europeo. Al primo gruppo, in particolare, appartengono i codici di sistema RELAP5, TRACE e il codice MELCOR per lo studio degli incidenti severi. La piattaforma NURISP, basata sul software SALOME, consente di integrare codici diversi per sviluppare capacità di simulazione multi-fisica e multi-scala. In una prima fase le attività sono state concentrate sull'aspetto multi-scala ed attualmente sulla rete di supercalcolo ENEA sono stati installati i codici CFD (Computational Fluid Dynamics) NEPTUNE-CFD, TRIO-U, SATURNE ed è prevista l'installazione del codice di sistema CATHARE.

Nell'ambito di questa attività si è inteso anche fornire agli stakeholder italiani e a tutti i soggetti interessati un'esauriente informazione

sull'infrastruttura di calcolo disponibile, sulle modalità di acquisizione dei codici più avanzati per la modellistica nucleare e sul loro utilizzo nell'ipotesi di un ritorno alla produzione di energia elettrica da fonte nucleare.

Un'ulteriore attività ha riguardato lo sviluppo di software di simulazione per controllo/gestione di reattori LWR di III generazione di tipo evolutivo. L'utilizzo di un linguaggio "object oriented" (Modelica) ha permesso di sviluppare un software particolarmente versatile non indirizzato ad uno specifico tipo di reattore e in grado di supportare modellistica di tipo multi-fisica e di dinamica di sistema.

Le attività per il conseguimento di questo obiettivo sono state condotte in collaborazione con CIRTEN.



Applicazioni a diverse scale del codice di termo-fluidodinamica computazionale TRIO-U

Preparazione del programma di qualifica sperimentale

Scopo dell'attività è la ricostituzione dei presupposti necessari per l'implementazione di programmi sperimentali che potranno riguardare sia la qualifica industriale di sistemi e componenti d'impianto, sia la validazione degli strumenti di calcolo utilizzati per le verifiche di sicurezza richieste dal processo di licensing. Sono state sostanzialmente seguite due linee, rispettivamente dedicate al ripristino delle infrastrutture sperimentali e alla verifica della disponibilità di laboratori e di competenze in relazione alla normativa di riferimento e alle esigenze della catena di fornitura.

L'adeguamento delle infrastrutture sperimentali ha riguardato una parte dei sistemi ausiliari che, nei laboratori SIET di Piacenza, servono tutti gli impianti sperimentali tra cui l'impianto SPES-2, un simulatore integrale di impianto che fu costruito per il reattore PWR Westinghouse 312 e in seguito modificato per la certificazione del reattore evolutivo AP-600.

La disponibilità dello SPES-2, che ha l'importante peculiarità di montare sistemi di sicurezza passivi tipici di gran parte dei reattori di III generazione di tipo evolutivo, è ritenuta di estrema importanza per rinforzare le competenze nel campo della termoidraulica di sistema e supportare la qualifica dei codici di calcolo.

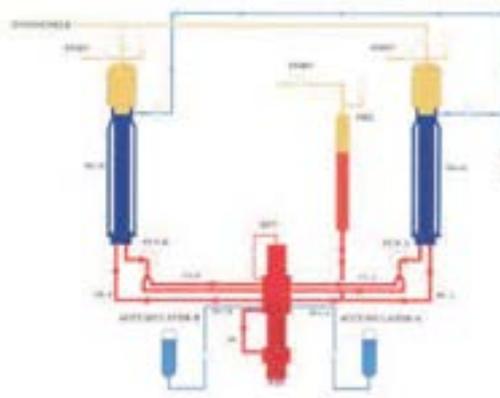
L'attività di progettazione/realizzazione di campagne di prove sperimentali significative per gli scopi precedentemente elencati, da una parte si è concretizzata nella realizzazione degli interventi necessari per

il ripristino dell'impianto effettuati dalla società SIET, dall'altra ha portato allo sviluppo da parte ENEA di un modello numerico dell'impianto SPES-2 realizzato con il codice di sistema CATHARE che supporterà la progettazione delle prove stesse.

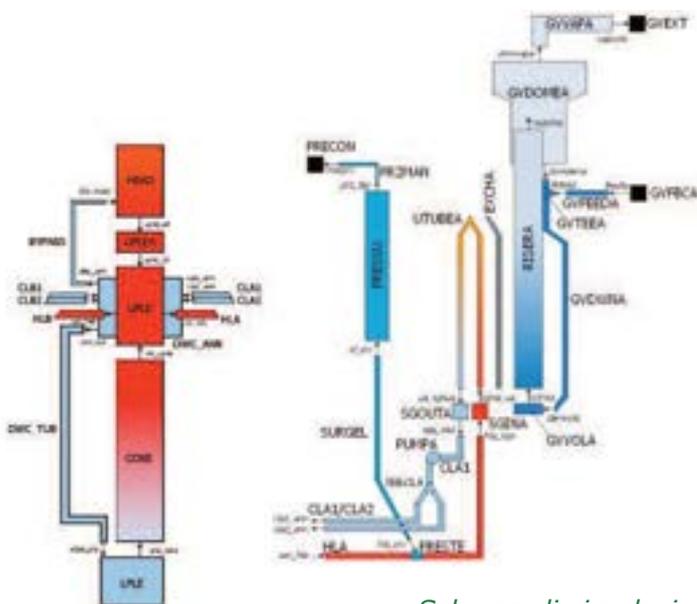
Il risultato della **verifica della disponibilità di laboratori e di competenze** in ENEA è il Dossier ENEA "Qualificazione di sistemi e componenti in ambito nucleare" distribuito a tutti gli stakeholder, nucleari e non, italiani.

Inoltre, al fine di mettere in relazione tale offerta con la futura domanda, determinata dalla normativa di riferimento e dalle esigenze delle industrie che costituiranno la catena di fornitura, si è svolta una ricerca approfondita che è stata facilitata dalla partecipazione degli esperti ENEA ai gruppi di lavoro UNICEN, dei quali fa parte anche una rappresentanza significativa dei gestori di centrali e di industrie grandi e medie che nel settore nucleare sono già impegnate, con commesse all'estero, o sono interessate ad entrare.

In tale sede sono state elaborate proposte di revisione di guide tecniche: la partecipazione degli esperti ENEA ha consentito di dettagliare e verificare le esigenze che derivano dalla specificità del sito e del relativo territorio (ad esempio per quanto concerne gli eventi esterni che impongono requisiti specifici di qualificazione nucleare) e le esigenze di ricerca e sviluppo che derivano dalle innovazioni degli impianti (ad esempio l'estensione della vita di esercizio a 60 anni e le conseguenti problematiche di qualificazione).
Le attività sono state realizzate da ENEA e da SIET.



Lay-out dell'impianto SPES2 senza sistemi passivi (SPES-99)



Schema di simulazione dell'impianto SPES-99

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - FORMAZIONE E COMUNICAZIONE

Tema di ricerca 5.2.5.8 - Linea progettuale 6: Formazione scientifica funzionale alla ripresa dell'opzione nucleare in Italia

Scenario di riferimento

Nel 2008 il Governo ha deliberato di far ripartire un programma nucleare italiano, dopo una moratoria che è durata oltre 20 anni e che ha compromesso molte delle competenze maturate a partire dagli anni sessanta. La rinascita di tali competenze deve essere oggetto di specifica analisi e programmazione; nel contesto internazionale del resto la questione human resources è da tempo al centro di molti studi; la IAEA vi ha dedicato numerose pubblicazioni, workshop e un'intera conferenza nel marzo 2010; la OECD/NEA ha istituito un Ad-hoc Expert Group on Education, Training and Knowledge Management.

La ripartenza del nucleare in Italia avviene in un contesto internazionale di rinnovato interesse per quest'opzione energetica. Se da una parte è facile prevedere un mercato più largo e più competitivo di operatori industriali, dall'altro la domanda di competenze specifiche sarà così forte da poter creare tensioni sul mercato del lavoro e indurre a modulare gli obiettivi in funzione delle risorse.

Sul versante della comunicazione la sfida è ancora più stringente perché l'acquisizione del consenso sociale è un prerequisito non modulabile né negoziabile. In questo campo non si tratta di ripristinare competenze preesistenti, quanto di trarre lezione da riflessioni e procedure di successo, maturate nei paesi nei quali il nucleare ha continuato ad esistere.

Inoltre, è cresciuta la consapevolezza che le difficoltà di consenso e di accettazione che il nucleare incontra sono correlate ad un problema più generale di discussione pubblica e decisione sulle grandi scelte strategiche. In particolare, esistono due tipi di difficoltà sempre meno confinate al puro ambito nucleare:



- L'acquisizione del consenso delle comunità locali candidate ad ospitare impianti che portano grandi vantaggi alla comunità nazionale ma riversano solo localmente i loro effetti collaterali negativi. Su questo versante, si sono incontrate difficoltà persino per l'installazioni di impianti ad energia rinnovabile.
- La gestione del timore, ora razionale ora emotivo, che determinate tecnologie possano riversare remotamente nello spazio e nel tempo i loro effetti negativi. Il classico esempio in questo campo è l'utilizzo degli OGM.

Riflessioni ed esperienze nella gestione di queste difficoltà vengono scambiate quindi non solo tra paesi diversi per uno stesso ambito, come quello nucleare, ma anche tra ambiti applicativi molto distanti tra loro.

Obiettivi

Nel campo della gestione delle risorse umane per il nucleare non esiste in Italia una letteratura pregressa e perciò il primo obiettivo è stato quello di interiorizzare dati e raccomandazioni che emergono dalle esperienze internazionali. Successivamente si è avviato un censimento di risorse e competenze attualmente disponibili nel nostro Paese, in modo da poter fornire una realistica valutazione di quali aree è oggi possibile coprire. Infine si è mirato ad individuare le azioni da mettere in campo per evitare che in tema di risorse umane si crei quel collo di bottiglia paventato in molti scenari.

La ricerca ha creato anche una base di conoscenza che alimenterà il confronto tra i diversi attori del programma nucleare italiano, da quello industriale a quello accademico.

Infatti, pur essendovi significative realtà (università, ricerca e industria) che hanno conservato grandi competenze nucleari, esse non hanno più un sistema di relazioni che aiuti a coordinare gli impegni in vista di un piano organico di rilancio.

Le medesime considerazioni sulla necessità di un coordinamento si applicano al tema della comunicazione. Ogni attore, nella specificità del proprio ruolo, deve contribuire a colmare un vuoto di esperienze che si è accumulato nel corso degli anni e che fa dell'Italia uno dei paesi più difficili nell'acquisizione del consenso, in analogia con tutti i paesi europei dove l'assenza del nucleare ha creato scarsa conoscenza e massiccia opposizione. La ricerca si è concentrata specificamente sulle buone pratiche, in particolare sulle iniziative su web, dove spesso si confrontano le posizioni delle giovani generazioni e in genere della parte di



Spettro delle competenze in un programma nucleare

popolazione più sensibile all'informazione. Gli studi indicano che è difficile definire procedure standardizzate da trasferire meccanicamente; la ricerca ENEA ha cercato di individuare un'applicazione al panorama nazionale degli approcci più efficaci adottati in altri paesi.

Risultati

Il tema della formazione ha due facce: da una parte la domanda di formazione, dall'altra l'offerta. Gli studi si sono concentrati sulla domanda, per definire le figure professionali necessarie, quale peso attribuire a ciascuna di esse e, infine, come si manifesta nel tempo questa domanda. I risultati servono da riferimento per la pianificazione dell'iniziativa didattica, sia sul lato dell'alta formazione universitaria sia su quello della formazione professionale.

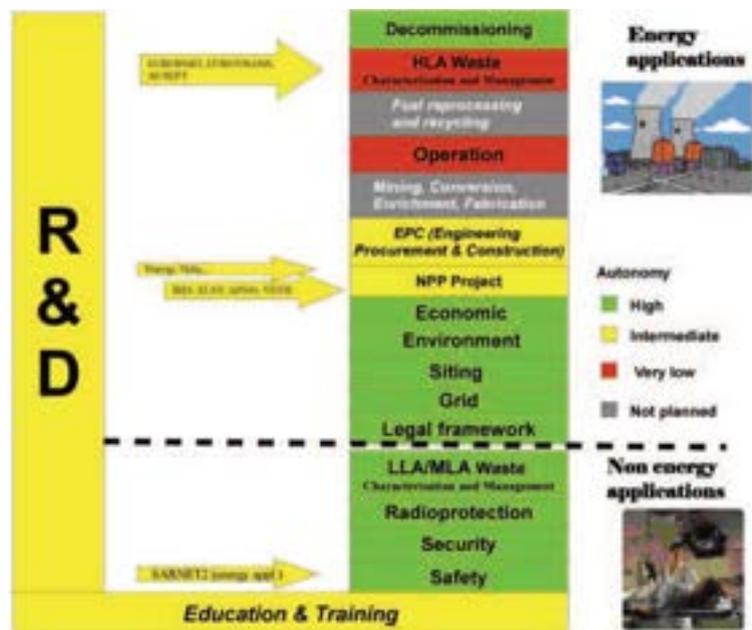
Per quanto riguarda la comunicazione, si sono prodotte le linee guida di intervento futuro per una campagna di informazione e di coinvolgimento di tutti gli stakeholders interessati alla realizzazione del programma nucleare italiano.

Analisi delle competenze necessarie alla realizzazione del programma nucleare italiano

Una fase preliminare di studio è consistita nel censimento delle competenze disponibili in Italia e la mappa mostrata in figura segnala quattro tipi di aree:

- aree (grigio) nelle quali non ci sono competenze e neanche, allo stato attuale, piani per acquisirle, ad esempio quelle per la fabbricazione del combustibile;
- aree (verde) nelle quali esistono risorse nazionali sufficienti, per quantità e qualità, ad affrontare lo sforzo previsto;
- aree (giallo) nelle quali esistono competenze nazionali che necessitano di un potenziamento quantitativo per ritenersi adeguate alla realizzazione del programma;
- aree (rosso) di competenze indispensabili ma per le quali non esiste offerta sul mercato nazionale.

Tra le righe di questa analisi si legge la storia di un paese che ha un passato nucleare e ha sviluppato delle competenze nel decommissioning, a fianco delle più tradizionali competenze nucleari in ambiti non energetici (applicazioni mediche ed industriali). Dal punto di vista quantitativo, una



Mappa delle competenze nucleari in Italia

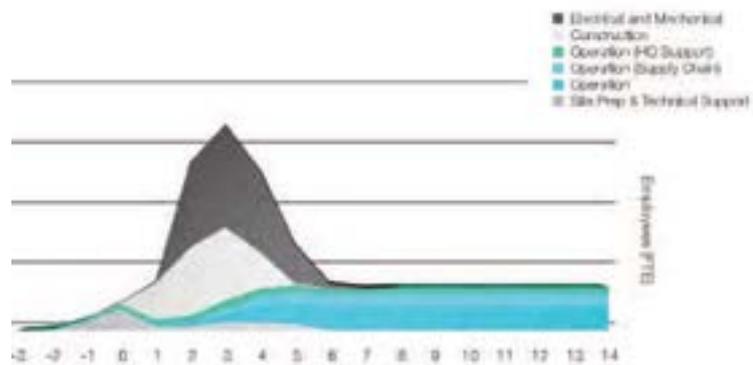
stima molto grossolana indica circa 2000 addetti con competenze professionali nucleari.

Questa fotografia delle risorse oggi disponibili va confrontata con il programma proposto dal governo italiano che ipotizza, secondo un piano non ancora congelato, la realizzazione di un parco di 8 reattori, attraverso l'adozione di due soluzioni tecnologiche, 4 reattori di tipo EPR e 4 di tipo AP 1000. Questa ipotesi di lavoro è molto simile a quella in discussione in Gran Bretagna dove si prevede la costruzione di 6 EPR e 6 AP 1000 in un arco temporale di 13 anni, 2012-2025, che è grosso modo quello ipotizzato per l'Italia. Traslando in maniera meccanica le valutazioni (rilasciate con un margine di errore stimato del 20%) effettuate dalla Cogent per lo scenario inglese, si ipotizza che per la realizzazione del programma nucleare italiano saranno necessari:

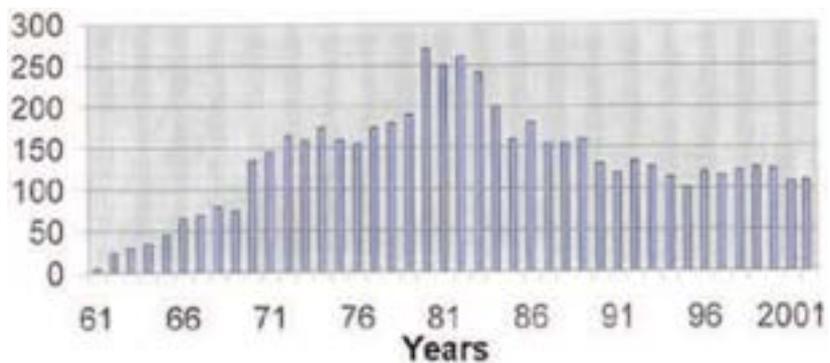
- un arco temporale di 12 anni;
- da 75.000 a 100.000 anni uomo;
- 7.000 nuovi posti di lavoro l'anno;
- 17.000 anni uomo complessivi per l'esercizio di un impianto con 2 unità reattore;
- assumendo 6 anni per la costruzione, 2200 addetti per anno per impianto, limitatamente alla preparazione del sito, alla costruzione, alla realizzazione di componenti e sistemi meccanici ed elettrici.

La distribuzione della manodopera per settore prevede che la forza lavoro sia impegnata per il 60% alla costruzione, il 15% alla produzione di componenti, il 25% all'esercizio dell'impianto. Lo spettro del livello di qualifica disaggregato per aree richiede:

- nella costruzione (com-preso la parte meccanica ed elettrica): 15% laureati, 60% tecnici, 25% operai;
 - nella produzione di componenti: 20-40% laureati, 30-40% tecnici, 15-35% operai;
 - nell'esercizio dell'impianto: 45% laureati, 40% tecnici, 15% operai.
- Superata la fase di commissioning, per l'esercizio di un impianto (con 2 reattori) si prevede una necessità da 800 a 1000 addetti, con una incertezza determinata sia dalla specifica scelta tecnologica sia dalle normative nazionali sulla sicurezza e sul lavoro. Questi dati trovano



Evoluzione temporale del numero di addetti per ciascun segmento di forza lavoro necessario alla costruzione di un PWR



Evoluzione del numero di laureati in ingegneria nucleare in Italia fino alla riforma del 2001

conforto nei dati storici forniti dalle aziende elettriche nell'esercizio delle centrali esistenti.

L'impegno temporale che si estende su diverse generazioni, la dimensione quantitativa dello sforzo in fase di costruzione, la varietà delle competenze e il ruolo critico del parametro risorse umane sul lato della sicurezza, richiedono che tutti gli attori si sentano responsabili anche per quanto riguarda la formazione e si muovano in maniera coordinata all'interno di un organismo dedicato, in analogia con quanto accade nei paesi impegnati in sforzi simili.

Analisi del sistema dell'alta formazione nucleare, universitaria e post universitaria

Acquisiti i dati sulla domanda, ci si è concentrati su un lavoro di ricognizione dal lato dell'offerta formativa al fine di raccogliere in uno studio organico e completo l'attuale capacità di formazione del sistema universitario e post universitario italiano. I risultati indicano che, a dispetto dell'assenza di impianti di produzione di energia elettrica di origine nucleare, l'università italiana ha mantenuto una capacità formativa di quasi 100 laureati l'anno, lontana dal picco dei 300 dei primi anni 80, ma suscettibile da una parte di far crescere in tempi brevi il numero di laureati in ingegneria nucleare e, dall'altro, di specializzare in ambito nucleare sia giovani ingegneri (non tutti necessariamente nucleari) appena laureati che figure senior con esperienze produttive in ambiti contigui.



Mapa degli istituti universitari che ospitano corsi di formazione nucleare

Studio dei processi di informazione e partecipazione per la localizzazione e gestione di siti per il deposito dei rifiuti radioattivi

Gli studi realizzati hanno teso a:

- costruire una mappa de siti web informativi per i rifiuti radioattivi, sia nazionali che esteri;
- analizzare e discutere il contenuto delle pagine web, soprattutto quelle curate dalle agenzie nucleari dei paesi con un programma nucleare consolidato, in modo da estrarne le soluzioni più diffuse nella ricerca di compromesso tra completezza e correttezza dell'informazione scientifica da una parte, e divulgazione dall'altra;

- dare conto in maniera organica delle ricerche e delle conclusioni del Forum of Stakeholders Confidence della NEA, che è l'organismo che da 10 anni si occupa esclusivamente dell'informazione e costruzione del consenso per la realizzazione di impianti di stoccaggio di rifiuti radioattivi.

Analisi della trasferibilità di esperienze e procedure per la gestione partecipata dei progetti di realizzazione di impianti nucleari

Il rilancio del nucleare in Italia ha fatto ripartire diverse iniziative di diffusione e disseminazione dell'informazione sia con la produzione di documenti dedicati, sia con iniziative su web. ENEA ha riunito intorno ad un tavolo i suoi esperti dei vari ambiti del nucleare per chiedere uno sforzo coordinato di comunicazione che si è tradotto nella realizzazione di un insieme, coordinato e completo, di pagine web esplicitamente pensate per il grande pubblico, nonché ad uso degli operatori dell'informazione.



Home Page nel portale ENEA dedicato alla informazione scientifica sul nucleare da fissione (raggiungibile da www.enea.it)

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

CELLE FOTOVOLTAICHE INNOVATIVE

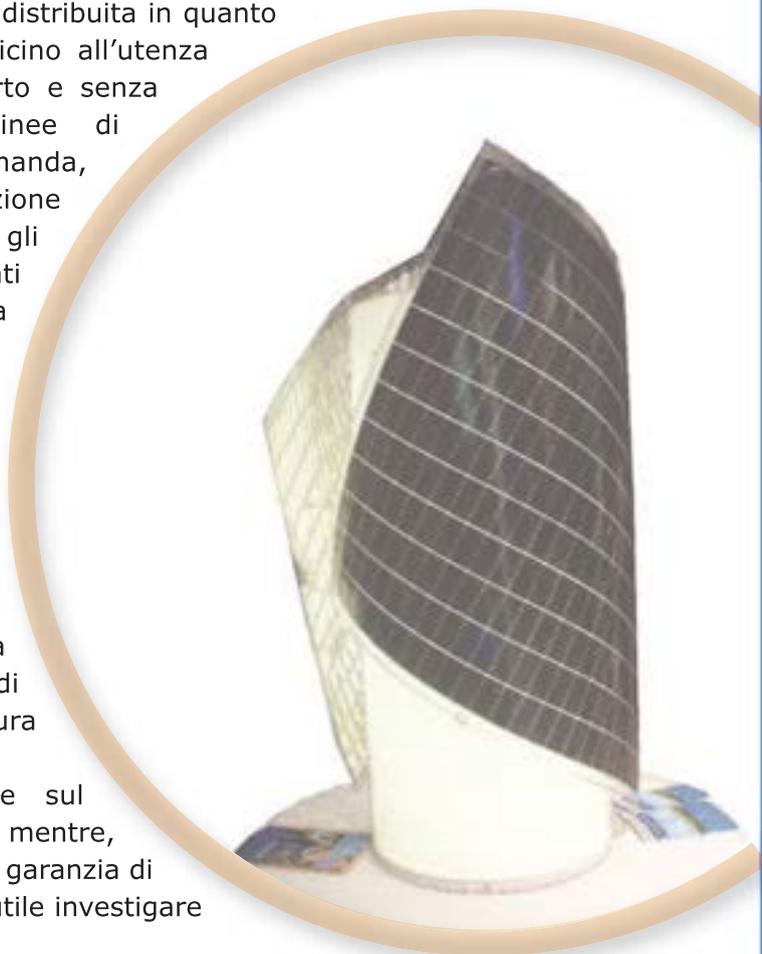
Tema di ricerca 5.2.5.3 - Sviluppo di tecnologie avanzate per componenti fotovoltaici innovativi

Scenario di riferimento

La tecnologia fotovoltaica può dare un contributo importante nella transizione strategica che il Paese deve compiere verso un mix di fonti di energia con un maggior peso delle rinnovabili: il Piano di azione nazionale elaborato dal Ministero dello sviluppo economico punta in particolare al raggiungimento di 8.000 MWp di potenza fotovoltaica installata per il 2020. Questa tecnologia presenta molteplici vantaggi: trasforma l'energia solare in energia elettrica immediatamente usufruibile; è ideale per realizzare il nuovo modello di generazione distribuita in quanto l'energia elettrica può essere prodotta vicino all'utenza senza generare perdite legate al trasporto e senza richiedere maggior capacità delle linee di trasmissione; sopperisce ai picchi di domanda, specialmente quelli dovuti alla climatizzazione degli ambienti nel periodo estivo. Inoltre gli impianti presentano alta affidabilità, limitati costi di esercizio e manutenzione, e vita operativa che supera i 25 anni.

La capacità di penetrazione di questa tecnologia ha però ancora dei limiti, a causa soprattutto degli alti costi di produzione dei moduli fotovoltaici. L'abbassamento di tali costi a valori inferiori a 1 €/Wp è condizione necessaria affinché la tecnologia fotovoltaica possa affermarsi, in prospettiva anche senza incentivi, e contribuire alla quota di produzione di energia elettrica in misura sostanziale.

Le attività di ricerca sono focalizzate sul miglioramento delle tecnologie a film sottile mentre, per applicazioni speciali che non richiedano garanzia di funzionamento a lungo termine, si ritiene utile investigare soluzioni basate su celle organiche.



Obiettivi

Gli obiettivi principali del programma sono:

- il perfezionamento delle celle solari a film sottile di II generazione a base di silicio e CIS (copper indium diselenide) e la messa a punto delle relative tecnologie per applicazioni industriali nel breve-medio termine;
- lo sviluppo di nuovi materiali per celle solari di III generazione a base di quantum dot di silicio e polimeri.

Le principali tematiche di ricerca nel settore dei film sottili riguardano lo sviluppo di nuovi strati trasparenti e conduttivi e lo sviluppo di processi di produzione facilmente scalabili che assicurino migliore efficienza e stabilità dei dispositivi.

La giunzione tandem "micromorph", che utilizza silicio amorfo e microcristallino, è ritenuta una tra le strutture più promettenti e interessanti per l'industria in quanto presenta i vantaggi di una multigiunzione, in termini di stabilità e di utilizzo dello spettro solare, e una complessità non troppo elevata.

Migliorando l'intrappolamento della radiazione solare e sviluppando materiali con più elevati coefficienti di assorbimento aumenta l'efficienza di conversione, e diviene possibile limitare lo spessore dei dispositivi e ridurre i tempi di produzione. In una prospettiva di lungo termine si ritiene interessante esplorare la possibilità di impiegare materiali assorbitori nanostrutturati.

I moduli basati sui policristallini a film sottile CIS utilizzano materiali scarsamente disponibili ed è da sperimentare in particolare, conservando alti valori di efficienza, la sostituzione dell'indio con coppie di elementi dei gruppi II e IV della tavola periodica. Inoltre, poiché la famiglia dei composti $Cu_2-II-IV-VI_4$ presenta un ampio range di valori di gap, l'attività di ricerca potrà essere successivamente rivolta allo sviluppo di celle a multigiunzione di altissima efficienza e a basso costo. 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 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 ecc. Di contro è necessario definire materiali che garantiscano un'adeguata efficienza di conversione stabile nel tempo. Le attività proposte sono finalizzate al miglioramento dell'efficienza dei dispositivi e alla definizione

di una roadmap sulle potenzialità in termini di prestazioni e di riduzioni dei costi della tecnologia associata.

Risultati

Celle solari a film sottile di silicio

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 e conseguente riduzione dei tempi di lavorazione e dei costi associati. Sono stati sviluppati dispositivi tandem micromorfi con efficienze maggiori dell'11%; si è inoltre



Impianto per la deposizione di film sottili di silicio con tecnica VHF-PECVD

lavorato alla 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 del nitruro e dell'ossido di silicio e quest'ultimo è risultato il candidato migliore in termini di proprietà elettriche e ottiche. Inserendo strati di ossido di silicio nei dispositivi tandem, si è ottenuto un migliore intrappolamento della radiazione solare nella cella top. 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 stato implementato 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.

È stata, inoltre, installata un'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 test sono 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).

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

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 alcune delle attrezzature sperimentali necessarie. È stato acquisito un sistema di sputtering per la deposizione di film sottili di molibdeno e altri metalli, di ossidi trasparenti e conduttori e di solfuri metallici. È stato allestito un forno di solforizzazione a tubo aperto per l'annealing dei film precursori composti da tre layer (ZnS/Sn/Cu) in presenza di zolfo. Sono stati depositati e caratterizzati film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$.



Simulatore solare a doppia sorgente (Xe, Alogena) per la corretta valutazione delle prestazioni di celle tandem micromorfe a film sottile di silicio

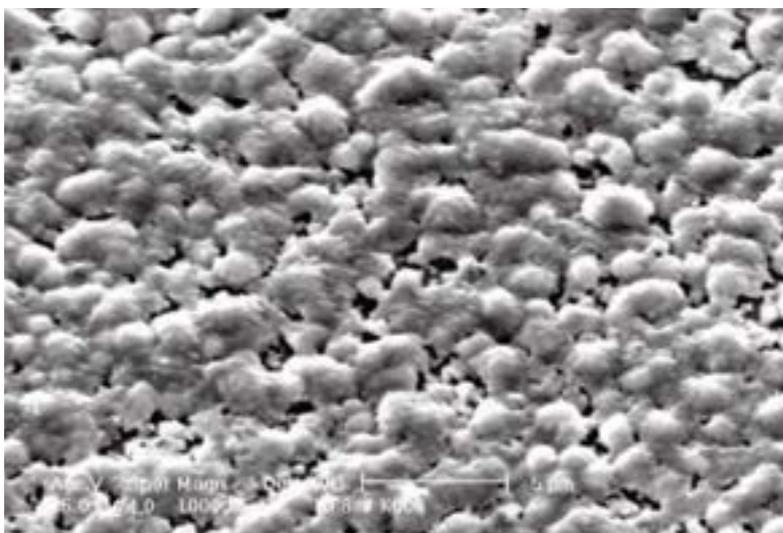


Immagine SEM di film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

I film cresciuti hanno un'ottima omogeneità e le misure di diffrazione X e di scattering Raman confermano la formazione di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ anche se in molti film sono presenti tracce di fasi spurie oltre a quella voluta. L'analisi SEM mostra una insufficiente compattezza del materiale e grani di dimensioni abbastanza ridotte. Questi problemi si riflettono in una bassa mobilità dei portatori maggioritari. È in corso di ottimizzazione la qualità di questi film al fine di ottenere materiali adeguati alla realizzazione di celle fotovoltaiche.

Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici

Nel campo delle celle polimeriche l'ENEA aveva inizialmente sviluppato, operando in aria con una miscela composta da un derivato del politiofene e un derivato del fullerene, dispositivi con un'efficienza dell'1,3% su area di circa 1 cm^2 . 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%. È stato anche messo a punto un modello ottico per la progettazione dei dispositivi che consente di ottimizzare lo spessore dello strato attivo. Inoltre è stata allestita una linea sperimentale per la realizzazione di dispositivi in atmosfera controllata che sarà impiegata per la sperimentazione di nuovi materiali polimerici e ibridi.



Glove Box per lo sviluppo di celle solari polimeriche in ambiente privo di umidità e ossigeno



Attrezzatura per il light-soaking di moduli e dispositivi a film sottile con tecnica VHF-PECVD

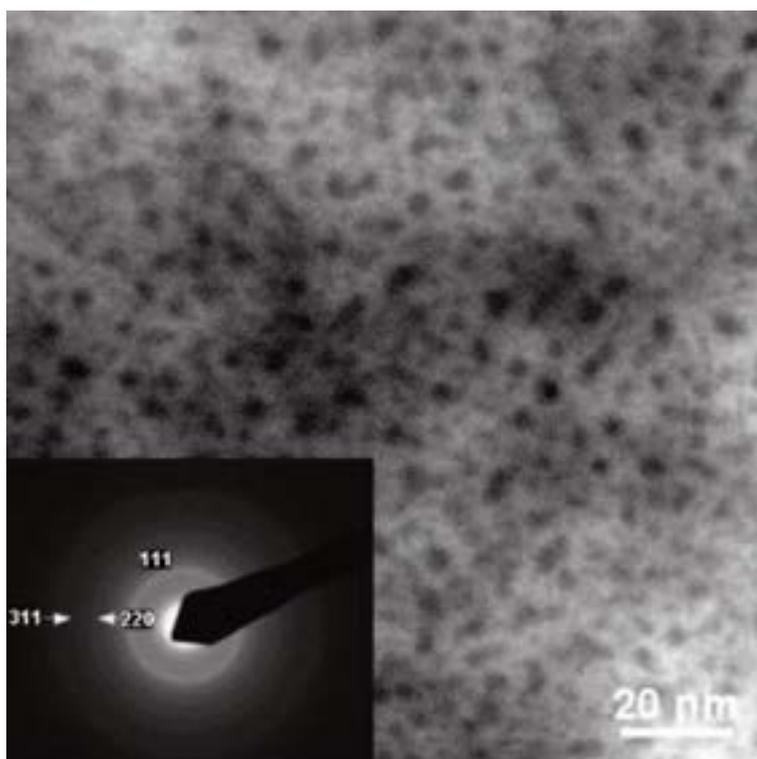


Immagine EFTEM della separazione di fase completa con formazione di Quantum Dot cristallini di Si

Documentazione disponibile

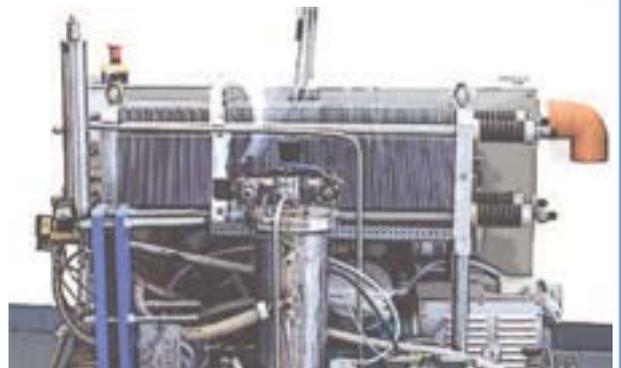
I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

CELLE A COMBUSTIBILE PER COGENERAZIONE CON L'UTILIZZO DI BIOMASSE

Tema di ricerca 5.2.5.11 - Sviluppo di tecnologie innovative per le applicazioni stazionarie cogenerative delle celle a combustibile anche con l'utilizzo di biogas e biomasse

Scenario di riferimento

Le celle a combustibile rappresentano una delle tecnologie più promettenti nel medio lungo-termine per la generazione distribuita e la cogenerazione grazie agli elevati rendimenti di conversione, anche per impianti di piccola taglia, e possono dare un contributo importante sia nell'impiego dei combustibili fossili sia nella catena "Waste to Energy", con diminuzione delle emissioni di CO₂. È però necessario un notevole impegno di ricerca e sviluppo per la messa a punto di sistemi competitivi in termini di prestazioni, costi e durata. Risorse ingenti sono dedicate nei maggiori paesi industrializzati e particolarmente significativo in questo senso è l'intervento della Commissione Europea, che ha previsto una partnership pubblico-privato (Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking) per la gestione delle attività su questi temi nell'ambito del 7° Programma quadro. L'ENEA opera da tempo su diversi aspetti critici di tali tecnologie, sia direttamente che attraverso società controllate come FN, intervenendo in collaborazione con altre strutture di ricerca e con l'industria in progetti nazionali ed europei.



Obiettivi

Con particolare riferimento al secondo anno di attività, e sulla base dei risultati del primo anno, gli obiettivi sono:

- sviluppo di processi a basso costo e basso impatto ambientale per la produzione di componenti per celle a carbonati fusi (MCFC), in particolare elettrodi e matrice di supporto elettrolita;
- sviluppo di sistemi con celle MCFC alimentati con biogas derivante da rifiuti e residui agricoli e zootecnici, in particolare messa a punto

di processi di digestione e co-digestione anaerobica e studio dell'accoppiamento con le celle;

- sviluppo di sistemi a celle MCFC alimentati con gas derivante da gassificazione di biomasse, in particolare integrazione delle celle con i sistemi di gassificazione e studio del processo di clean up a caldo del syngas;
- studio di sistemi ibridi celle+turbogas, che consentirebbero di incrementare di alcuni punti in percentuale il già elevato rendimento elettrico dei sistemi a celle, e valutazione delle problematiche connesse con l'impiego delle celle MCFC come concentratori di CO₂, per la cattura dell'anidride carbonica da gas combustibili di grandi impianti emissivi, soggetti alle Direttive anti-inquinamento EU-ETS (European Union-Emission Trading Systems) 2003/87/CE e successivamente 2008/101/CE;
- supporto tecnico-scientifico ai Ministeri MSE e MATTM per la definizione di programmi nel settore dell'idrogeno e delle celle a combustibile e per la partecipazione alle collaborazioni internazionali.

Risultati del primo anno di attività

Sviluppo di un processo a basso costo e basso impatto ambientale per la produzione dei componenti delle celle a carbonati fusi:

Messa a punto con FN di un processo basato su tecnologie di formatura in plastico per la produzione di matrici senza uso solventi e sviluppata una metodologia di produzione delle polveri di gamma-alluminato di litio come materiale di partenza. Ottenute matrici con caratteristiche adeguate.

Sviluppo di sistemi con celle a carbonati fusi alimentati con gas derivanti da rifiuti e residui agricoli e zootecnici:

Studiati processi di digestione aerobica e individuate le condizioni e la composizione della comunità microbica per la produzione di biogas di elevata qualità (elevata percentuale di metano o di miscela metano/idrogeno) e basso contenuto di impurezze. Studiati sistemi di tipo chimico-fisico per l'abbattimento di composti solforati e alogeni. Condotti esperimenti per lo studio dei meccanismi di avvelenamento delle monocelle MCFC da parte di impurezze a base di zolfo, studiata la possibilità di realizzare anodi più resistenti ai composti solforati.

Sviluppo di sistemi con celle a elettrolita polimerico per applicazioni residenziali:

Progettata una stazione di prova per un impianto cogenerativo da 5 kW e definiti parametri di caratterizzazione impianto. Valutati metodi per la produzione a basso costo di componenti di cella e per il miglioramento dei catalizzatori impiegati nella conversione del combustibile in un gas ricco di idrogeno. Messa a punto di metodologie per produzione di membrane polimeriche catalizzate a base di platino.

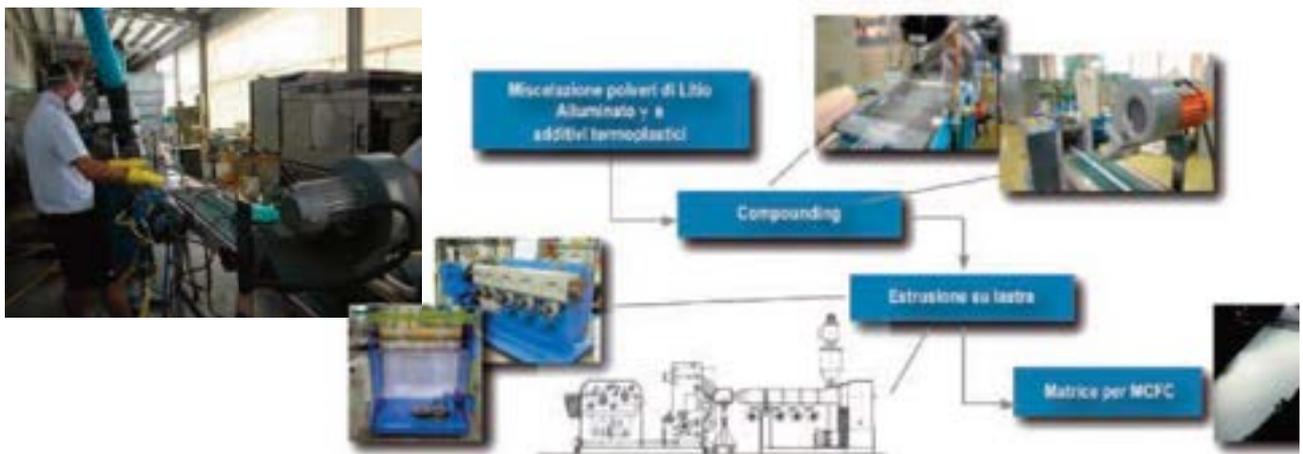
Supporto tecnico-scientifico ai Ministeri e partecipazione alle collaborazioni internazionali:

Analisi di stato e prospettive delle tecnologie per celle a combustibile; contributo alla definizione dei programmi europei su celle a combustibile e idrogeno; partecipazione ai lavori della International Partnership for Hydrogen Economy e agli Implementing Agreements dell'Agenzia Internazionale dell'Energia su Advanced Fuel Cells, Production and Utilisation of Hydrogen e Hybrid and Electric Vehicles.

Risultati

Lo sviluppo dei processi per la produzione di elettrodi e matrice di supporto elettrolita per celle MCFC ha riguardato principalmente la produzione di matrici in γ -LiAlO₂ di dimensioni fino al m². È stata individuata la miscela più interessante dal punto di vista della manipolabilità a parità di altre caratteristiche. Sono state ottimizzate le diverse fasi del processo per gli aspetti riguardanti la produttività. Presso FN ed ENEA sono stati effettuati test funzionali sulle matrici. In particolare presso FN è stato eseguito un test in stack da dieci celle, con dispositivo sviluppato nella stessa FN; le matrici hanno mostrato buona funzionalità. Il processo di formatura in plastico di matrici si conferma migliorativo dal punto di vista della produttività e della eco-compatibilità rispetto a quello tradizionale di colatura su nastro.

È stata valutata la possibilità di estendere il processo di formatura in plastico anche agli elettrodi per celle MCFC. Le prove hanno permesso di verificare la fattibilità del processo e di raccogliere informazioni utili per la sua ottimizzazione.

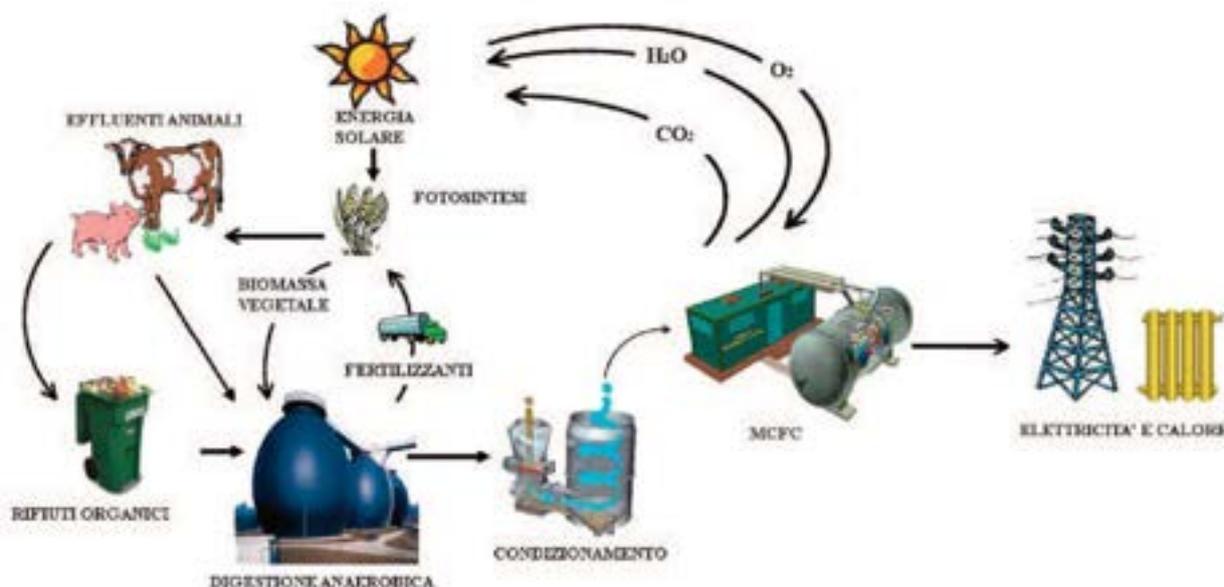


Processo di formatura in plastico sviluppato da FN

La messa a punto di processi di digestione e co-digestione anaerobica di rifiuti e residui agricoli e zootecnici per la produzione di biogas, e lo studio dell'accoppiamento di tali processi con le celle a carbonati fusi, ha riguardato, con attività svolte in collaborazione con diverse Università:

- Lo studio dei processi di co-digestione anaerobica della miscela reflui suini e FORSU, e della miscela fanghi da depurazione delle acque reflue civili e FORSU, per ottimizzare la produzione combinata di bio-idrogeno e bio-metano, e migliorare la qualità del gas in relazione al tenore di inquinanti (principalmente a base di zolfo). Al fine di valutare la produzione di idrogeno da letame suinicolo sono stati avviati numerosi test ma le rese ottenute mostrano che spingere la digestione anaerobica di liquami suinicoli verso la produzione di idrogeno non sembra economicamente vantaggioso.

In questo ambito è proseguito lo sviluppo di uno strumento in grado di fornire informazioni sui potenziali produttivi del settore biomasse per ambiti territoriali e evidenziare possibilità di recupero energetico da biomasse/rifiuti di origine antropica, colturale, industriale ed agroalimentare. È stato sviluppato un modello di calcolo per scenari energetici basati su sistemi di produzione di biocombustibili (biogas, syngas) da biomasse/rifiuti, accoppiati con sistemi di produzione di elettricità e calore, sia convenzionali (motori a combustione interna e turbine a gas) sia innovativi, come le celle a combustibile, ad alta efficienza e basso impatto ambientale.

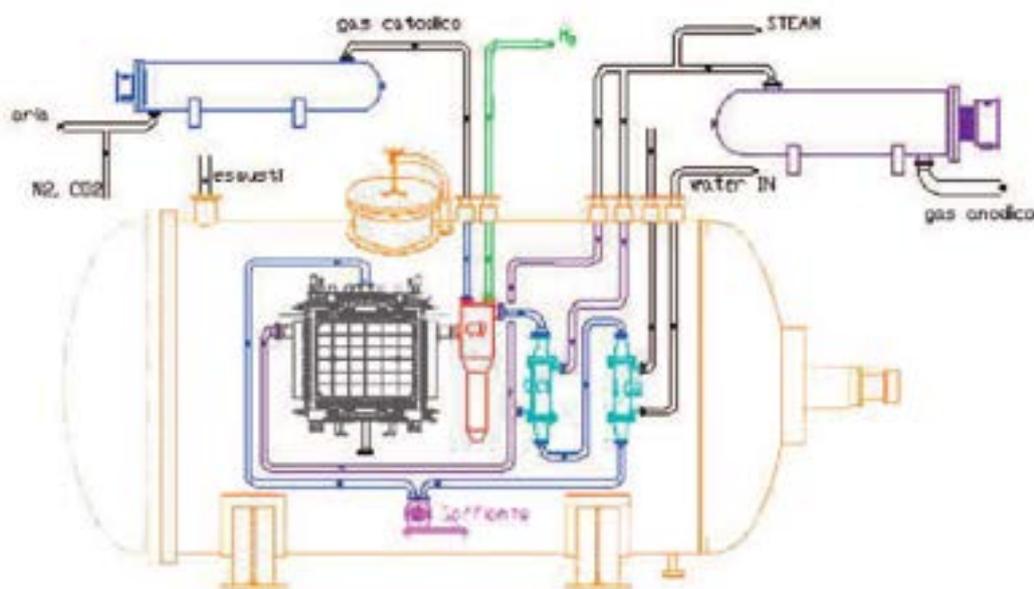


Schema generale del sistema a biomasse

- Lo studio dei processi di clean up per selezionare e studiare sperimentalmente due processi per la rimozione dell' H_2S da correnti di biogas e per caratterizzare diversi materiali, adsorbenti e/o catalizzatori, sia commerciali sia sintetizzati ad hoc. Sono stati selezionati alcuni materiali ritenuti migliori in termini di capacità di rimozione dell' H_2S , sono state proposte delle configurazioni per un sistema completo di purificazione e redatto un progetto di massima in scala laboratorio del sistema di clean up da accoppiare con un digestore di taglia adeguata ad alimentare uno stack MCFC da 0,5 – 1,0 kW.
- La caratterizzazione elettrochimica di monocelle MCFC con gas simulati a diverso tenore di inquinanti, al fine di verificare i limiti di tollerabilità, elaborare procedure di rigenerazione e modellare il fenomeno dell'avvelenamento delle celle. È stato definito il principale meccanismo di avvelenamento da zolfo nelle condizioni operative di una MCFC, quantificato l'effetto delle densità di corrente, della concentrazione dell'idrogeno e dell'acido solfidrico sull'avvelenamento e identificata l'interazione tra questi fenomeni. L'analisi sperimentale ha riguardato anche gli effetti del monossido di carbonio, presente in

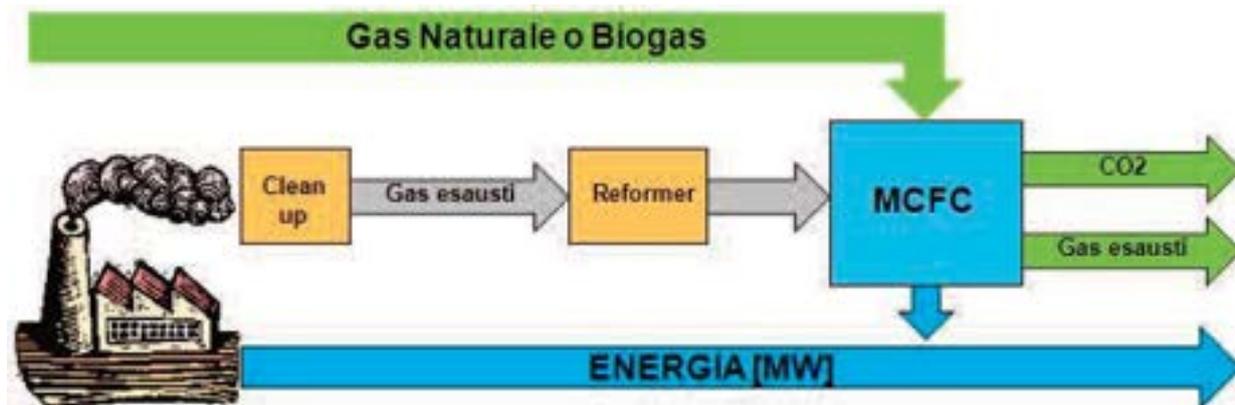
quantità elevate nel biogas di alimentazione, e delle interazioni acido solfidrico–monossido di carbonio. Infine per migliorare le prestazioni dell’anodo in termini di tolleranza allo zolfo, è stata progettata una modifica delle sue caratteristiche superficiali ricoprendolo con un sottile strato di ossido di cerio e, in alternativa, con un ossido misto ceria/zirconia.

Riguardo **l’integrazione delle celle a carbonati fusi con i sistemi di gassificazione di biomasse e lo studio del processo di clean up a caldo del syngas**, sono state analizzate diverse tecnologie, è stato implementato un modello termodinamico del sistema gassificatore–celle, e progettato il collegamento tra un gassificatore a letto fluido riciccolante, di tecnologia nazionale, ed uno stack MCFC da 125 kW, entrambi disponibili presso il Centro ENEA della Trisaia.



Schema impianto MCFC

Riguardo **lo studio di sistemi ibridi celle+turbogas e la valutazione delle problematiche connesse con l’impiego delle celle a carbonati fusi come concentratori di CO₂** sono stati considerati gli impianti di potenza, caratterizzati da grandi volumi di emissioni gassose con concentrazioni in CO₂ inferiori al 15%, e i grandi impianti manifatturieri con produzione di CO₂ da processi di trasformazione, caratterizzati da minor volumi emissivi ma con concentrazioni in CO₂ superiori al 15% e alta presenza di microinquinanti corrosivi. La capacità massima stimata di rimozione della CO₂ da un impianto MCFC da 1 MW è stimabile in circa 11.000 tonnellate annue, in condizioni di alto rendimento elettrico. Applicazioni interessanti di cattura dei gas combustibili nel settore manifatturiero sono su gas di altoforno e soprattutto su gas di cemeniteria per via del loro alto contenuto in CO₂ e dei bassi volumi emissivi, maggiormente compatibili con le caratteristiche di funzionamento delle celle MCFC.



Schema di MCFC come retrofitting per la concentrazione di CO₂ dai fumi di una centrale

Riguardo **il supporto tecnico-scientifico ai Ministeri MSE e MATTM** per la partecipazione a progetti internazionali e per la definizione di programmi nazionali, l'ENEA ha:

- svolto, e pubblicato, analisi dello stato attuale e delle prospettive di sviluppo delle celle a combustibile e dell'idrogeno;
- partecipato ai lavori della International Partnership for Hydrogen Economy (IPHE) e alle riunioni del Implementation and Liaison Committee della stessa Partnership, rivestendo l'incarico di Vice-chair per la Strategic Priority 4 "Technology monitoring";
- partecipato alla definizione dei programmi europei, sia nell'associazione delle strutture di ricerca europee del settore (N.ERGHY) che coordina la partecipazione ai programmi 2007-2013 gestiti dalla partnership pubblico-privata Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, sia nell'EERA (European Energy Research Alliance);
- rappresentato l'Italia negli Implementing Agreements dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) su Advanced Fuel Cells, Production and Utilization of Hydrogen e Hybrid and Electric Vehicles, coordinando i contributi delle altre strutture nazionali interessate.

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

FABBISOGNI E CONSUMI ENERGETICI DEI SISTEMI EDIFICIO-IMPIANTO E LORO RAZIONALIZZAZIONE

Tema di ricerca 5.4.1.1/2 - 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

Scenario di riferimento

L'evoluzione dei consumi energetici degli edifici italiani mostra un evidente aumento dei consumi elettrici, in gran parte dovuto alla maggior richiesta di condizionamento estivo. Le recenti normative europee sull'efficienza energetica degli edifici, in particolare le direttive 2002/91/CE, 32/2006/CE, 31/2010/CE e i Dlgs di recepimento 192/05 e 115/08, richiedono per la loro efficace attuazione un'approfondita analisi del sistema edificio-impianto. È necessario disporre di dati e informazioni per indirizzare la governance verso scelte mirate al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei consumi e delle emissioni di gas climalteranti. La recente pubblicazione delle normative UNI TS 11300, parti 1, 2 e 3, consente ora ai progettisti italiani di muoversi in un quadro normativo certo per quanto riguarda la determinazione dei consumi energetici sia invernali che estivi. Difficoltà permangono ancora nello stabilire regole adeguate per la certificazione e la limitazione dei consumi energetici estivi. Ciò è dovuto all'impossibilità di determinare quali siano i benchmark accettabili per le diverse categorie di edifici, all'assenza di una definizione di "zone climatiche" estive del territorio nazionale, in analogia a quanto è in essere per la climatizzazione invernale e all'assenza di un decreto nazionale che disciplini la materia. Oltre a questo è ancora poco conosciuta la situazione dei consumi energetici per illuminazione, in particolare nel settore terziario e, poiché l'impiego di sistemi di illuminazione artificiale poco efficienti ha un considerevole impatto sui consumi per il condizionamento estivo, è necessario sviluppare strumenti tecnici e progettuali che consentano un più largo ricorso a sistemi di illuminazione naturale e artificiale ad alta efficienza.



Obiettivi

Per supportare il legislatore nell'emanazione delle regole di recepimento delle direttive europee in tema di efficienza energetica degli edifici, e fornire ai professionisti e tecnici del settore metodi, strumenti e parametri prestazionali, in particolare per la climatizzazione estiva, sono stati fissati i seguenti obiettivi:

- Aggiornamento dell'Archivio dei dati climatici per dotare il quadro normativo italiano di dati aggiornati e di strumenti innovativi di valutazione e classificazione del clima, come ad esempio l'indice di severità climatica. Tale indice è necessario per la classificazione del territorio in zone climatiche estive e per definire i valori limite dei consumi energetici per il raffrescamento in relazione alle caratteristiche dell'involucro. Questa attività prosegue quella sviluppata in precedenza utilizzandone i risultati e definendo i dati climatici aggiornati per le regioni del centro-nord.
- Sviluppo di modelli di calcolo (programmi, tool, software) e verifica dell'applicabilità della UNI TS 11300 parti 1, 2 e 3 per la certificazione di edifici complessi che necessitano di simulazioni dinamiche secondo quanto previsto dal DM Linee Guida Nazionali.
- Definizione di Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio e verifica dell'applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani proseguendo, in continuità con quanto fatto nel corso del primo anno di attività, l'indagine statistica su consistenza numerica, distribuzione territoriale e caratteristiche strutturali ed impiantistiche del settore non residenziale, in riferimento alle tipologie commerciale, alberghiero e scolastico.
- Caratterizzazione dei componenti di involucro per il controllo solare e l'illuminazione naturale degli edifici, sia proseguendo l'attività sperimentale e di calcolo sui materiali semitrasparenti di facciata, sia rivolgendo l'attenzione anche ai componenti opachi, in particolare attraverso la valutazione dei benefici energetici ed ambientali derivanti dall'utilizzo di rivestimenti a elevata riflessione solare.
- Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali, in particolare agli "Implementing Agreements" della IEA (Agenzia Internazionale dell'Energia) impegnati sui temi della Efficienza Energetica negli edifici (programma "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" - ECBCS) e delle applicazioni del Solare per il Riscaldamento e Raffrescamento degli edifici (programma "Solar Heating and Cooling" - SHC).

Aggiornamento dell'Archivio dei Dati Climatici

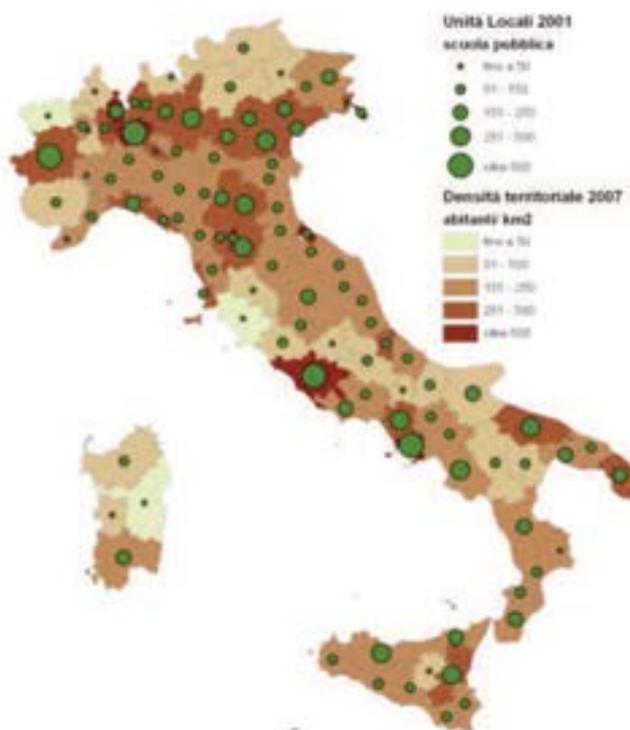
L'attività ha prodotto lo studio "Metodologia per l'elaborazione dei dati climatici necessari per la progettazione degli impianti per il riscaldamento degli edifici" che colma alcune delle lacune esistenti nella normativa tecnica e nei documenti tecnici pre-normativi riguardo il comportamento termico degli edifici. L'ulteriore finalità è la costruzione "dell'anno tipo" e l'aggiornamento della norma UNI 10349. La metodologia sviluppata è stata applicata ai dati climatici aggiornati delle Regioni del centro e del nord. Altro prodotto di questa attività è lo sviluppo di un metodo di calcolo dell'Indice di severità del clima, che mette in relazione il fabbisogno di energia per il raffrescamento degli edifici con le zone climatiche, e la verifica della congruità di tale relazione mediante il confronto del fabbisogno di energia calcolato secondo normativa con quello stimato attraverso l'indice di severità climatica.

Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati

La conoscenza della consistenza e delle caratteristiche energetiche del parco edilizio nazionale per usi non residenziali è, allo stato attuale, molto incerta. Connotato da una composizione (edilizia, impiantistica e di destinazione d'uso) molto eterogenea, questo settore attualmente presenta una scarsità di dati sulla consistenza e qualità del parco immobiliare e molte lacune sulla conoscenza degli aspetti gestionali e manutentivi.

Anche dopo l'ultimo censimento nazionale ISTAT del 2001, i dati relativi al settore non residenziale sono molto scarsi, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti energetici. L'attività ha consentito di continuare a colmare questa grave carenza di informazioni. È stata infatti condotta una indagine statistica approfondita, dopo quella per gli uffici, dedicata alla "Caratterizzazione del parco immobiliare ad uso alberghiero e scolastico". L'indagine, condotta da CRESME con la collaborazione dell'ENEA, ha prodotto il primo studio statistico in grado di definire un set di edifici tipo rappresentativi del parco italiano, suddivisi per zona geografica, climatica e demografica.

È stata inoltre condotta un'indagine sui settori alberghiero, scolastico e residenziale per caratterizzarne sia le



Distribuzione sul territorio nazionale delle scuole pubbliche

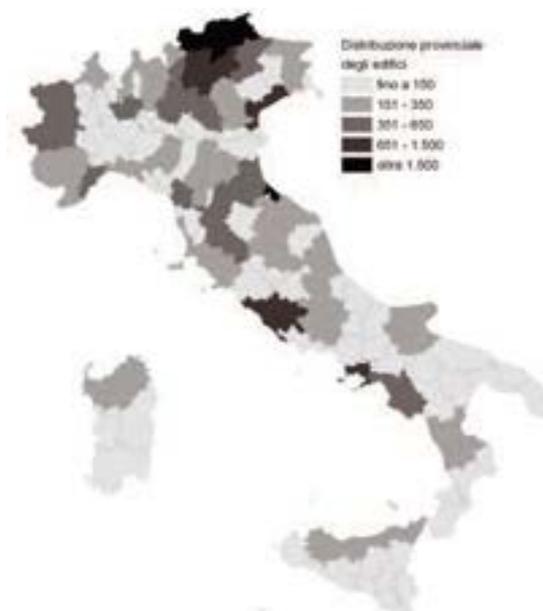
tipologie edilizie più comuni che i principali profili di consumo. Sono stati prodotti i seguenti rapporti tecnici, basati sul confronto fra metodologie di calcolo: "Valutazione dei consumi nell'edilizia scolastica e benchmark mediante codici semplificati" a cura del Politecnico di Milano-eERG, "Edifici adibiti a scuole - Usi termici - Analisi del potenziale di risparmio energetico" a cura del Politecnico di Milano, "Caratterizzazione dei consumi energetici nazionali delle strutture ad uso grande distribuzione" a cura dell'Università Roma La Sapienza, "Edifici adibiti a Centri Commerciali - consumi energetici di due edifici a Roma" a cura dell'Università Roma Tre, "Modelli e tool di calcolo per la certificazione energetica degli edifici" a cura del Politecnico di Torino e dell'Università di Padova.

Caratterizzazione dei componenti di involucro per il controllo solare e l'illuminazione naturale degli edifici

La caratterizzazione dei componenti di involucro ha riguardato in particolare l'integrazione del componente trasparente con i sistemi schermanti, al fine di valutare i benefici ottenibili in termini di comfort visivo e risparmio energetico per la climatizzazione estiva.

Le attività hanno portato alla messa a punto di strumenti di calcolo e procedure di misura. I risultati ottenuti su una serie di sistemi innovativi possono essere utilizzati dagli utenti come dati di input in strumenti di calcolo dedicati o come linee guida nella scelta dei sistemi trasparenti, in relazione alle caratteristiche ed alla destinazione d'uso dell'edificio. È stato in particolare sviluppato il tool WINSHELTER (Window and shading energetic, luminous and thermal evaluation routines) dedicato al calcolo delle proprietà

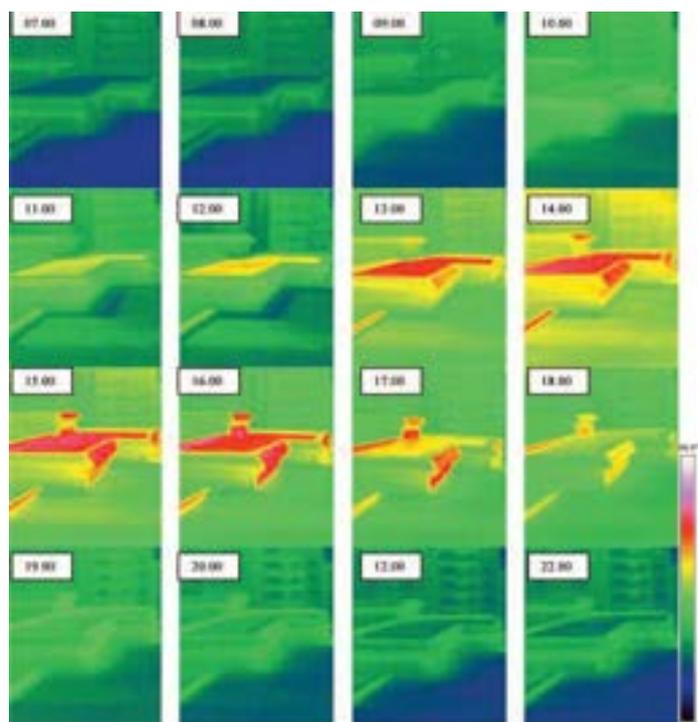
luminose, solari e termiche di sistemi trasparenti integrati con elementi schermanti. Le attività hanno riguardato anche l'ottimizzazione dei componenti dell'involucro edilizio e dei materiali in aree urbane, per limitare il ricorso a fonti energetiche per la climatizzazione estiva e per l'illuminazione artificiale senza pregiudicare le condizioni di comfort per gli utenti. È stato approfondito il fenomeno dell'isola di calore e una specifica attività di ricerca ha evidenziato che il trattamento dei manti stradali, con materiali di adeguate proprietà termiche, riduce fortemente tale fenomeno.



Distribuzione sul territorio nazionale degli edifici di uso alberghiero



Regioni analizzate per la definizione degli anni tipo climatici



Analisi termografica di confronto tra una copertura convenzionale e un cool roof: la prima (zona rossa) è più calda della seconda (zona verde) di oltre 10 °C nelle ore diurne

Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali

Le attività svolte nell'ambito dei gruppi di lavoro IEA hanno permesso la realizzazione di studi mirati ai temi afferenti ai singoli Implementing Agreements. I temi affrontati dai gruppi di lavoro italiani sono stati:

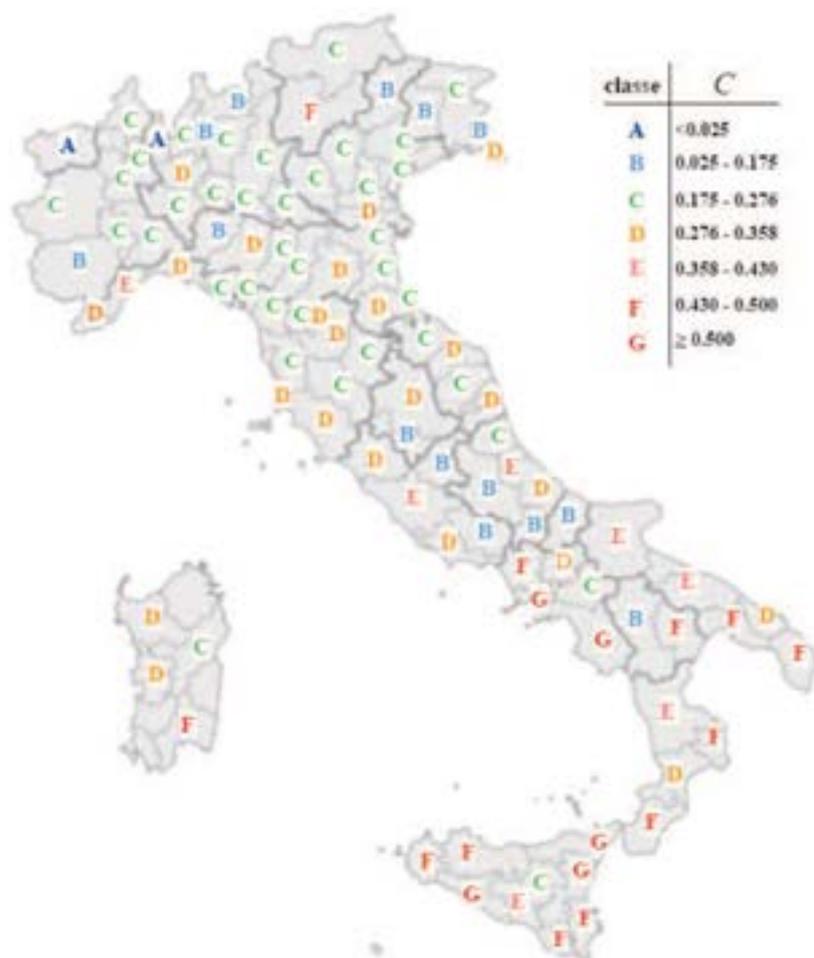
Riguardo il programma "Energy Conservation in Building and Community Systems":

- "Linee guida per l'utilizzazione della luce naturale": IEA ECBS Annex 45 (Università La Sapienza di Roma Dipartimento di Fisica tecnica)
- "Holistic Assessment Tool-kit on Energy Efficient Retrofit Measures for Government Buildings (EnERGo)": IEA ECBCS Annex 46 (Politecnico di Milano, Dipartimento BEST)
- "Heat pumping and reversible air conditioning": IEA ECBCS Annex 48 (Politecnico di Torino, Dipartimento Energetica)
- "Low exergy systems for high-performance built environments" IEA ECBCS Annex 49 (Politecnico di Milano, Dipartimento BEST; Università di Venezia - IUAV; Università di Padova Dipartimento di Fisica tecnica)

Riguardo il programma "Photovoltaic Power Systems":

- "National Survey Report on PV Power Application in Italy" - IEA - PVPS (ENEA)
- "Trends in Photovoltaic Applications". - IEA - PVPS (ENEA)

Ciascun gruppo di lavoro ha prodotto uno o più documenti, strumenti di calcolo, linee guida per la progettazione ecc.



Indice di severità climatica: classe climatica estiva, mappa dei capoluoghi di provincia

Documentazione disponibile

I documenti tecnici tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

SISTEMI DI CLIMATIZZAZIONE ESTIVA ASSISTITI DA FONTI RINNOVABILI

Tema di ricerca 5.4.1.3 - Sistemi di climatizzazione estiva e invernale assistita da fonti rinnovabili

Scenario di riferimento

La domanda di energia per il condizionamento degli ambienti nel periodo estivo è aumentata considerevolmente negli ultimi decenni con trend ancora in forte crescita. Le tecnologie tradizionali causano notevole sovraccarico sulla rete elettrica di distribuzione, con conseguenti rischi di black-out. Inoltre, esiste il rischio di dover aumentare significativamente la potenza installata senza un corrispondente aumento del consumo, con il risultato di un costo dell'energia più alto.

Da diversi anni sono allo studio sistemi per il condizionamento estivo degli edifici basati su tecnologie innovative che utilizzino l'energia solare (solar cooling), soluzione tecnica molto interessante vista la coincidenza della domanda con la disponibilità di energia solare.

Esistono diversi dispositivi per la realizzazione di sistemi di raffrescamento ad energia solare, ma non è stata ancora individuata una soluzione tecnologica integrata che assolva l'intero compito della climatizzazione, estiva e invernale.

Le tecnologie di climatizzazione non-convenzionali attualmente allo studio possono essere distinte in:

Solar cooling. La tipologia di impianto più diffusa impiega pannelli solari che, sfruttando cicli termodinamici chiusi e fluidi di idonee proprietà fisiche, forniscono il calore per "sostituire" gran parte del lavoro meccanico di un ciclo a compressione di vapore. Questi impianti si differenziano in base al tipo di macchina ad assorbimento utilizzata. Le macchine ad Acqua-Bromuro di Litio, interessanti sotto certi aspetti, non possono essere generalmente impiegate come pompe di calore invernali. Le macchine ad acqua-ammoniaca possono 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. Sempre ai fini della climatizzazione, l'energia solare viene impiegata anche nei sistemi



“desiccant cooling” in cui l’aria è essiccata per mezzo di sostanze igroscopiche (silica gel, cloruro di calcio) da rigenerare mediante aria calda, prodotta con pannelli solari.

Heat Pipes, dispositivi per il trasporto di calore basati su evaporazione, circolazione e condensazione di un fluido in un ambiente chiuso e sigillato, di forma generalmente tubolare. Trovano applicazione nei sistemi di deumidificazione in cui l’aria, raffreddata per estrarne l’umidità per condensazione, deve essere post-riscaldata per l’immissione nell’ambiente climatizzato: l’energia termica è fornita dagli heat pipes, senza ricorso a caldaie integrative o batterie di tipo elettrico. Gli heat pipes sono inoltre utilizzati in pannelli solari di tipo sotto vuoto, per la produzione di acqua calda sanitaria.

Macchine con sonde geotermiche, diffuse in aree geografiche le cui condizioni climatiche rigide non consentono l’impiego soddisfacente dei dispositivi aria-aria. Lo scambio termico si basa su scambiatori orizzontali, se è disponibile una grande superficie libera nelle vicinanze dell’edificio, oppure verticali, allocati in pozzi profondi 80-160 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 grazie al fatto che la temperatura del terreno è costante e pari a circa 13-14 °C.

Macchine elioassistite, che sfruttano la possibilità di portare un fluido ad una temperatura prossima a 25-30 °C anche in inverno mediante collettori solari piani a basso costo. Con queste temperature all’evaporatore, una pompa di calore a compressione può raggiungere COP anche molto elevati ~5 con un indubbio vantaggio energetico. Il rendimento dei pannelli solari a così basse temperature è molto alto (60-65 %) e permette campi solari di dimensioni contenute. Nel funzionamento estivo devono però essere previsti sistemi aggiuntivi di smaltimento del calore, quali torri evaporative o arotermi.

Obiettivi

Lo scopo finale del progetto è quello di definire e sviluppare un sistema integrato condizionamento-riscaldamento robusto e competitivo, che possa essere di riferimento per il Sistema Italia. Il raggiungimento di tale obiettivo è subordinato allo sviluppo di componenti e soluzioni tecnologiche per la climatizzazione assistita da solare o da altra fonte energetica rinnovabile. La realizzazione del progetto è stata articolata in più fasi:

- Ricognizione di tecnologie e prodotti disponibili sul mercato (collettori a media temperatura, piani, sotto vuoto, a concentrazione, con l’impiego di heat pipes, pompe di calore a compressione e ad assorbimento, sistemi di desiccant cooling e geotermici). Tale attività

è stata realizzata anche attraverso il monitoraggio di impianti esistenti o costruiti appositamente (ad esempio il campo solare di un edificio del Centro Ricerche ENEA della Casaccia).

- Definizione, modellazione e ottimizzazione di architetture impiantistiche per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici e analisi tecnico economica comparata per tecnologia e per zona climatica.
- Realizzazione di laboratori per la qualificazione di collettori solari a concentrazione e sistemi di pompe di calore elioassistite.
- Progettazione, costruzione e realizzazione di prototipi di componenti innovativi, come macchine ad assorbimento acqua-ammoniaca dedicata ad impieghi solari, collettori solari ad heat pipes e sistemi desiccant compatti.
- Definizione di linee guida e studi preventivi per l'incentivazione dell'uso delle tecnologie di climatizzazione assistita da energia solare.

Risultati

Studi di fattibilità

In collaborazione con l'ISES (International Solar Energy Society Italia) e l'Università Roma Tre sono stati condotti studi di fattibilità per l'analisi delle prestazioni di diverse soluzioni tecnologiche di solar cooling, di impianti geotermici ed elioassistiti, attraverso l'impiego di modelli di ottimizzazione sul tempo di pay-back con riferimento alle tecnologie correnti. È stato inoltre condotto un confronto analitico tra le diverse tecnologie applicate ad un edificio di riferimento in diversi climi italiani. È stata inoltre effettuata la simulazione completa edificio-impianto dell'edificio della Casaccia per successivo confronto/validazione con dati sperimentali.

Riguardo alla possibile installazione di impianti geotermici, in collaborazione con l'Università di Roma Tre è stato realizzato un geodatabase per la mappatura delle aree territoriali adatte all'installazione di impianti geotermici con sonde verticali (SGV).

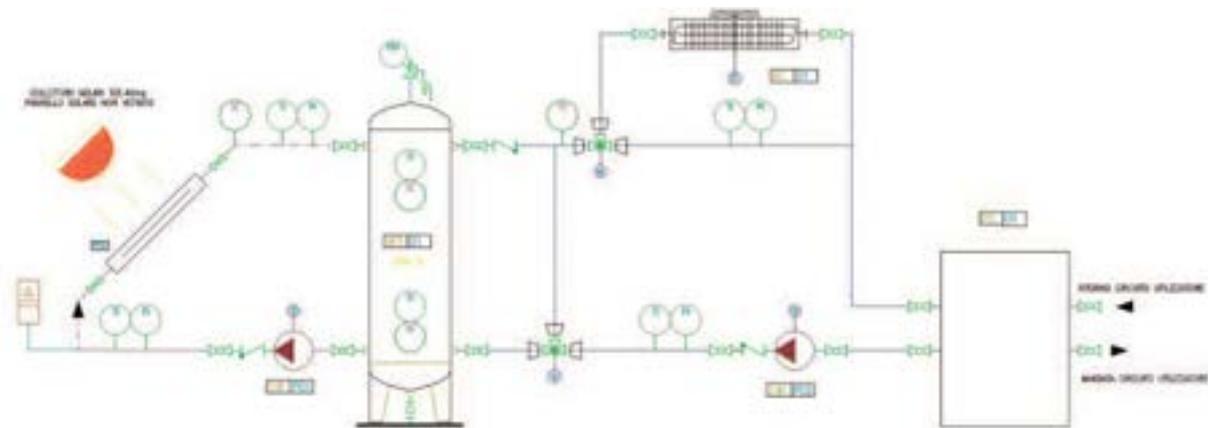
Shape file di una traccia di una sezione stratigrafica archiviata all'interno del geodatabase



Realizzazione di laboratori per la qualificazione di componenti e sistemi

Presso il Centro ENEA della Trisaia è stata realizzata una piattaforma sperimentale per la caratterizzazione di collettori solari a media temperatura per applicazioni nel solar cooling e calore di processo; sono state inoltre svolte specifiche prove in supporto ad aziende europee e nazionali impegnate nella produzione di sistemi solari a media temperatura.

Presso il Centro della Casaccia è stata realizzata una test facility per prove su pompe di calore con evaporatore elio assistito.



Facility per la caratterizzazione sperimentale

Sviluppo di componenti innovativi

Macchine ad assorbimento ad acqua-ammoniaca per il solar cooling

È stato completato lo studio per selezionare il ciclo termodinamico da adottare su una macchina ad assorbimento reversibile sperimentale sviluppata per operare nel range di potenza adatto al settore terziario (18 kW frigoriferi). Successivamente si è proceduto alla progettazione e assemblaggio del prototipo ad alimentazione mista gas-solare, che potrà essere azionato tramite calore a 100 °C proveniente da un campo solare del tipo a tubi evacuati.

Heat pipes

È stato progettato e realizzato un circuito di test (impianto T.O.S.C.A.) per la sperimentazione e la caratterizzazione dell'heat pipe, in modo da ottimizzare le scelte impiantistiche in funzione della sua



Impianto T.O.S.C.A. (Thermal fluid-dynamics Of Solar Cooling Apparatus)

destinazione d'uso (es. produzione acqua calda sanitaria, abbinamento con pompe di calore ecc.).

In particolare, l'impianto consentirà di verificare il comportamento termico al variare della geometria, del tipo e della quantità di fluido di riempimento, del grado di vuoto e dell'inclinazione di installazione dello stesso.

Desiccant

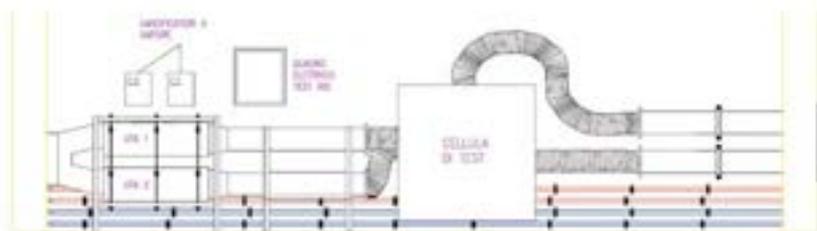
È stato condotto lo studio preliminare di un prototipo di desiccant compatto dotato di una migliore efficienza di deumidificazione per renderlo maggiormente competitivo, rispetto alle macchine attualmente disponibili, in climi caldo-umidi.

Presso il Politecnico di Milano è stata effettuata l'ottimizzazione termofluidodinamica e il dimensionamento di uno scambiatore di calore in controcorrente con layer adsorbenti e raffreddamento evaporativo indiretto (ECOS) per impianti innovativi di solar air-conditioning a ciclo aperto destinati ad utenze industriali e commerciali.

Nell'ambito dell'attività condotta in collaborazione con il DREAM sono state infine sviluppate logiche di controllo avanzate per sistemi di desiccant ed è stato realizzato un nuovo set up sperimentale per il test e lo sviluppo di componenti impiantistici impiegati in sistemi desiccant cooling innovativi.



Set up sperimentale per il test di componenti aeraulici



Progetto del sistema di test per componenti aeraulici innovativi

Documentazione disponibile

I documenti tecnici contenenti i risultati delle ricerche e delle attività di partecipazione con gruppi di lavoro internazionali sono consultabili sul sito www.enea.it.

ELETTROTECNOLOGIE INNOVATIVE PER I SETTORI INDUSTRIALE E TERZIARIO

Tema di ricerca 5.4.3.1 - Elettrotecnologie innovative per i settori produttivi: applicazioni su scala reale

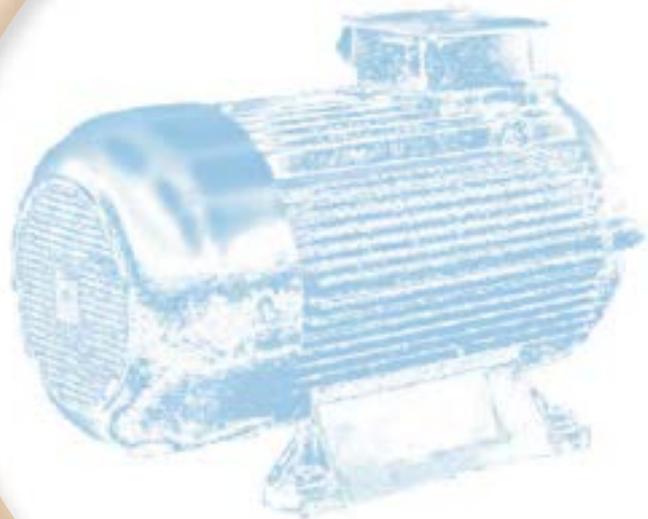
Scenario di riferimento

Gli usi finali dell'energia nel settore industriale presentano a livello nazionale, con particolare riferimento all'uso elettrico, una bipartizione: se da un lato l'efficienza energetica dei processi produttivi può considerarsi in genere buona, specie nei processi "energy intensive", esistono invece margini rilevanti di miglioramento dell'efficienza nella gestione integrata delle reti energetiche locali, a livello di stabilimento, di area industriale o di distretto. Queste reti presentano varie problematiche attinenti l'efficienza energetica, tra cui la gestione delle unità locali di generazione (spesso di cogenerazione o trigenerazione) nell'ambito più grande della gestione dei carichi, la copertura dei picchi di potenza, l'efficienza delle reti e degli apparecchi elettrici non di processo.

Parallelamente, esistono diffuse applicazioni di mercato di tecnologie elettriche - in particolare quelle di tipo trasversale, ossia non specifiche di un comparto industriale - suscettibili di miglioramenti dell'efficienza, sia a livello di singoli sistemi e componenti, sia a livelli di integrazione dei componenti/ sistemi in una logica di gestione sistemica da verificare con adatti dimostrativi.

Inoltre l'utilizzo di elettrotecnologie innovative in sostituzione, anche solo parziale, di alcuni carichi termici, può giovare all'ottimizzazione della gestione integrata della rete elettrica locale.

Anche i sistemi di accumulo elettrico, in particolare supercondensatori e batterie al litio, possono vantaggiosamente essere utilizzati nelle reti elettriche, sia lato utenza finale per il "peak shaving" in presenza di assorbimenti impulsivi di potenza intervallati da periodi a basso prelievo o per il "power quality", sia come accumulo dedicato ad impianti di generazione da rinnovabili. Solo attraverso attività sperimentali si possono selezionare i materiali, i processi produttivi, i componenti e le configurazioni più interessanti.



Obiettivi

Il programma di attività triennale è focalizzato sulla realizzazione e il monitoraggio di applicazioni sperimentali, su scala reale, di alcune elettrotecnologie efficienti e innovative che hanno raggiunto un grado di sviluppo completo o prototipale, anche attraverso il coinvolgimento di partner industriali presso i cui siti produttivi si realizzano le applicazioni dimostrative.

Le tecnologie sono scelte, dopo attenta analisi del potenziale e delle barriere alla loro diffusione, tra le più promettenti in alcuni specifici settori di utenza.

Il programma triennale prevede:

- la ricognizione delle possibili applicazioni delle tecnologie elettriche nelle utenze industriali, con l'acquisizione di quanto già esiste nel mercato e individuazione dei settori di maggiore penetrazione;
- l'analisi delle potenzialità delle tecnologie elettriche efficienti negli usi finali e delle barriere al loro conseguimento, in alcuni settori di utenza, realizzando modelli di simulazione;
- la realizzazione di applicazioni sperimentali pilota come dimostrativo della tecnologia;
- la definizione di linee guida e l'individuazione di temi di ricerca e di sviluppo di maggiore rilevanza sui cui avviare i programmi futuri.

The screenshot shows the website interface for the promotion of innovative electrical technologies. The header features the text: "RICERCA SISTEMA ELETTRICO - AREA USI FINALI" and "TEMA DI RICERCA 5.4.3.1." Below this, the main heading reads "PROMOZIONE DELLE ELETTROTECNOLOGIE INNOVATIVE NEGLI USI FINALI". The main content area includes a navigation menu on the left with items like "Il progetto", "Il quadro", "Il Tema di Ricerca 5.4.3.1.", "Enti e collaboratori", "Documenti", and "Tutela". The central text states: "Il presente sito è stato sviluppato nell'ambito dell'Accordo di Programma tra il Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) e l'Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA). Il sito raccoglie e rende fruibile al vasto pubblico i risultati ottenuti dallo svolgimento delle attività di Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale (Ricerca Sistema Elettrico - RSE) relative al Tema di Ricerca «Promozione delle tecnologie elettriche innovative negli usi finali»." A search bar and a "Visita" button are also visible.

*Portale per la promozione delle elettrotecnologie innovative negli usi finali
(www.elettrotecnologie.enea.it)*

Per una corretta contestualizzazione dei risultati ottenuti nella seconda annualità si riportano sinteticamente i risultati conseguiti nel primo anno:

Linee di attività	Risultati ottenuti primo Anno
Osservatorio sulle tecnologie efficienti	<p>1 Ricognizione delle tecnologie elettriche utilizzate nelle utenze industriali e delle tecnologie termiche potenzialmente sostituibili con tecnologie elettriche innovative: realizzazione di studi finalizzati all'individuazione delle elettrotecnologie più promettenti, composti da più elaborati di approfondimento di temi specifici (es. sistemi di generazione in assetto co-trigenerativo e sistemi integrati con sistemi per la produzione del calore e del freddo nelle applicazioni industriali e del terziario sulle tecnologie elettriche nelle applicazioni orizzontali, in particolare nel settore industriale e terziario, ecc).</p> <p>2 Creazione del data-base sulle tecnologie e realizzazione del sito web www.elettrotecnologie.enea.it per la fruizione pubblica dei prodotti realizzati nell'ambito del tema di ricerca (rapporti tecnici, tool e software, altro materiale).</p>
Reti Energetiche locali ad alta efficienza	<p>3 Sviluppo di modelli di simulazione dinamici per impianti di microgenerazione calibrati e validati con le principali tecnologie esistenti in commercio (turbine e motori a combustione interna) per applicazioni in reti energetiche locali al fine di valutarne i potenziali di diffusione in ambito residenziale.</p> <p>4 Studi propedeutici alla sperimentazione di modelli innovativi di macchine per il condizionamento ambientale realizzando condizioni di confronto tra tecnologie emergenti ad alta efficienza, quali pompe di calore elettriche con sbrinamento intelligente e pompe di calore ad assorbimento a gas.</p> <p>5 Studi per l'ottimizzazione dei flussi energetici (elettrici e termici) nei processi produttivi di un distretto industriale, attraverso l'utilizzo di tecnologie per il recupero del calore, la riduzione dei consumi e l'aumento dell'efficienza energetica (installazione di pannelli fotovoltaici, pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria, impianti di cogenerazione, riutilizzo dei cascami energetici delle soluzioni calde di tintura, sostituzione dei motori elettrici con motori ad alta efficienza, ecc.)</p>
Reti Energetiche locali ad alta efficienza	<p>6 Sviluppo di un progetto dimostrativo in scala reale per il miglioramento dell'efficienza energetica dell'illuminazione industriale in un capannone di produzione e magazzini, attraverso una attenta progettazione illuminotecnica che utilizza tecnologie innovative (lampade ad alta efficienza, apparecchi ad alto rendimento ottico, led, regolatori di flusso, sistemi intelligenti di controllo e gestione dei carichi di illuminazione, ecc.) e sfrutta l'integrazione dell'illuminazione naturale e artificiale; predisposizione di Linee Guida per l'illuminazione naturale integrata con illuminazione artificiale; sviluppo di una piattaforma software freeware (LITESTAR11) per modellazione, progettazione assistita, simulazione di controlli e di gestione di impianti illuminotecnici, per indirizzare il progettista verso le soluzioni più idonee a soddisfare parametri di comfort e efficienza, attraverso processi di modellazione dinamica e ottimizzazione percettiva, energetica, economica.</p>
Applicazioni innovative di sistemi di accumulo elettrico in ambito industriale e terziario	<p>7 Studio di sistema, con relative valutazioni tecnico-economiche, per l'applicazione ad una funivia di un dispositivo di accumulo elettrico a medio termine (batterie) ed effettuazione di prove di caratterizzazione del sistema di accumulo prescelto.</p> <p>8 Studio di sistema, con relative valutazioni tecnico-economiche per l'applicazione ad un carro ponte di un dispositivo di accumulo a breve termine (accumulo con supercondensatori) e realizzazione di un impianto sperimentale in scala reale, presso il Centro Enea Casaccia, su cui eseguire prove di sistema.</p>

In relazione ai vari obiettivi, i risultati della seconda annualità sono:

Portale dell'efficienza energetica e delle elettrotecnologie innovative negli usi finali

Realizzazione preliminare di un portale dell'efficienza energetica dove le tematiche sull'efficienza energetica possono essere trattate in modo sistemico e correlato, valorizzando i risultati ottenuti sia nell'ambito delle attività della Ricerca di Sistema sia da altre fonti, al fine di costituire nel tempo una base di contenuti a disposizione del Paese.

Metodologie di valutazione dei risparmi energetici in applicazioni tecnologiche innovative/efficienti

In collaborazione con primari operatori istituzionali e universitari nazionali del settore dell'efficienza energetica, sono state sviluppate metodologie per la definizione di indicatori di prestazione energetica in applicazioni tecnologiche nei settori industriali e terziario a supporto all'applicazione dei decreti sull'efficienza energetica (certificati bianchi), anche sulla base di un confronto con le più significative esperienze internazionali disponibili.

Micro-cogenerazione: sviluppo di un modello di cogeneratore con motore a combustione interna

A partire dai risultati ottenuti durante il primo anno sul tema delle reti energetiche interattive ad alta integrazione, con inserite unità di micro-cogenerazione ($\leq 1 \text{ MW}_e$) e l'utilizzo di tecnologie avanzate per il controllo delle reti termica ed elettrica, è stato sviluppato un modello matematico per la simulazione del funzionamento di un motore a combustione interna. Il modello, implementato in ambiente Simulink, è stato calibrato simulando sistemi impiantistici reali a servizio di utenze civili.

Applicazione di supercondensatori a sistemi di movimentazione (carroponte) ed approfondimento teorico-sperimentale dell'utilizzo dell'accumulo in altri settori di applicazione

Sulla scorta delle esperienze maturate sull'accumulo con supercondensatori (strategie di controllo e loro influenza sul dimensionamento del sistema, valutazioni tecnico-economiche, progettazione ed esecuzione di una sezione di impianto "carro ponte" in scala dell'attività sperimentale presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia), e delle attività di aggiornamento e sviluppo del software di gestione del sistema, è stato dimensionato un impianto per la sperimentazione sul campo in condizioni reali di esercizio, coinvolgendo un utente finale del settore industriale.

Sono stati ottenuti nuovi risultati dall'attività sperimentale in laboratorio (ampliamento delle modalità di funzionamento dell'impianto,

miglioramento dei sistemi di gestione ecc.) ed è stata eseguita una prima analisi dei potenziali impatti dell'innovazione sui settori industriali che più utilizzano la tecnologia.

Inoltre, sono stati eseguiti studi di approfondimento sulla modellistica dei supercondensatori simulandone l'efficienza nel loro range di utilizzo e confrontandola con altri sistemi di accumulo (batterie al litio) nelle stesse condizioni, e sul loro dimensionamento tecnico-economico su base statistica in funzione dell'applicazione.

Infine, è stato messo a punto un modello su piattaforma Matlab/Simulink di sistemi di accumulo a supercondensatori in applicazioni idonee a conseguire il "peak shaving" in utenze caratterizzate da assorbimenti impulsivi di potenza intervallati da periodi a basso prelievo o in applicazioni di "power quality".



Vista del prototipo di impianto di sollevamento con recupero di energia tramite supercondensatori

Applicazione di batterie a sistemi di trasporto a fune (funivia)

Analogamente a quanto previsto per l'applicazione dei supercondensatori, sulla scorta delle esperienze maturate sull'accumulo con batterie (analisi comparata delle tecnologie di accumulo per l'applicazione ad una funivia, analisi dei cicli di lavoro, dimensionamento tecnico-economico dell'accumulo ecc.), e attraverso l'attività sperimentale svolta presso il Centro ENEA Casaccia (prova vita), è stato dimensionato ed installato presso un utente finale (gestore impianto a fune) un impianto sperimentale operante in condizioni di esercizio reale.

La sperimentazione sul campo ha consentito di verificare l'affidabilità complessiva della tecnologia nelle reali condizioni di temperatura, umidità, vibrazioni ecc. e l'effetto di taluni parametri (potenza, profondità di scarica, sovraccarica, temperatura) sulla vita utile, non tutti simulabili in laboratorio.

I vantaggi dell'intervento riguardano principalmente l'ottimizzare l'assorbimento di energia elettrica dalla rete di distribuzione nelle fasi di massimo impegno di corrente (es. partenza della vettura) e il recupero durante la fase di marcia in discesa, oltre ai benefici indotti in termini di miglioramento della "power quality"



Il sistema di batterie usato come banco di prova per la messa a punto del prototipo finale

e alla maggiore funzionalità e integrazione dell'impianto con la rete elettrica secondo le logiche di "smart grid".



Attrezzatura per le prove del sistema di accumulo a batterie

Valutazione dell'impatto dell'utilizzo delle batterie al litio nelle applicazioni stazionarie

Le attività svolte hanno posto le basi per un progetto nazionale per lo sviluppo di batterie al litio per applicazioni nelle reti elettriche, con importanti implicazioni anche in altri settori applicativi: è stata eseguita un'indagine completa sulle tipologie di celle al litio e sui materiali in esse utilizzate per definire delle priorità di scelta tenendo conto dei cicli di lavoro rappresentativi delle batterie nelle applicazioni alle reti elettriche più interessanti da un punto di vista energetico e/o economico. I risultati di 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 i costi attesi), assistito da alcune simulazioni con modelli semplificati delle applicazioni in impianti con fonti rinnovabili, sono stati convalidati mediante una campagna sperimentale al banco di prodotti commerciali o pre-commerciali disponibili sul mercato di produzione straniera.

Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ENERGETICO NELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA

Tema di ricerca 5.4.3.2 - Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica

Scenario di riferimento

Il Piano d'Azione per l'Efficienza energetica varato dall'Italia nel luglio 2007 stabilisce che uno dei settori primari su cui agire è l'illuminazione pubblica (risparmio potenziale al 2016: 1290 GWh; consumo attuale: 6 Twh, su un consumo totale di energia di circa 300 TWh). Molti studi mostrano come già diverse tecnologie consolidate permettono un ritorno dell'investimento in tempi brevi, garantendo un importante volano applicativo. Tale volano è però frenato dalla mancanza di un approccio di sistema capace di integrare le tecnologie consolidate con tecnologie innovative e consentire, ad esempio, di controllare e regolare in modalità adattiva interi paesi o quartieri o arterie stradali o distretti terziari, abbattendo il consumo in percentuali che vanno dal 20 al 50% in relazione ai singoli casi e con tempi di ritorno degli investimenti molto accessibili. Data la forte replicabilità dell'architettura, in Italia sono ad esempio moltissimi i piccoli paesi tra 2.000 e 20.000 abitanti, è possibile un'ampia diffusione degli interventi e dei benefici correlati. Per centrare gli obiettivi del Piano d'Azione in questo settore, lo sviluppo tecnologico deve essere affiancato necessariamente anche dallo sviluppo di modelli di intervento e casi pilota, team sinergici di aziende produttrici, gestori ed istituti finanziari, conoscenze nel contesto della Pubblica Amministrazione.



Obiettivi

Obiettivo finale dell'attività è fornire un deciso contributo all'aumento dell'efficienza e al contenimento dei consumi energetici e dell'inquinamento luminoso, nel rispetto delle esigenze degli utilizzatori finali e delle Amministrazioni Pubbliche che tali esigenze gestiscono. In questo ambito sono stati individuati diversi obiettivi intermedi, mirati ad approfondire i vari aspetti del sistema:

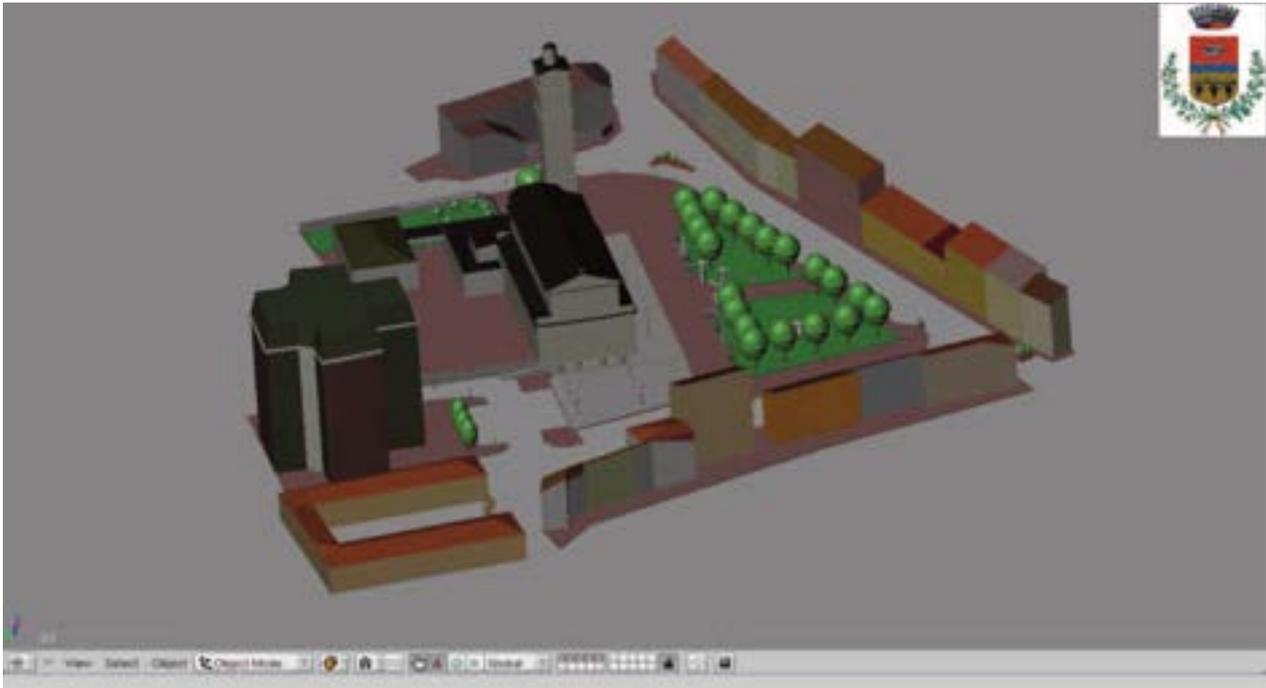
- sviluppo software per progettazione illuminotecnica assistita mirata all'efficienza energetica;
- ricerca sperimentale su prodotti innovativi, sviluppo di sistema di controllo intelligente, test di laboratorio su prototipi;
- realizzazione sperimentale pilota di illuminazione efficiente in una situazione applicativa complessa;
- trasferimento tecnologico e diffusione verso realtà territoriali ed ESCO;
- attività prenormativa e normativa.

L'innovazione tecnologica si presta particolarmente come supporto all'evoluzione delle politiche regionali su ambiente ed energia. Il progetto può essere utilizzato come esperimento sul campo per l'applicazione di raccomandazioni, legislazioni e normative in via di sviluppo a livello nazionale e internazionale su efficienza energetica, inquinamento luminoso, ecodesign, comfort visivo e sicurezza stradale legate all'illuminazione. Questo aspetto può essere trainante per le decisioni a livello di governance italiano e costituire un esempio dimostrativo a livello europeo.

Risultati

È stato predisposto un primo impianto sperimentale per situazioni complesse e ripetibili, con trasferimento tecnologico e diffusione di competenze e risultati verso gli stakeholder del settore.

In particolare, è stato selezionato un paese campione, Marcallo con Casone, comune lombardo, area Nord-Ovest di Milano, circa 6.000 abitanti, che rappresenta una situazione italiana molto tipica. È 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, due vie urbane, 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.



Modello semplificato piazza Italia - Macallo con Casone

È stata ufficialmente predisposta la realizzazione dei nuovi impianti. Nello stesso comune è iniziata una campagna di monitoraggio sull'inquinamento luminoso, in diverse fasi: è stato completato lo studio teorico sull'ambiente extraurbano e a breve sarà eseguito il monitoraggio. È poi prevista una campagna in ambiente urbano.

È stato predisposto un evento di visualizzazione in realtà virtuale di una zona campione di Marcallo (piazza di pregio) come aiuto ai progettisti e ai potenziali decisori.

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

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.



Stapelia

Sono stati preparati rapporti su elementi di interesse come:

- test e confronto di software per simulazioni illuminotecniche;
- stato dell'arte e proposte su metodi innovativi di ottimizzazione (ad esempio algoritmi genetici);
- stato dell'arte sugli attuali sistemi innovativi di illuminazione (LED);
- stato dell'arte su metodi normativi, prenormativi o standardizzati per caratterizzazione fotometrica dei sistemi a LED per illuminazione urbana e relative proposte;
- sviluppo di una metodologia di progettazione innovativa, basata sull'integrazione di parametri tradizionali, attuali, innovativi;
- linee guida per lo sviluppo di nuovi prodotti con sorgenti LED innovative;
- benchmarking dei prodotti di sensoristica e controllo per l'illuminazione pubblica;
- misure fotometriche su apparecchi di produzione industriale e/o prototipi per l'illuminazione pubblica;
- progettazione della architettura del sistema "smart street" e definizione delle specifiche;
- modelli predittivi e potenziale di risparmio energetico associato all'utilizzo di sistema di ottimizzazione "smart street" rispetto agli approcci classici.



*Modello Stapelia
ottimizzato a led*



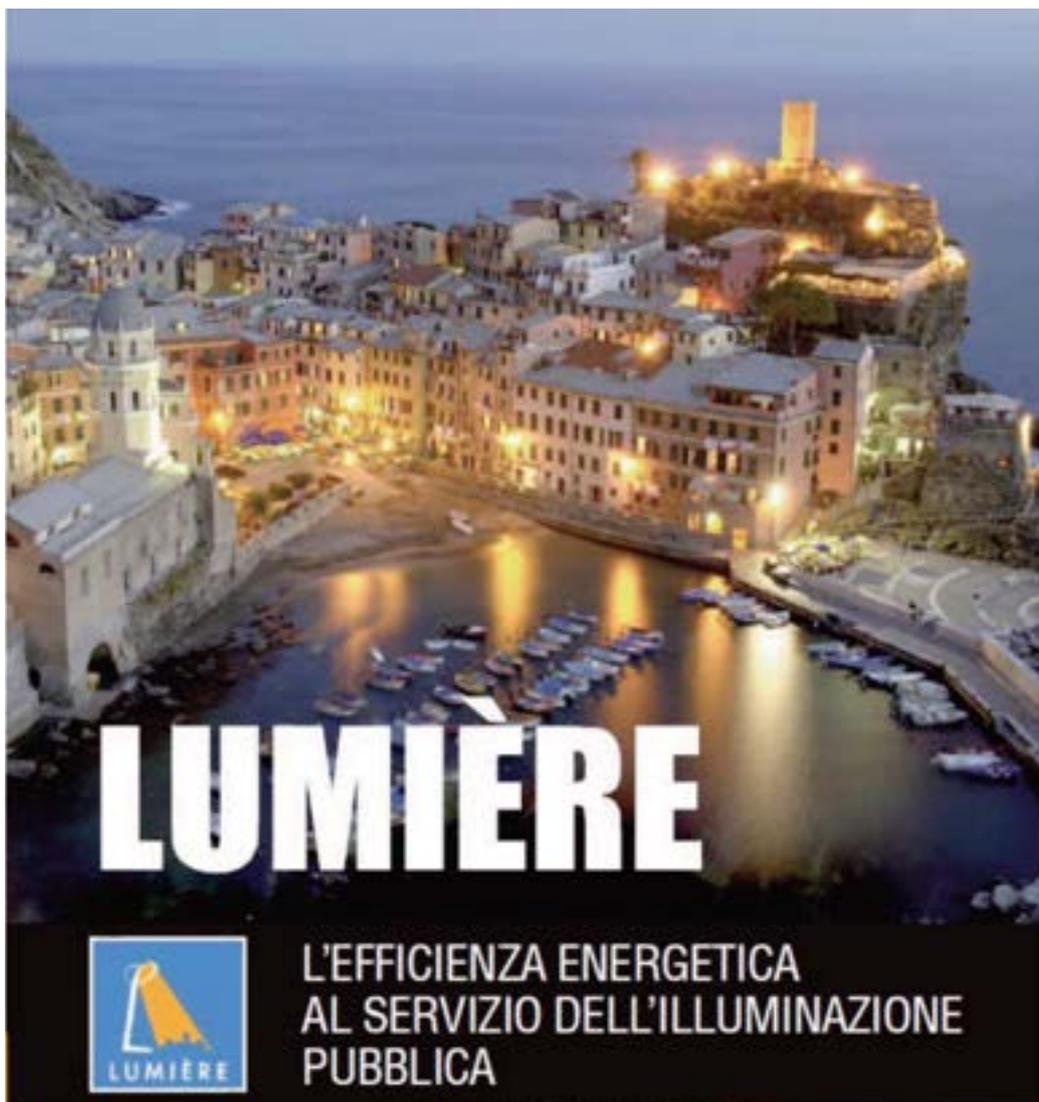
L'attività in campo prenormativo/normativo ha portato nel Piano Annuale di Realizzazione 2007 all'analisi di nuovi requisiti di progettazione ecocompatibile (secondo la Direttiva Europea ERP "ecodesign") per dispositivi di illuminazione, in particolare lampade direzionali e apparecchi per uso domestico. A livello nazionale sono state svolte attività in ambito UNI, su proposte di norme riguardanti regolatori di flusso luminoso e illuminazione delle gallerie, e in ambito CEI sull'efficienza energetica degli impianti.

È stato lanciato il network Lumière 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 Comuni per associazione diretta, e circa 400 attraverso le associazioni cui fanno riferimento (con le quali sono stati fatti accordi di partenariato). Il network ha permesso la raccolta di un numero significativo di dati riferiti agli impianti di illuminazione dei paesi aderenti e su questi dati sono state effettuate analisi di potenziali di risparmio energetico.

Sono stati avviati diversi audit energetici. È stata svolta un'attività di diffusione e di formazione sui contenuti del progetto e sulle opportunità di risparmio energetico.

È stato creato un sito web (www.progettolumiere.enea.it) con l'obiettivo di favorire l'incontro tra la richiesta di tecnologia e competenze dei Comuni e l'offerta corrispondente da parte della Ricerca, delle industrie di settore e dei promotori della sostenibilità ambientale:

- per le amministrazioni comunali, come polo informativo al quale attingere informazioni e contatti utili per la programmazione di interventi di riqualificazione energetica dei loro impianti d'illuminazione pubblica;
- per le industrie, sia come vetrina per le loro tecnologie di punta sia come finestra sulle esigenze delle amministrazioni comunali;
- per tutti, come fotografia della situazione nazionale del settore che inquadra esigenze, problematiche, soluzioni innovative proposte e soluzioni realizzate con successo, al fine di favorire la collaborazione e l'integrazione operativa di soggetti diversi ma interessati al conseguimento dei medesimi obiettivi.



Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito www.enea.it.

TECNOLOGIE EFFICIENTI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ELETTRICI

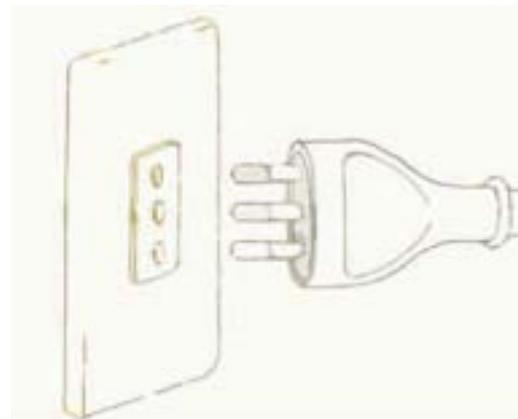
Tema di ricerca 5.4.4.7/8 - Sviluppo di strumenti di programmazione e di pianificazione per la promozione di tecnologie efficienti per la razionalizzazione dei consumi elettrici su scala territoriale e urbana

Scenario di riferimento

I dati relativi alla domanda di energia in Italia attestano l'importanza del ruolo dei settori residenziale e terziario. Attualmente, la principale domanda di energia relativa a tali settori è quella per la climatizzazione degli ambienti, ma è possibile intravedere, come previsione nel breve e medio termine, una sempre maggiore importanza della domanda di elettricità (per illuminazione, apparecchiature e condizionamento degli ambienti) a fronte di una contrazione della domanda per il riscaldamento. Ciò mette in evidenza la necessità di definire obiettivi e promuovere iniziative concrete in grado di incidere in maniera efficace sui tre principali "assi" del sistema energetico:

- riduzione della domanda di energia;
- ottimizzazione del sistema di generazione e trasmissione dell'energia mediante l'uso di tecnologie altamente efficienti, l'integrazione di fonti di energia rinnovabile localmente disponibili e il ricorso alla generazione/cogenerazione distribuita, ove possibile;
- implementazione di strumenti di controllo e gestione utili ad eliminare gli sprechi e a combinare i diversi tipi di domanda e di generazione energetica (tecnologie, risorse, taglie ecc).

Le azioni così definibili coinvolgono necessariamente una scala più ampia e complessa rispetto a quella del singolo edificio; la dimensione del distretto potrebbe essere il giusto "modulo" per l'effettiva implementazione di un nuovo paradigma energetico. Per risultare efficace, tale cambiamento deve essere ben progettato e supportato da diversi strumenti: norme, infrastrutture, mercato, politiche, tecnologie, cultura, formazione ecc.



Obiettivi

Scopo dell'attività è lo sviluppo e la diffusione di "soluzioni tecnologiche di sistema" per la riduzione dei consumi nei distretti energetici. Ci si prefigge di raggiungere l'obiettivo attraverso:

- la progettazione e la dimostrazione di soluzioni tecnologiche di distretto, secondo il modello distribuito;
- lo sviluppo di ambienti semplificati di calcolo, tramite simulazione dinamica, per la progettazione ottimale del sistema edificio-impianto con le tecnologie individuate;
- la realizzazione di applicazioni dimostrative, per validare con monitoraggi reali i risultati attesi e promuovere la replicabilità dell'esperienza;
- il supporto alla definizione di norme tecniche comunitarie e criteri di progettazione e conformità per la diffusione nel mercato di prodotti efficienti;
- la creazione e l'aggiornamento di una rete di laboratori sul territorio italiano in grado di effettuare test di verifica secondo i criteri fissati dai nuovi regolamenti comunitari.

Risultati

Sviluppo di specifiche per la progettazione ecocompatibile

Nel 2010 sono stati approvati dal Comitato Regolamentatore, ma non ancora pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale, i Regolamenti di ecodesign delle lavatrici, lavastoviglie e ventilatori. In particolare, per le lavatrici e le lavastoviglie il principale contributo di ENEA è stato il nuovo metodo di calcolo dell'efficienza energetica, che si basa ora sul consumo annuo incluse le modalità standby. Durante la negoziazione del Regolamento per i ventilatori, ENEA ha portato gli altri paesi a sostenere la richiesta italiana di scorporare le cappe per le cucine e i condizionatori, la cui funzione principale non è la ventilazione, in attesa di Regolamenti specifici per questi prodotti.

Per quanto riguarda l'etichettatura energetica, dopo l'accordo politico fra Parlamento, Consiglio e Commissione europei, la pubblicazione della nuova direttiva etichettatura (2010/30/UE) e l'entrata in vigore del Trattato di Lisbona il 1 dicembre 2009, è ripresa la discussione sugli schemi di etichettatura per frigoriferi, lavatrici e lavastoviglie, TV e sulla proposta di nuove etichette; si ipotizza che le nuove



Nuova etichetta per frigoriferi

etichette entreranno in vigore in modo obbligatorio all'inizio del 2012 e in modo volontario già dall'inizio del 2011.

Nel settore della refrigerazione professionale è stato svolto uno studio per la definizione di possibili politiche e misure, di tipo volontario o obbligatorio, per una maggiore efficienza energetica visti gli ampi margini di miglioramento disponibili.

La nuova Direttiva 2010/30/UE ha esteso l'ambito di applicazione ai "prodotti relativi all'energia", cioè qualsiasi bene che non consumi direttamente energia ma che una volta in uso o installato abbia un impatto sul consumo di energia (impatto indiretto), con la previsione di coprire in un prossimo futuro prodotti come per esempio le finestre, le porte esterne e i materiali isolanti; inoltre la nuova etichetta si applicherà anche a televisioni, scaldabagni, caldaie, apparecchi professionali ecc.

La riformulazione della direttiva sull'etichettatura energetica (Direttiva 2010/30/UE) è parte del pacchetto di provvedimenti relativi all'efficienza energetica, che comprende anche la revisione della direttiva sul rendimento energetico degli edifici e l'introduzione dell'etichettatura per gli pneumatici. L'ampliamento della direttiva sull'etichettatura ai prodotti correlati all'energia permette di rafforzare le sinergie con misure legislative esistenti, soprattutto con la direttiva sui requisiti di eco-progettazione per gli stessi prodotti. Mentre infatti l'etichettatura energetica fornisce una chiara indicazione del rendimento energetico, l'eco-progettazione concerne lo sviluppo di prodotti con minore impatto ambientale e mira a ridurre tale impatto già a partire dalla fase di progettazione del prodotto.

Creazione di una rete di laboratori in grado di verificare la conformità ai requisiti di Ecodesign

Presso il Centro Ricerche ENEA di Ispra è stato attrezzato un laboratorio per la certificazione degli apparecchi per uso domestico. In tale laboratorio sarà possibile effettuare test di verifica della conformità ai nuovi regolamenti di ecodesign e alle direttive di etichettatura energetica. La gamma di prodotti che potranno essere testati presso il laboratorio riguarda il settore del freddo e dei forni elettrici.

Allo scopo di creare nel Paese una rete di laboratori in grado di effettuare i test di verifica, sono stati individuati vari laboratori ed analizzati i relativi livelli di aggiornamento e qualificazione in relazione ai protocolli di prova definiti degli Enti europei di standardizzazione su mandato comunitario. È stato definito e avviato un programma di formazione e di aggiornamento per il raggiungimento di criteri minimi di qualità e affidabilità per detti laboratori, con la redazione di una scheda-rapporto per ogni laboratorio, con i tipi di apparecchi testabili, la capacità di prova, i contatti.



Nuova etichetta per lavatrici e lavastoviglie

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

Nella prospettiva futura di una diffusione sempre più capillare di impianti di generazione di energia di taglia media/piccola su scala urbana, secondo un modello energetico distribuito e con forte integrazione di fonti rinnovabili, sono stati analizzati alcuni casi studio. La progettazione di tali esempi dimostrativi è stata orientata alla soluzione più efficiente nel contesto territoriale in cui si insedia, sia dal punto di vista tecnologico sia in funzione del tempo di ritorno dell'investimento.

Di particolare interesse è stato lo studio di progettazione di dimostratori di reti elettriche di distribuzione per la transizione verso reti attive, relativi a due casi concreti di differente tipologia:

- la rete di distribuzione esistente in media e bassa tensione, relativa ad una zona del Centro Ricerche ENEA della Casaccia, denominata area "Capanna";
- la rete di distribuzione esistente in media tensione relativa all'isola di Pantelleria.

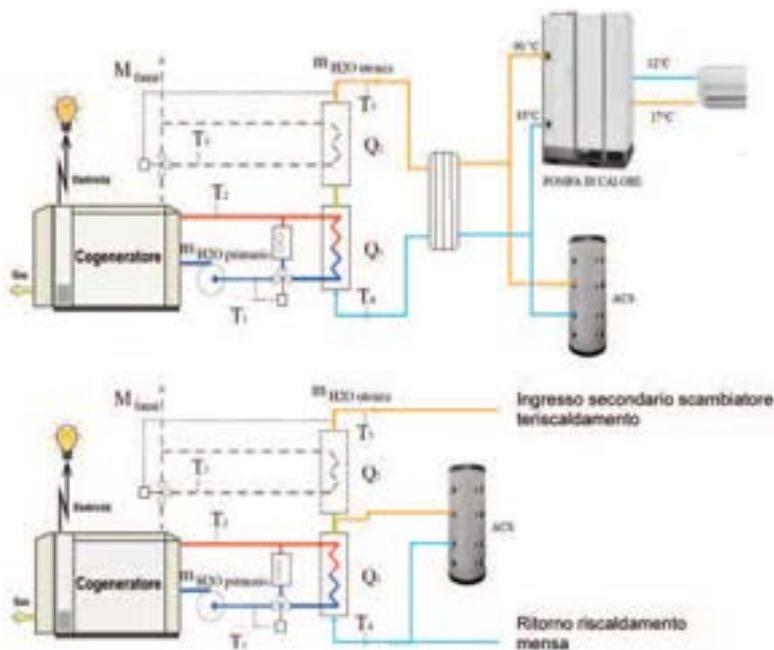
In una prima fase è stata effettuata una caratterizzazione dei sistemi elettrici, soprattutto in termini di produzione di energia elettrica, articolazione e consistenza delle reti di distribuzione, logiche e sistemi di automazione già adottati; sono stati pertanto identificati gli scenari iniziali o di riferimento. Successivamente, sono stati indagati i principali aspetti di fattibilità di interventi finalizzati all'integrazione di impianti di generazione da fonte rinnovabile e al controllo della domanda. Le ipotesi di intervento sono state identificate tenendo conto non solo della disponibilità di fonti energetiche potenzialmente sfruttabili, ma anche in considerazione di tutti gli altri principali aspetti (vincoli, disponibilità di spazi, problematiche d'impatto, specificità territoriali e funzionali ecc.) che la prospettiva di concreta attuabilità richiede. Sono state identificate le principali specifiche delle infrastrutture di controllo che potrebbero essere implementate nei due sistemi oggetto di studio, per la realizzazione di dimostratori.

Infine sono stati individuati degli scenari di sviluppo e per ciascuno è stata elaborata una stima dei costi degli interventi previsti e una valutazione qualitativa dei principali benefici attesi.

Presso il Centro di Ricerche ENEA Casaccia è stato, inoltre, messo in funzione un impianto di climatizzazione caldo/freddo basato sulla tecnologia del solar-cooling e realizzata la progettazione esecutiva di un impianto di trigenerazione (come nello schema riportato di seguito), che servirà l'edificio che ospita la mensa e altri uffici.



Planimetria generale dell'area "Capanna" con ubicazione di impianti FV e microtrubine



Schema impianto di trigenerazione: configurazione estiva (sopra) e invernale (sotto)

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

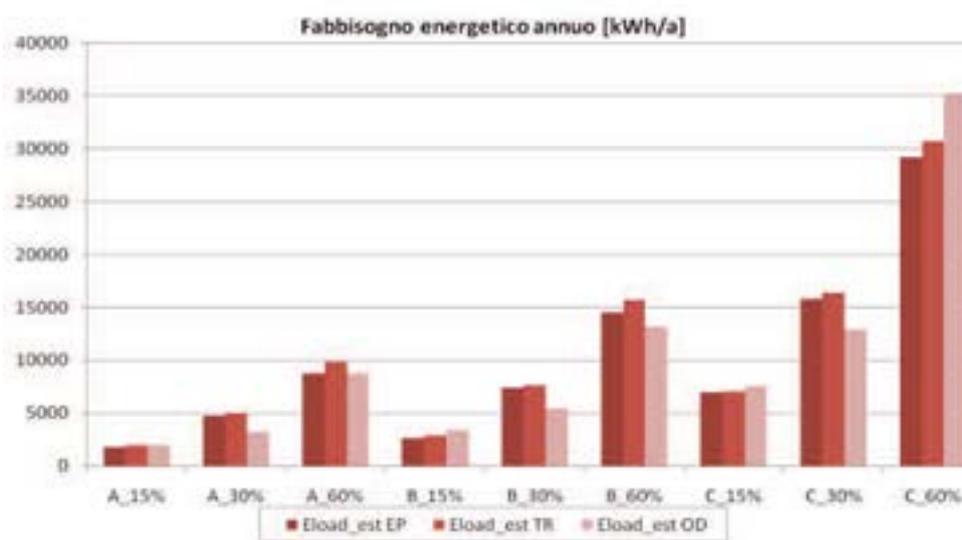
Lo sviluppo di modelli di simulazione dinamica orientata alla progettazione efficiente di interi distretti energetici è alla base delle attività che hanno portato alla definizione di un algoritmo per il calcolo del carico termico per il raffreddamento di un edificio. Tale tematica rappresenta un problema ancora aperto nella comunità scientifica; infatti la determinazione del carico termico in regime estivo viene affrontata applicando varie metodologie risolutive che, fortemente influenzate dalle ipotesi su cui si basano, danno luogo a risultati anche sensibilmente diversi tra loro.

Nel caso dello sviluppo della piattaforma ODESSE (Optimal Design for Smart Energy) sono stati implementati due metodi: il Metodo delle Funzioni di Trasferimento (TFM) e il Metodo delle Serie Radiative Temporali (RTS), derivato dal metodo di Bilancio di Calore. Si tratta di metodi matematici di risoluzione di equazioni differenziali per cui, per quanto accurato, il calcolo non può fornire soluzioni esatte; infatti tali metodi introducono delle approssimazioni dovute all'uso di coefficienti e alla impossibilità di valutare con esattezza la variabilità dei parametri termo-fisici con le condizioni ambientali (coefficienti di scambio termico, trasmittanze termiche ecc.).

Entrambi i metodi utilizzano un approccio simile, che elimina i calcoli iterativi complessi tipici dei metodi più analitici come ad esempio il metodo delle Differenze Finite. D'altra parte il limite del TFM consiste nella determinazione di una serie di coefficienti, strettamente dipendenti dalle caratteristiche costruttive dell'edificio, e dunque, dal contesto territoriale, inoltre non esistono banche dati di tali coefficienti aggiornate ed

esaustive. Per quanto riguarda il metodo RTS il vantaggio risiede nel fatto che si tratta di un metodo approssimato ma direttamente derivato da un metodo rigoroso; il suo limite consiste nel fatto che i coefficienti di natura analoga a quelli del metodo precedente sono qui in numero maggiore e la procedura di calcolo, dunque, si appesantisce.

Per verificare la validità degli algoritmi implementati sono state effettuate numerose simulazioni comparative con altri software (ENERGY PLUS e TRNSYS); gli edifici, di "benchmark", su cui sono state effettuate le simulazioni sono caratterizzati dalla stessa tipologia di involucro, ma da differenti caratteristiche geometriche (rapporto Superficie/Volume [0,28; 0,4; 0,5; 0,6]; percentuale di superfici finestate del 15%, 30%, 60%) e differenti localizzazione geografica.



Confronto con i codici EnergyPlus (EP), TRNSYS (TR), ODESSE (OD)

Documentazione disponibile

I documenti tecnici contenenti i risultati delle ricerche e delle attività di partecipazione con gruppi di lavoro internazionali sono consultabili sul sito www.enea.it.