



ENEA

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



Ministero dello Sviluppo Economico

**Accordo di
Programma MSE/ENEA
2012-2014**

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

**Sintesi dei risultati del
secondo anno di attività**

Novembre 2014

Edito dall'ENEA – Servizio Comunicazione
a cura di Rocco Ascione
Progettazione e realizzazione grafica: Cristina Lanari
Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA – Frascati
Finito di stampare nel mese di Marzo 2015

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

INDICE

AREA GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

Sistemi avanzati di accumulo dell'energia **5**

AREA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili **9**

Energia elettrica da fonte solare. Celle fotovoltaiche innovative **13**

Energia elettrica da fonte solare. Solare termodinamico **17**

Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso **21**

Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili **25**

Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare **29**

Collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione **33**

Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari a ITER **37**

AREA RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA

Risparmio di energia nei settori Industria, Servizi e Civile **41**

Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico **45**

Utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione **49**

Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità **53**



Sistemi avanzati di accumulo dell'energia

SCENARIO DI RIFERIMENTO

La richiesta di sistemi di accumulo nelle reti elettriche cresce di pari passo con l'evoluzione tecnica ed economica del sistema di generazione, distribuzione e usi finali dell'energia elettrica. La necessità di garantire un maggiore controllo delle fasi di produzione, con l'introduzione massiva di fonti energetiche rinnovabili per loro natura intermittenti e, in diversi casi, non programmabili, e soddisfare la domanda di energia, anche nell'ottica di un mercato aperto e libero dell'energia elettrica, rendono le tecnologie del-

l'accumulo sempre più indispensabili per migliorare il rendimento, la gestione, la qualità e ridurre i costi dell'energia elettrica prodotta e utilizzata.

I sistemi di accumulo per applicazioni alla generazione distribuita e alle smart grid, con prevalenza per l'accumulo elettrochimico (con sistemi a base di litio ma anche con sistemi redox a flusso e ad alta temperatura) e per quello dell'idrogeno, rivestono particolare interesse per le nuove possibilità applicative.

I sistemi di accumulo presentano numerosi vantaggi in relazione alle molteplici funzioni che sono in grado di svolgere nell'intero sistema elettrico, giacché possono essere utilmente collocati a livello del sistema di generazione (impianti multiMW) e della rete di trasmissione e distribuzione fino agli usi finali, con un posizionamento economicamente ed energeticamente conveniente da ambo i lati del "contatore".

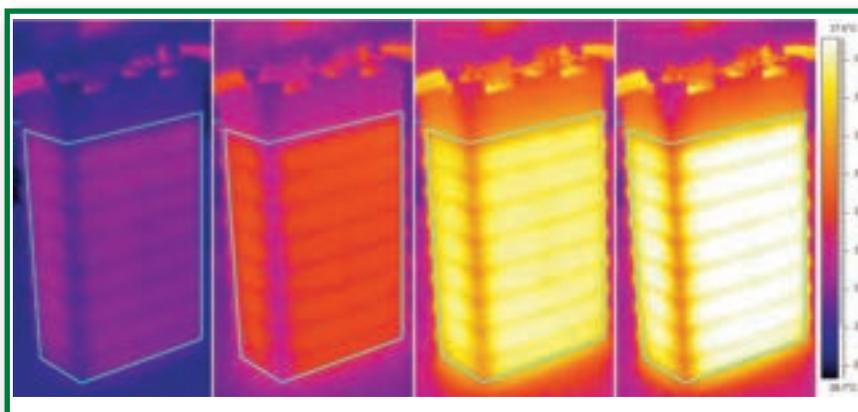
Nel caso specifico della crescente integrazione delle fonti rinnovabili nelle reti elettriche, l'uso dei sistemi di accumulo può significativamente migliorare le prestazioni tecniche ed economiche delle smart grids

in cui tali sistemi sono inseriti. In tal caso, ci sono altre funzioni, aggiuntive a quelle già note (power quality, peak shaving, regolazioni di tensione o frequenza ecc.), che i sistemi di accumulo possono svolgere per rendere ancora più favorevole l'utilizzo delle fonti rinnovabili, in linea con quanto previsto dal

Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale.

Sono di particolare interesse quindi le attività di studio su sistemi di accumulo, alternativi a quelli convenzionali (quale ad esempio il pom-

paggio d'acqua), di tipo elettrochimico (batterie al litio, redox a flusso e metallo - aria) per meglio sostenere i programmi di sviluppo della rete e dell'industria associata, per taglie di potenza inferiori a quelle oggi utilizzate (superiori a 50 MW). Infine una specifica attenzione è posta sulle attività di ricerca relative agli aspetti ambientali e di sicurezza, cercando di intervenire e di proporre soluzioni migliorative all'intera filiera: dalla produzione alle fasi di utilizzo e riciclo finale dei vari sistemi di accumulo. Nella fase di ricerca e produzione le attività si orienteranno sempre più su materiali con ridotto o nullo impatto ambientale e di larga disponibilità. Inoltre l'ottimizzazione dei costi riguarderà anche quelli operativi con l'estensione delle attività sperimentali per verificare una "seconda vita applicativa nelle reti" (second life) alle batterie usate nei veicoli elettrici. L'ENEA è da oltre 20 anni impegnata nella ricerca e nello sviluppo di batterie al litio e relative applicazioni ai veicoli elettrici. Nell'ultimo decennio l'ENEA ha coordinato e svolto due programmi nazionali, con il Ministero della Ricerca Scientifica, per



la ricerca e lo sviluppo di batterie al litio per applicazioni mobili nei veicoli elettrici e nell'elettronica di consumo. Inoltre, l'ENEA è da anni impegnata in progetti europei (tra gli altri, ASTOR, ILLIBATT, HELIOS, HCV, GreenLion, Mars-EV) per la ricerca, lo sviluppo e la caratterizzazione di batterie al litio per applicazioni prevalentemente mobili. L'ENEA rappresenta l'Italia nell'alleanza europea EERA e partecipa a iniziative dell'AEI (Agenzia Internazionale dell'Energia).

OBIETTIVI

L'obiettivo generale di questo progetto è la ricerca, la realizzazione e la verifica sperimentale, di sistemi di

accumulo elettrico con prevalenza per quelli di tipo elettrochimico basati sul litio e quelli ad alta temperatura e redox a flusso, integrati con le fonti rinnovabili. Il raggiungimento dell'obiettivo si basa su un approccio sistemico che consenta di sviluppare i sistemi di accumulo, più adatti a favorire un notevole incremento delle fonti rinnovabili non programmabili.

Infine, la ricerca di nuovi materiali e sistemi per l'accumulo include l'analisi degli aspetti ambientali, cercando di proporre soluzioni migliorative all'intera filiera con la scelta di materiali con ridotto impatto ambientale e costo, e la verifica sperimentale dell'uso delle batterie al litio, già usate nei veicoli elettrici, in una "second life" nelle reti elettriche.



Evaporatore a bombardamento elettronico per la preparazione di anodi con ossido di silicio di celle al litio



Polveri di preparazione di elettrodi per celle al litio. A sinistra: immagine del materiale catodico a base di litio ferro fosfato. A destra immagine della grafite MCMB-G25 per il materiale anodico

RISULTATI

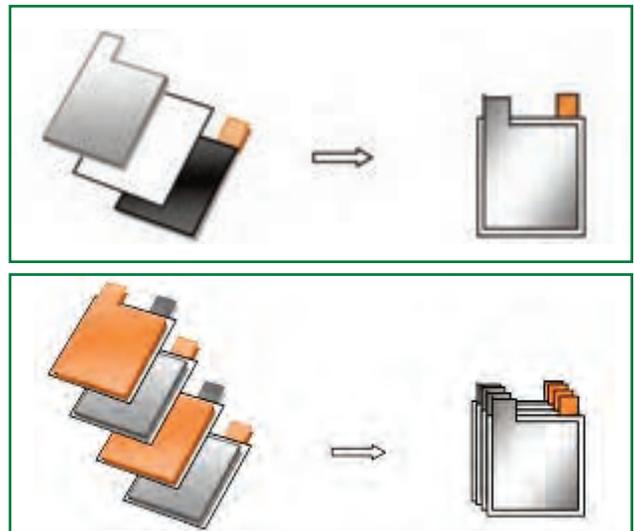
Progettazione, realizzazione e caratterizzazione di celle al litio con materiali innovativi

L'attività riguarda la scelta e l'ottimizzazione dei materiali anodici (ossidi di titanio o di silicio) e catodici (litio ferro fosfato e fosfati di manganese) più innovativi e dei relativi processi di fabbricazione, e loro completa caratterizzazione chimica, fisica ed elettrochimica in celle in scala da laboratorio per la verifica delle prestazioni secondo la procedura sviluppata dal Gruppo di Coordinamento CNR-ENEA-RSE. In parallelo è svolta la verifica delle effettive potenzialità applicative in sistemi di accumulo, lo studio preliminare di materiali anodici a base di grafene che, pur con interessanti prospettive di sviluppi futuri, richiedono ancora attività di ricerca fondamentale. I materiali scelti sono prodotti in quantità adeguate alla realizzazione e caratterizzazione di campioni di elettrodi e di celle da laboratorio (a tre elettrodi o celle bottone). Per gli elettrodi della batteria è svolta attività di ricerca su materiali anodici (grafiti e ossidi di titanio) e catodici (a base di litio ferro fosfato) per la progettazione, realizzazione e prova di celle complete da circa 100 mAh da caratterizzare in laboratorio. Le celle complete sono state fatte nelle due tipologie, di alta energia e di alta potenza, previste dal progetto.

Ricerca e sviluppo di batterie redox a flusso

L'interesse nelle batterie redox a flusso è molto aumentato negli ultimi anni specialmente per l'uso in applicazioni stazionarie. L'unica batteria a flusso che ha raggiunto lo stadio di commercializzazione è la batteria Vanadio/Vanadio. Il principale problema delle celle Vanadio/Vanadio è quello relativo alla concentrazione dei materiali attivi e il fatto che si opera in soluzioni acquose. L'energia specifica della cella è limitata dalle concentrazioni dei materiali attivi. Il potenziale massimo, sia per la Vanadio/Vanadio, che per altre coppie redox proposte, è limitato entro l'intervallo di stabilità elettrochimica dell'acqua.

Per approfondire e superare questi problemi si è provveduto ad allestire un banco di prova completo di pompe, cella elettrochimica, sistemi di gestione elettrochimica e sistemi di acquisizione dati. Tramite tale banco sono stati provati vari elettrodi per valutare l'efficienza energetica e faradica.



In alto: Preparazione di un elemento di batteria al litio ottenuto ponendo tra un elettrodo catodico e uno anodico un foglio di separatore. In basso: schema di preparazione di una batteria ad alto regime di scarica che utilizza quattro celle elementari collegate in parallelo



Componenti della cella redox a flusso Vanadio/Vanadio dopo prove di caratterizzazione

Analisi sperimentali, di identificazione di cicli rappresentativi e di sicurezza di sistemi di accumulo elettrochimico

L'utilizzazione dei sistemi di accumulo elettrochimico nelle reti elettriche richiede una continua e attenta analisi delle effettive modalità operative per ottimizzarne l'uso, le dimensioni e il costo (questi ultimi da ridurre assolutamente) e degli eventuali aspetti di sicurezza durante le varie fasi di acquisizione, trasporto, e utilizzo.

Per proseguire l'acquisizione di dati di funzionalità di sistemi di accumulo commerciali, è stata fatta la progettazione preliminare di un sistema di accumulo stazionario a supporto di una metropolitana leggera, come quella della città di Bergamo composta da tram. L'attività ha permesso di individuare i micro-cicli di funzionamento da utilizzare per prove di laboratorio con profili di potenza ed energia richiesti alla rete

elettrica di alimentazione della metro, che hanno poi consentito di stimare, mediante simulazioni, i vantaggi energetici ed economici ottenibili dall'introduzione di un accumulo.

Sono state eseguite infine le prove di celle al litio, parzialmente usate, per la valutazione sperimentale della "second life" e del comportamento termico, utilizzando cicli sviluppati per le applicazioni in reti elettriche.

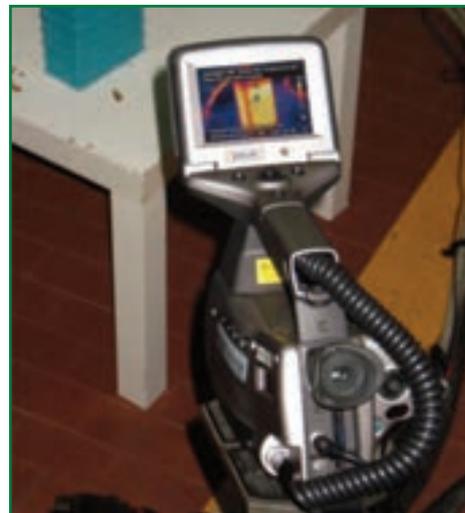
È inoltre stata estesa l'attività sull'analisi della sicurezza nelle varie condizioni di produzione e uso di batterie diverse da quelle al litio, quali le batterie ad alta temperatura.

Recupero di materiali da batterie al litio a fine vita

Il numero sempre crescente di batterie al litio, dovuto alle loro caratteristiche di alta densità energetica, leggerezza e lunga durata di utilizzo, rende il riciclo di tali dispositivi una necessità legata sia agli aspetti ambientali sia a quelli economici per l'alto valore dei materiali utilizzati. Inoltre la direttiva Europea 2006/66/CE sancisce che le pile e gli accumulatori devono essere raccolti e successivamente riciclati. In particolare entro il 2016 si deve raggiungere il 45% di raccolta dell'immesso sul mercato con un target di efficienza del 50% del processo di recupero.

Tuttavia il riciclo delle batterie al litio è un processo complesso costituito da diverse fasi che vanno dall'apertura in sicurezza delle batterie, alla separazione dei diversi componenti, e al recupero dei materiali, in cui sono da valutare e gestire rischi chimici differenti, quali la presenza di metalli a potenziale attività cancerogena, di vapori tossici e di litio metallico anche in forma libera, che può essere causa di incendi ed esplosioni se non adeguatamente gestito.

L'attività di ricerca svolta ha avuto l'obiettivo di progettare e sviluppare due processi alternativi (chimico-fisico e idrometallurgico) di separazione e recupero ecosostenibile dei materiali attivi ottenuti da batterie al litio esauste, anche mediante lo sviluppo di soluzioni innovative. La separazione dei materiali attivi dai relativi supporti metallici e/o plastici è effettuata mediante progettazione di opportune miscele ecologiche di solventi organici studiate ad hoc per le diverse tipologie di materiali attivi, e mediante utilizzo di processi fisici, o tramite un processo chimico di



Analisi termografica di una cella al litio durante le prove di "second life"

solvatazione; tutti processi ecosostenibili. La separazione è una fase critica del processo di riciclo: da essa può dipendere la quantità, la purezza e la struttura del materiale recuperato.

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

Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali

ENEA partecipa a diverse iniziative internazionali, fonte continua di scambio e di orientamento dei programmi e delle attività nazionali sui sistemi di accumulo in batterie per applicazioni mobili e stazionarie. È proseguita la partecipazione alle attività dell'International Energy Agency (IEA) su "Energy Conservation through Energy Storage". Si è intensificata la partecipazione all'alleanza europea EERA (European Energy Research Alliance), contribuendo principalmente al tema "Energy storage" e marginalmente a quello sulle "Smart Grids". Infine, si è partecipato alle collaborazioni scientifiche e tecnologiche sull'accumulo, promosse dal circuito COST (Cooperazione Scientifica e Tecnologica a livello europeo) con l'azione MP1004 "Hybrid Energy Storage Devices and Systems for Mobile and Stationary Applications".

Area di ricerca: Governo, Gestione e Sviluppo del Sistema elettrico nazionale

Progetto A.4: Sistemi avanzati di accumulo dell'energia

Referente: M. Conte, mario.conte@enea.it



Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili

SCENARIO DI RIFERIMENTO

Le biomasse, una risorsa energetica ben distribuita e spesso ampiamente disponibile a livello locale, possono essere trasformate in energia o combustibili con diverse tecnologie. In particolare, le biomasse fermentescibili possono essere convertite in biogas tramite il processo di digestione anaerobica (DA), mentre quelle legnose possono essere utilizzate direttamente come combustibili o gassificate per ottenere syngas. Il biogas e il syngas vengono poi impiegati in sistemi cogenerativi di piccola-media taglia per la produzione distribuita di energia elettrica e calore. Tali sistemi devono basarsi su impianti affidabili, di facile gestione e competitivi, e il loro sviluppo richiede quindi l'ottimizzazione dei processi di produzione e purificazione del gas, la messa a punto di tecnologie di cogenerazione a elevata efficienza e l'integrazione tra i vari sottosistemi. Il biogas, se sottoposto a opportuni trattamenti di purificazione e rimozione della CO₂, può anche essere immesso, con il nome di "biometano", nella rete di distribuzione del gas naturale, mentre il syngas, dopo adeguati processi di pulizia, può essere a sua volta utilizzato per la produzione di biocombustibili liquidi (BTL) o gassosi (SNG). Nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico, l'ENEA ha condotto numerose attività di ricerca e sviluppo tecnologico nel campo dei processi di DA e delle tecnologie per il clean-up e l'upgrading del biogas e del syngas, con l'obiettivo di arrivare alla loro validazione in impianti pilota su cui testare processi, materiali e componenti innovativi.



OBIETTIVI

L'obiettivo principale del progetto è quello di contribuire alla messa a punto di sistemi per la valorizzazione energetica delle biomasse, sia incrementando la produzione di biogas ottenibile, sia migliorando l'efficienza di trasformazione di uno spettro più ampio di matrici organiche (uso di biomassa algale, scarti e residui lignocellulosici, specie vegetali coltivabili in terreni marginali), da utilizzare per la co-generazione di elettricità e calore in sistemi decentralizzati di piccola-media taglia o, previo un opportuno trattamento di clean-up e upgrading, per l'immissione come biometano nella rete nazionale di distribuzione del gas naturale. Le relative attività includono l'ottimizzazione di sistemi di cogenerazione pre-commerciale a elevato rendimento basati sulla tecnologia della gassificazione, anche con acqua in condizioni supercritiche, o della combustione in dispositivi innovativi (caldaie a sali fusi) per disporre in prospettiva di vettori energetici ad alta temperatura, anche oltre i 450 °C, con valutazioni di cicli termodinamici innovativi per incrementare sia le rese elettriche che quelle cogenerative. Un altro obiettivo è quello di ridurre i livelli di emissioni del particolato fine dagli impianti di combustione di biomasse solide di piccola-media taglia, individuando nuovi sistemi di abbattimento basati su processi di rimozione catalitici dei suddetti inquinanti.



Fotobioreattore a sacco in stadi successivi di sviluppo e agitatore a pale posizionato in vasca di accrescimento di colture di microalghe



Monolite con V_2O_5 per l'ossidazione selettiva dell' H_2S

RISULTATI

Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili

Le attività di ricerca riguardano processi di digestione anaerobica alimentati con mix di biomasse a maggior contenuto lignocellulosico e/o colture algali, anche per incrementarne la produzione in idrogeno e metano. La tecnologia oggetto della ricerca si basa su un processo di DA a doppio stadio, che prevede l'impiego di un impianto pilota di scala laboratorio, realizzato e messo a punto nel corso delle precedenti annualità della RdS, costituito da un reattore biologico separato in cui avviene la degradazione (idrolisi e acidogenesi) dei materiali organici di qualsiasi provenienza, e da un secondo reattore di metanogenesi per la produzione di biogas. Il piano sperimentale è stato impostato con la finalità di ridurre i tempi di ritenzione idraulica del II stadio ($HRT = 7,5$ giorni), rispetto alla passata sperimentazione ($HRT =$ circa 15 giorni) tramite l'utilizzo di un ricircolo in discontinuo del digestato stesso, con una portata (L/d) uguale a quella del substrato in ingresso. Le attività relative alla ottimizzazione del processo di DA a doppio stadio sono state effettuate alimentando l'impianto pilota esclusivamente con scotta, che è un effluente di scarto delle industrie casearie.

Parallelamente, sono stati studiati processi semplificati e a basso costo per la produzione di microalghe in connessione a impianti di biogas, sfruttando le capacità fertilizzanti di un sottoprodotto della digestione anaerobica, denominato "digestato liquido" e utilizzando la biomassa così prodotta per ottenere nuovo biogas, mediante un'operazione di riciclo di nutrienti.

Le attività di ricerca sono state indirizzate verso una più larga scala rispetto a quanto fatto in precedenza, focalizzandosi sulla produzione algale in vasche del volume di circa 1.500 litri, protette da una serra. Tali vasche sono state realizzate utilizzando la struttura di economiche piscine fuori terra opportunamente adattate con attrezzature utili allo scopo della coltivazione microalgale e poste in condizioni ambientali ottimali, con controllo su temperature e illuminazione, oltre che su vento e precipitazioni.

Sono state svolte ulteriori attività riguardanti le prestazioni e l'affidabilità dei processi di gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCW) di biomasse a elevato contenuto idrico per la produzione di syngas con caratteristiche chimico-fisiche tali da renderlo idoneo per applicazioni energetiche. Il lavoro svolto ha riguardato la modellazione termodinamica, il cui scopo è la valutazione delle caratteristiche del gas ottenuto, il confronto delle prestazioni del processo di gassificazione in SCW di differenti biomasse di interesse e la valutazione energetica del processo, nonché l'analisi sperimentale su un impianto bench scale al variare delle principali condizioni operative in modo da verificare le performance del processo sulle differenti matrici.

Sviluppo dei sistemi di produzione di energia elettrica e cogenerativi

In questa linea di attività ci si è occupati dell'arricchimento del biogas in metano e della rimozione dei contaminanti, in particolare H_2S , fino a livelli tali da consentirne l'immissione nella rete di distribuzione del gas naturale.

Per la rimozione dell' H_2S sono state individuate e poste a confronto due diverse tecnologie chimico-fisiche basate sull'utilizzo di carboni attivi (processo di adsorbimento) e di ossidi metallici (ossidazione

catalitica). Per entrambi i processi gli studi sono continuati sia a livello di laboratorio, con l'obiettivo di massimizzare la quantità di H₂S rimosso dal biogas a parità di carbone o catalizzatore utilizzando minimizzando i consumi energetici, che su dispositivi accoppiati direttamente ad un impianto pilota di DA.

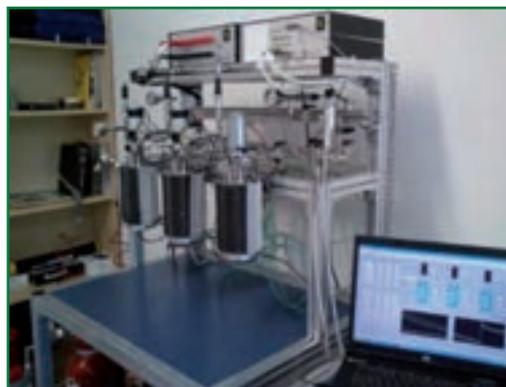
Sono poi proseguite le attività di ricerca sulla rimozione dell'H₂S con un processo biologico di fotosintesi anossigenica, realizzata in un apposito dispositivo di filtrazione del biogas illuminato con lampade LED a determinate lunghezze d'onda, con risultati molto interessanti in quanto l'abbattimento, anche se non totale, avviene anche a concentrazione elevate di H₂S (intorno a 2.000 p.p.m.) e con un basso consumo di energia (1 W/m²).

Le attività relative ai processi di upgrading del biogas a biometano hanno avuto come oggetto l'impiego di ammine in un solvente organico protico, che permette di superare i limiti del processo di assorbimento con ammine in acqua, soprattutto grazie alla possibilità di operare il desorbimento della CO₂ a temperatura più bassa (≤ 90 °C), riducendo in questo modo la perdita di ammina per evaporazione e degradazione, la corrosione degli impianti e il consumo di energia per la rigenerazione.

In particolare, è stato preso in esame l'uso di ammine stericamente impedito, come il 2-ammino-2-metil-1-propanolo (AMP) in miscele di glicol etilenico e propanolo, con una sperimentazione finalizzata a valutare la capacità di assorbimento della CO₂ nella soluzione amminica a diverse condizioni operative, la cinetica di assorbimento e le modalità di un'efficace rigenerazione.

Una seconda linea di attività ha invece riguardato lo studio di processi di separazione della CO₂ dal metano mediante la formazione/dissociazione di gas idrati, realizzata con l'impiego di particolari reattori a pressione, che ha dato risultati molto promettenti, da validare con ulteriori prove sperimentali.

Altre attività di ricerca sono poi state condotte sul processo di purificazione e di metanazione del syngas prodotto da un impianto di gassificazione. Nei processi di gassificazione della biomassa il gas prodotto presenta rapporti H₂/CO inferiori a quelli indicati dalla stechiometria della reazione di metanazione (3:1) in quanto, in relazione alla tecnologia di gassificazione adottata e alle condizioni di processo, raggiunge al più un rapporto H₂/CO pari a 2. Per una ottimale conversione del syngas in metano si richiede pertanto un condizionamento della sua composizione a valori più favorevoli, e a tal fine è stata svolta, sull'impianto pilota di biometanazione BIOSNG realiz-



Reattori sperimentali per la produzione di biometano da biogas mediante formazione/dissociazione di gas idrati

zato da ENEA presso i propri laboratori del C.R. Trisaia, un'attività sperimentale rivolta all'aggiustamento della composizione del syngas mediante assorbimento della CO₂, prodotta dalla reazione di water gas shift (WSG), e all'incremento delle rese di conversione in metano con l'impiego di specifici catalizzatori.

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

Sono state prese in esame caldaie a sali fusi ad alta temperatura (> 450 °C) alimentate con biomassa lignocellulosica per impianti di produzione di energia elettrica e co/trigenerazione di piccola-media taglia basati su cicli termici con vapore d'acqua o con nuovi fluidi operanti ad un livello termico superiore a quelli attualmente in uso.

Riguardo al fluido sono state selezionate come potenzialmente interessanti una miscela ternaria contenente calcio nitrate (Ca(NO₂)₂/NaNO₃/KNO₃ 42,2/15,3/42,5% in peso), una con nitrito di sodio (prodotto commerciale denominato HITECH© salt, NaNO₃/KNO₃/NaNO₂ 7/53/40% in peso), e una con nitrate di litio (NaNO₃/KNO₃/LiNO₃ 18/52/30 in percentuale in peso). Dati il basso costo, il basso punto

di inizio solidificazione e la relativa facile reperibilità, la miscela ternaria con il nitrato di calcio si può ritenere la più promettente per questo scopo, per l'utilizzo sia come fluido di trasporto termico che di storage.

È stata infine studiata la rimozione del particolato fine e degli inquinanti organici dalle emissioni gassose della combustione delle biomasse solide mediante la caratterizzazione e la verifica sperimentale di filtri ceramici porosi per la riduzione delle emissioni inquinanti, con particolare riferimento al particolato e ad inquinanti gassosi quali CO e Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA). Presso il Centro Ricerche ENEA di Saluggia sono state effettuate prove sperimentali su prototipi in scala di laboratorio di filtri catalitici tipo wall flow, esaminando il loro comportamento a contatto diretto con i fumi di combustione di una caldaia alimentata a pellet di legno. Le attività sperimentali finora condotte hanno dimostrato una elevata efficienza di abbattimento del particolato ad opera dei filtri catalitici in carburo di silicio e ferrite di rame.

Comunicazione e diffusione dei risultati

Oltre alla divulgazione dei contenuti e dei risultati delle attività di ricerca, ENEA è impegnata in attività di supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali.

In particolare, ENEA ha partecipato, in rappresentanza dell'Italia, all'Implementing Agreement dell'Agencia Internazionale dell'Energia (IEA) sulla Bioenergia (<http://www.ieabioenergy.com>), nonché ad alcune iniziative sulle tematiche del presente progetto nell'ambito della European Energy Research Alliance (EERA).

Per il Bioenergy Implementing Agreement l'ENEA ha coordinato, insieme al GSE, il contributo delle altre strutture nazionali interessate e partecipato direttamente alle attività dell'Executive Committee e delle seguenti Task:

- Task 33 - Thermal gasification of biomass (<http://www.ieabioenergy.com/Task.aspx?id=33>),
- Task 42 - Biorefineries: co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass (<http://www.ieabioenergy.com/Task.aspx?id=42>).

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.1.1: Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili

Referente: V. Pignatelli, vito.pignatelli@enea.it



Impianto pilota BioSNG



Filtri realizzati per le prove di abbattimento degli inquinanti nei fumi di combustione allo scarico della caldaia a biomassa presso ENEA Saluggia



Energia elettrica da fonte solare Celle fotovoltaiche innovative

SCENARIO DI RIFERIMENTO

L'attività di ricerca punta a innovare alcune delle attuali tecnologie fotovoltaiche (FV) per ottenere dei prodotti che abbiano caratteristiche competitive in termini di prestazioni e costi. Negli ultimi anni i prezzi degli impianti fotovoltaici si sono ridotti grazie soprattutto all'incremento della produzione, con la creazione di grandi unità produttive in Asia che ha determinato una diminuzione del costo di fabbricazione dei moduli. Tuttavia solo l'abbassamento di tali costi a valori inferiori a 0,5 €/Wh potrà favorire l'affermarsi



di questa tecnologia a prescindere dai sistemi incentivanti. Le tecnologie fotovoltaiche basate su film sottili di materiale semiconduttore presentano grandi potenzialità di riduzione di costo attraverso il miglioramento delle prestazioni degli attuali moduli a film sottile, superando le difficoltà di alcune tecnologie legate all'utilizzo di materiali scarsamente disponibili, e grazie allo sviluppo di nuovi moduli basati su materiali organici. I moduli a film sottile di silicio hanno acquistato un rilievo crescente grazie a una nuova generazione di dispositivi, le cosiddette celle solari tandem "micromorfe", realizzate utilizzando una giunzione anteriore di silicio amorfo e una posteriore di silicio microcristallino. Attualmente molte ricerche sono condotte sullo sviluppo di celle a tripla giunzione e di idonee strategie di intrappolamento della luce nel dispositivo con lo scopo di migliorare ulteriormente l'efficienza del prodotto. Sempre nell'ottica di utilizzare piccole quantità di silicio e processi a bassa temperatura, è interessante studiare dispositivi a eterogiunzione (a-Si/c-Si) che utilizzino wafer sottili di silicio cristallino. Anche in questo

caso l'architettura del dispositivo è determinante per ottenere un buon assorbimento della radiazione solare. L'attività sui film sottili policristallini di Cu₂-II-IV-VI₄ parte dall'idea di valutare la possibilità di sostituire l'indio, utilizzato nella tecnologia fotovoltaica a film sottile basata sulla lega CIGS (Copper-indium-gallium-selenide), con coppie di elementi II-IV della tavola periodica, conservando alti valori di efficienza del dispositivo. Questo potrebbe favorire un'espansione del mercato per tale tecnologia, risolvendo i potenziali

problemi dovuti alla scarsità dell'indio. D'altro canto, lo sviluppo di celle organiche è auspicabile per ottenere dispositivi di bassissimo costo, considerata l'economicità e abbondanza dei materiali precursori.

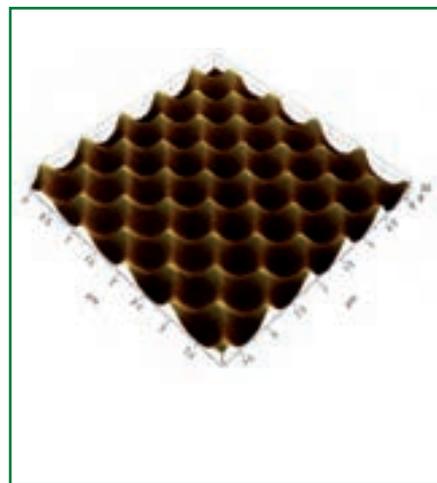
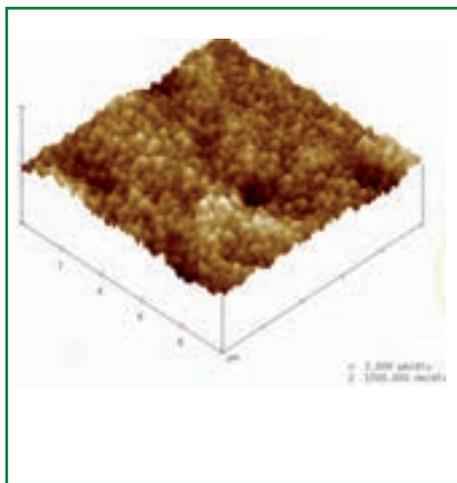
OBIETTIVI

Il progetto ha l'obiettivo di promuovere lo sviluppo di tecnologie innovative ritenute potenzialmente interessanti per la realizzazione di moduli fotovoltaici caratterizzati da buone efficienze di conversione e bassi costi di produzione. Lo scopo delle attività è quello di mettere a disposizione del Paese tecnologie fotovoltaiche avanzate che possano contribuire a rendere il sistema produttivo nazionale innovativo e competitivo in questo settore. L'attività è focalizzata sullo sviluppo di tecnologie FV a film sottile di materiali semiconduttori, prestando attenzione all'utilizzo di materiali a basso costo, ampiamente disponibili e non tossici. In particolare le attività sono state concentrate sullo sviluppo di celle solari a film sottili inorganici a base di silicio e di film policri-

stallini di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) e sullo sviluppo di celle solari organiche. Nell'ambito delle attività sui film sottili di silicio è previsto lo sviluppo di uno strato assorbitore innovativo ad alta gap a base di ossido di silicio che possa essere utile applicato in celle a multigiunzione, consentendo, inoltre, di incrementare la tensione di circuito aperto del dispositivo. Inoltre, per migliorare l'assorbimento della radiazione solare, si intende implementare soluzioni innovative sviluppate sia per il contatto frontale che per quello posteriore della cella. Riguardo le celle solari a eterogiunzione in silicio su wafer sottili di tipo p, l'attività ricerca è dedicata all'ottimizzazione del contatto frontale e dello strato passivante intrinseco utilizzato all'interfaccia tra il wafer di silicio e l'emitter innovativo di tipo n a base di ossido di silicio sviluppato nelle precedenti annualità. Nell'ambito dello sviluppo di celle solari a film sottile policristallino di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), sono esplorate diverse strade per aumentare l'efficienza delle celle fotovoltaiche. In particolare si vuole indagare l'influenza di vari parametri e step di processo e della stechiometria del CZTS sulle prestazioni dei dispositivi. Parallelamente si intende investigare una tecnica alternativa per la deposizione del CZTS da soluzioni. È previsto, infine, uno studio di materiali per celle solari tandem CZTS/c-Si. In particolare si vuole valutare quali materiali possano essere utilizzati per la costruzione della giunzione tunnel necessaria a connettere le due celle. Lo sviluppo di celle fotovoltaiche organiche ha l'obiettivo di migliorare le prestazioni delle celle stesse seguendo due possibili strategie: ampliare lo spettro della radiazione solare efficacemente utilizzato dai dispositivi e migliorare il trasporto elettrico delle cariche.

In sintesi gli obiettivi della ricerca sono:

- sviluppare materiali e architetture di dispositivo per celle solari a multigiunzione,
- sviluppare celle a eterogiunzione a-Si/c-Si,
- sviluppare materiali e celle a film sottili policristallini a base di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$,
- sviluppare celle organiche.



Immagini AFM di ZnO:B depositato per LPCVD su vetro testurizzato mediante tecnica Aluminum Induced Texture (sinistra) e di un substrato di vetro nanostrutturato opportunamente progettato (destra)

RISULTATI

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

L'attività sulle celle solari a film sottile di silicio ha avuto l'obiettivo di sviluppare materiali innovativi e appropriate architetture di dispositivo con lo scopo di migliorare le attuali prestazioni delle celle. In particolare è stato sviluppato uno strato assorbitore innovativo ad alta gap di energia a base di ossido di silicio amorfo idrogenato depositato mediante tecnica VHF PECVD. Utilizzando tale materiale come strato assorbitore in celle a singola giunzione p-i-n è stata misurata una tensione massima di circuito aperto superiore a 1 V. Per quanto riguarda le strategie per ottenere un efficace intrappolamento della radiazione solare nel dispositivo, è stato sviluppato un modello numerico per la progettazione di riflettori posteriori per celle solari a film sottile di silicio, testandolo su celle realizzate su substrati nanostrutturati. Sono state, infine, indagate due differenti tecniche, Aluminum Induced Texture e attacco chimico, per sviluppare vetri testurizzati. Entrambe le tecniche sembrano essere promettenti al fine di sviluppare elettrodi frontali ad alta efficacia di scattering ottico da utilizzare come substrati nell'industria del fotovoltaico a film sottile.

Celle a eterogiunzione a-Si/c-Si

La ricerca condotta sullo sviluppo di celle solari a eterogiunzione in silicio è proseguita lavorando all'ottimizzazione del contatto frontale e dello strato passivante intrinseco utilizzato all'interfaccia tra il wafer di silicio e l'emitter. Per quanto riguarda il con-



Architettura (sinistra) e immagine (destra) del dispositivo di test ad eterogiunzione a-Si/c-Si

tatto frontale, sono state ottimizzate le proprietà dell'ossido trasparente e conduttore (TCO) e si è lavorato all'ottimizzazione del contatto TCO/Ag serigrafico.

Per quanto riguarda la passivazione della superficie del c-Si, è stato condotto uno studio sistematico delle proprietà passivanti di film sottili di silicio amorfo idrogenato depositati mediante VHF PECVD in varie condizioni di processo, variando in particolare la composizione dei gas di processo e la frequenza di eccitazione del plasma. In alternativa allo strato intrinseco in silicio amorfo si è anche condotto uno studio preliminare sulla passivazione con il più trasparente ossido di silicio amorfo ottenuto in vari regimi di crescita. Per valutare le proprietà passivanti degli strati studiati, essi sono stati utilizzati per la fabbricazione di dispositivi ad eterogiunzione, utilizzando una struttura test non ottimizzata in termini sia di contatto frontale che posteriore. Su tali dispositivi è stata misurata un'efficienza massima del 17,4% su area attiva che consente di ritenere che efficienze di conversione > 18% possano essere ottenute a breve con l'architettura ottimizzata.

Celle a film sottili policristallini a base di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS)

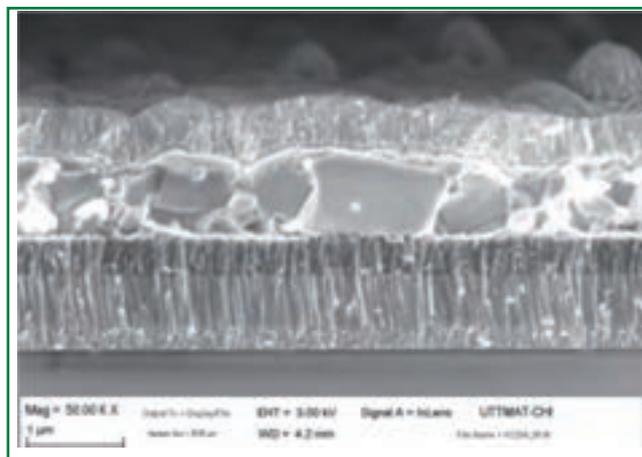
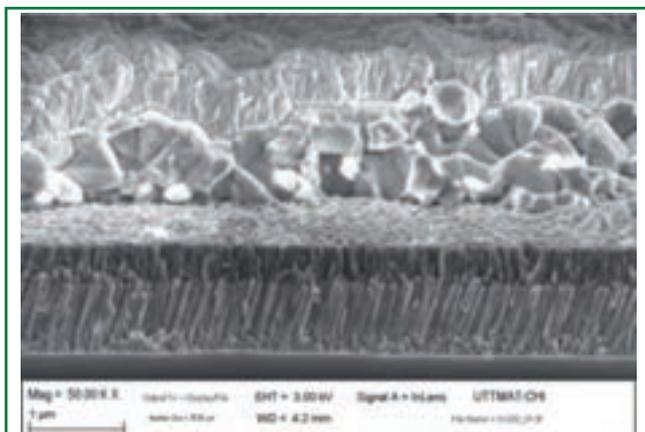
Nell'ambito dello sviluppo di celle solari a film sottile di CZTS, sono state esplorate diverse strade per aumentare l'efficienza delle celle FV. In particolare si è lavorato all'ottimizzazione della stechiometria del CZTS, servendosi anche di array di dispositivi fotovoltaici caratterizzati da materiali con stechiometrie diverse. Sono stati indagati inoltre vari parametri e step di processo (pressione di sputtering dei precursori, interfaccia CZTS/Mo, processo di deposizione del CdS ecc.). I risultati ottenuti hanno consentito di individuare i problemi più importanti su cui concentrare le future sperimentazioni e consolidare le attuali

efficienze di conversione fotovoltaica intorno al 6% su un consistente numero di campioni. Nell'ambito, poi, dello sviluppo di tecniche di deposizione del CZTS da liquido, è proseguito il lavoro di ottimizzazione del processo di deposizione del CZTS da soluzioni mediante dip-coating e si è dato inizio ad un nuovo filone di attività sulla preparazione di dispersioni di nanoparticelle di CZTS e sul loro utilizzo per la crescita di film compatti da usare per la realizzazione di dispositivi fotovoltaici.

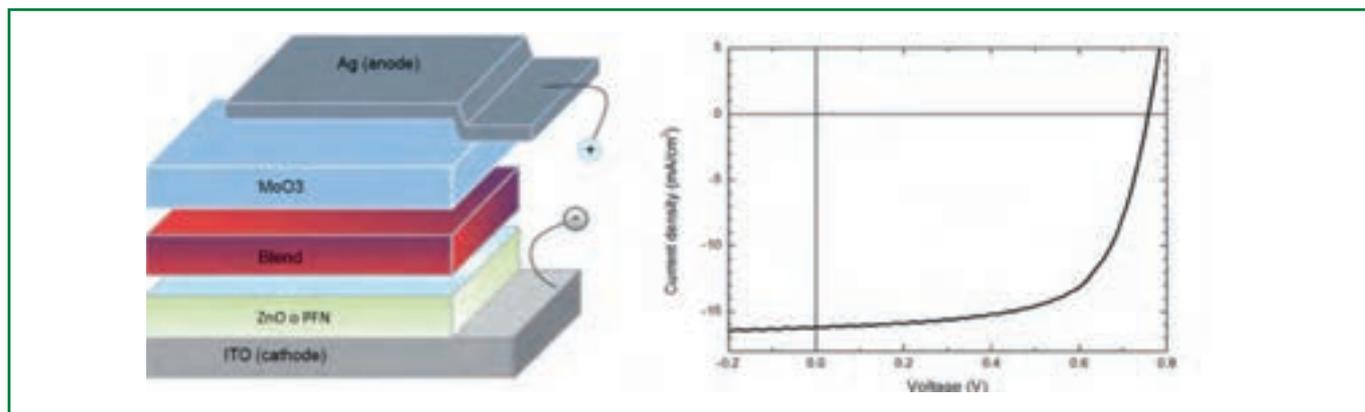
È iniziato, infine, uno studio di materiali per celle solari tandem CZTS/c-Si. In particolare si è cercato di valutare quali materiali possano essere utilizzati per la costruzione della giunzione tunnel necessaria a connettere le due celle. Il lavoro, in fase preliminare, ha indagato alcune possibilità: il drogaggio di tipo p del CZTS, l'utilizzo di uno strato di MoO_3 o di uno strato di NiO.

Sviluppo di celle organiche

Le attività di ricerca sono rivolte al superamento dei limiti di conversione delle celle fotovoltaiche organiche proponendo soluzioni in grado di apportare miglioramenti all'efficienza dei dispositivi. In particolare si è indagata la possibilità di ampliare lo spettro della radiazione solare efficacemente utilizzato dai dispositivi e migliorare il trasporto elettrico delle cariche. Per quanto riguarda il primo approccio sono stati sviluppati strati luminescenti in grado di convertire lunghezze d'onda a più alta energia, non efficientemente assorbite dal materiale attivo, in fotoni di energia compresa nell'intervallo spettrale di assorbimento delle celle organiche. Sono state sviluppate differenti tipologie di materiali da applicare esternamente al cuore del dispositivo o come strati intermedi tra il contatto frontale e lo strato assorbente della cella. Quest'ultima soluzione ha consentito di ottenere dispositivi sui quali è stata misurata un'effi-



Immagini SEM della sezione di due celle in CZTS fabbricate da precursori ottenuti in condizioni differenti di sputtering



Schema di una cella polimerica a struttura inversa (sinistra) e caratteristica J-V della cella solare sulla quale è stata misurata un'efficienza di 8,04%

cienza di conversione di poco superiore all'8%. Sono continuati, inoltre, gli studi sullo sviluppo di nanocompositi a base di copolimeri a blocchi nanostrutturati da utilizzare come matrice per l'infiltrazione selettiva di molecole organiche attive in modo da sfruttare al meglio le potenzialità dei materiali assorbitori.

Comunicazione e diffusione dei risultati e collaborazioni internazionali

L'ENEA è impegnata nelle attività svolte nel "Photovoltaic Power Systems Programme" della IEA, in qualità di rappresentante Italiano, ed è inserita in un gruppo di lavoro il cui obiettivo principale è quello di

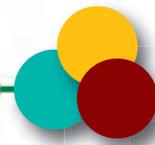
favorire la penetrazione del fotovoltaico nelle reti elettriche, tenendo conto delle problematiche tecniche legate all'uso dei generatori FV nelle reti di trasmissione e distribuzione, inclusi i servizi ancillari e di rete da loro richiesti.

L'ENEA ha curato l'organizzazione del workshop "Stato e Prospettive del Fotovoltaico in Italia" (ENEA-Roma, 26 giugno 2014) e si è impegnata nella divulgazione dell'attività di ricerca attraverso pubblicazioni e presentazioni a conferenze e convegni del settore.

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.1.3: Energia elettrica da fonte solare – Celle fotovoltaiche innovative

Referente: P. Delli Veneri, paola.delliveneri@enea.it



Energia elettrica da fonte solare Solare termodinamico

SCENARIO DI RIFERIMENTO

Le attività di ricerca, inquadrare nell'ambito più generale dello sviluppo e diffusione dell'uso delle fonti rinnovabili di energia, si riferiscono alla produzione di energia elettrica da radiazione solare mediante tecnologia a concentrazione ad alta temperatura, sinteticamente denominata "Solare termodinamico". Gli impianti a "Solare termodinamico" utilizzano opportuni sistemi ottici (concentratori) per raccogliere la radiazione solare e inviarla su un componente (ricevitore), dove questa energia, trasformata in calore ad alta temperatura, viene trasferita a un fluido. Questo calore può essere integrato con altra fonte esterna di energia (ad es. gas o biomassa) per la produzione di energia elettrica o per essere utilizzato a più alta temperatura in processi industriali. La tecnologia disponibile consente anche l'accumulo del calore per un successivo utilizzo. Secondo la forma dei concentratori, possiamo distinguere tre diversi tipologie di impianti: a disco parabolico, a torre centrale e a collettore lineare parabolico o Fresnel. Allo stato attuale la tecnologia più diffusa è quella dei collettori parabolici lineari. In quest'ambito l'ENEA ha sviluppato una propria originale linea tecnologica ad alta temperatura caratterizzata dall'utilizzo di sali fusi come fluido di processo e come mezzo di accumulo termico. La collaborazione con l'industria nazionale ha permesso di sviluppare una filiera industriale, portando, tra l'altro, alla realizzazione in Sicilia (Priolo Gargallo SR), da parte di ENEL, dell'impianto da 5 MW "Archimede" integrato con un ciclo combinato a gas. La ricerca sul solare termodinamico ha come obiettivo principale la riduzione dei costi per rendere questi impianti sem-



pre più competitivi rispetto alla produzione elettrica con i tradizionali combustibili fossili. Questo può essere realizzato sia attraverso il miglioramento dell'efficienza dei principali componenti e sistemi che con la semplificazione impiantistica e il miglioramento delle procedure di gestione e manutenzione.

L'attenzione deve essere posta, oltre che ai grossi impianti di produzione di energia elettrica, anche a sistemi di piccola e media taglia per la produzione combinata di energia elettrica e termica, eventualmente ibridizzati

con un'altra fonte energetica meglio se rinnovabile.

OBIETTIVI

Gli obiettivi dell'attività riguardano:

- Lo sviluppo di nuovi coating del tubo ricevitore caratterizzati da una migliore efficienza di conversione foto-termica (alta assorbanza solare e bassa emissività termica), utilizzando la tecnologia dei filtri ottici del tipo interferenziali.
- Lo studio, nell'ambito della tecnologia solare a collettori parabolici lineari, di nuove configurazioni impiantistiche alternative a quelle attuali, per individuare quelle più promettenti sia dal punto di vista dell'efficienza e produttività che dei costi di realizzazione e di esercizio. Le analisi mirano a confrontare in particolare l'utilizzo di fluidi termici diversi (miscele binarie/ternarie di sali fusi, fluidi gassosi e acqua) e tipologie diverse di accumulo termico (a calore sensibile o a cambiamento di fase), in funzione della taglia dell'impianto e delle temperature operative.

- Lo sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti solari termodinamici di piccola e media taglia, in particolare sistemi cogenerativi innovativi che sfruttano l'accoppiamento diretto con il sistema di accumulo termico a sali fusi ad alta temperatura; questi sistemi possono essere utilizzati anche come emergenza in impianti di grossa taglia.

RISULTATI

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

Nell'ambito delle attività già espletate assume particolare rilievo la realizzazione di un impianto prototipale di sputtering dell'ENEA sul quale è ora possibile condurre processi di deposizione di tipo IBAD (Ion Beam Assisted Deposition). La nuova tecnologia consente di migliorare non solo le prestazioni fototermiche del coating (alta assorbanza e bassa emissività), ma anche la durabilità e affidabilità del componente. Le attività di ricerca e sviluppo sono rivolte alla realizzazione di film metallici molto sottili, dell'ordine di qualche nanometro, da impiegare in filtri interferenziali multistrato ceramico-metallico in modo da migliorare le prestazioni fototermiche dei tubi ricevitori per impianti solari termodinamici a collettori parabolici lineari (Parabolic Trough). In particolare l'attenzione è rivolta alla realizzazione di strati di ossidi e nitruri d'Alluminio di buona qualità ottica mediante la tecnica del MetaMode. Il MetaMode consiste nel depositare sul substrato, con tecnica magnetron sputtering in gas Argon, uno strato molto sottile di metallo nella "zona di deposizione" della camera di processo e, successivamente, nell'ossidare (ovvero nitrurare) questo strato mediante l'azione di una sorgente ionica installata nella "zona di reazione" della stessa camera e "alimentata" da specie reattive quali O_2 o N_2 . Alternando deposizione e ossidazione (o nitrurazione) del metallo, vengono fabbricati strati di ossido (ovvero nitruro) dello spessore desiderato.

Studio di sistemi alternativi di accumulo termico

Le attività riguardano lo studio, nell'ambito della tecnologia solare a collettori parabolici lineari, di nuovi sistemi di accumulo termico. In particolare è valutata la possibilità di realizzare un accumulo termico in impianti che utilizzano gas come fluido termovettore e sono stati analizzati nuovi sistemi di accumulo termico a calore sensibile che utilizzano sia materiali



Sezione di deposizione dell'impianto di sputtering ENEA: in primo piano l'interflangia per l'installazione della sorgente ionica KRI EH200/MHC1000

inerti (es. cementi speciali) che miscele di materiali a cambiamento di fase PCM (Phase Change Materials) con aggiunta di nanoparticelle per migliorare le proprietà termiche. Sono analizzate soluzioni impiantistiche alternative per un impianto solare termodinamico ad alta temperatura a collettori parabolici lineari. Tra le varie soluzioni vi è la possibilità di utilizzare un fluido gassoso come fluido termovettore per alimentare il campo solare e produrre energia elettrica tramite un ciclo termodinamico Brayton. Sono analizzati diversi gas potenzialmente utilizzabili per la raccolta di calore solare ad alta temperatura e pressione: CO_2 , N_2 , He e aria secca. La scelta del fluido ottimale è fatta sulla base di considerazioni tecnico-economiche che permettono di stabilire che l'aria secca è la soluzione più vantaggiosa per questa applicazione. Tenendo conto che per un impianto solare l'accumulo termico è la soluzione impiantistica che permette di dare continuità alla produzione di energia elettrica anche in assenza di radiazione solare l'attività si concentra sullo sviluppo di un sistema di accumulo termico innovativo, a calore sensibile, basato sull'utilizzo di materiale solido in forma di sfere (pebble bed), racchiuso in opportuni contenitori, per accumulare calore ad alta temperatura e pressione (almeno $550\text{ }^\circ\text{C}$ e 80 bar).

Un mezzo di accumulo a calore latente con temperatura di fusione prossima ai $200\text{-}250\text{ }^\circ\text{C}$ è stato selezionato, prodotto nelle opportune quantità, e completamente caratterizzato, con particolare riferimento alla diffusività/conducibilità termica, alla sua stabilità nel tempo (durabilità) e a tutte quelle proprietà fisiche e termo-meccaniche necessarie nonché alla sua compatibilità con i materiali di contenimento



Fornaci impiegate per effettuare i test di corrosione su acciai in bagno di sali nitrati a 550 °C



(corrosione di acciai di tipo AISI 316). Inoltre è stato sviluppato un metodo di produzione di nanoPCM, che sia in grado di fornire in tempi brevi le quantità richieste (semi-industriale) mantenendo inalterate le caratteristiche del prodotto (rispetto dei protocolli). In particolare le attività hanno riguardato la selezione e caratterizzazione del mezzo di accumulo e la sua compatibilità chimica con i materiali di contenimento e attività connesse alla sintesi, ai protocolli di miscelamento, alla metodologia di produzione e alla sua effettiva produzione. È stato infine progettato un sistema elementare di accumulo termico a cambiamento di fase funzionante a media temperatura (circa 250 °C) e della sezione di prova necessaria alla verifica delle condizioni di scambio termico che si instaurano.

Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia

Le attività riguardano, nel caso di applicazioni del solare termodinamico a impianti co-generativi di piccola taglia (< 1 MWe), lo studio e la progettazione di sistemi per generazione di energia elettrica di piccole dimensioni basati sull'esclusivo uso di energia termica da prelevare dal sistema di accumulo. Utilizzando come sistema di accumulo il serbatoio a sali fusi dell'impianto PCS e il suo generatore di vapore interno, sono state analizzate diverse soluzioni, è



Impianto per il test di elementi di accumulo a calore latente: vista dell'impianto ed alcuni componenti (termostato di circolazione, tubo alettato, elementi di accumulo)



Circuito SOLTECA per il test di elementi di accumulo termico in calcestruzzo

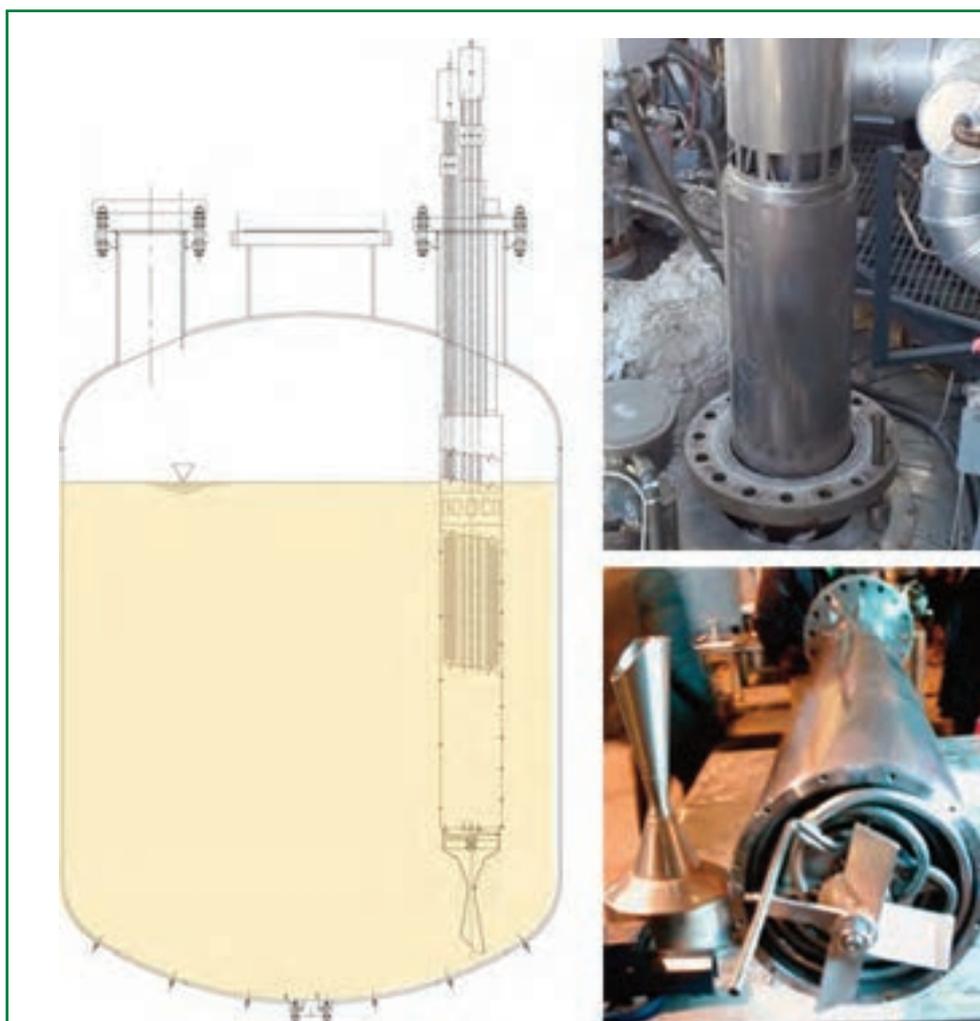
stata scelta quella migliore ed è stato realizzato il progetto preliminare. È stata infine effettuata la caratterizzazione termica del serbatoio di accumulo a sali fusi dell’Impianto Sperimentale PCS in condizioni reali di esercizio del sistema, sia in stazionario che in transitorio con l’installazione e l’effettuazione di prove preliminari di caratterizzazione del sistema cogenerativo innovativo con microturbina a vapore.

Supporto ai ministeri e collaborazioni internazionali

ENEA svolge azioni di supporto tecnico-scientifico ai Ministeri per la definizione di un quadro nazionale di riferimento, che guidi gli operatori coinvolti nel

settore del solare termodinamico, in linea con quanto previsto dalla Strategia Energetica Nazionale, che individua questa tecnologia come una delle più promettenti per sviluppi industriali nel medio termine.

ENEA partecipa inoltre alle collaborazioni in corso nel settore, sia a livello europeo che internazionale, essenziali per indirizzare le attività di ricerca, stabilire sinergie con i principali attori non nazionali e acquisire risorse nell’ambito dei progetti europei. In particolare, tale partecipazione riguarda i gruppi di lavoro dell’European Energy Research Alliance (EERA), l’Implementing Agreement dell’IEA SolarPACES e la European Solar Thermal Electricity Association (ESTELA).



Serbatoio di accumulo a sali fusi dell’impianto PCS con generatore di vapore

*Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell’ambiente
Progetto B.1.3: Energia elettrica da fonte solare – Solare termodinamico
Referente: D. Mazzei, domenico.mazzei@enea.it*



Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso

SCENARIO DI RIFERIMENTO

L'idea di convertire in energia elettrica l'energia associata al moto ondoso e alle correnti di marea non è recente; nel tempo sono stati sviluppati diversi progetti finalizzati alla realizzazione di dispositivi per la generazione di energia elettrica dal mare. Molti di essi sono attualmente in attività e hanno dimostrato di poter essere operativi anche in condizioni difficili, come in occasione di mareggiate oceaniche. Essi sono installati sia in paesi Europei che in altri continenti, come ad esempio Australia e Asia. Lo sfruttamento



dell'energia dal mare è a uno stadio meno avanzato rispetto a quello di altre risorse rinnovabili quali il vento o il sole, anche perché presenta un grado di complessità operativa più elevato. Tuttavia, esso può essere di grande interesse per un Paese come l'Italia, con forte sviluppo costiero e limitate disponibilità di altre fonti energetiche. Sistemi di produzione di energia dal mare possono essere particolarmente interessanti per le numerose isole presenti in Italia, in molte delle quali l'approvvigionamento energetico, realizzato comunemente da centrali termoelettriche a gasolio, risulta oneroso dal punto di vista economico e di non trascurabile impatto ambientale. Inoltre, lo sviluppo dei sistemi di assorbimento e conversione energetica di tipo costiero, sia di tipo galleggiante che a barriere sommerse poggiate su bassi fondali, può avere una valenza significativa anche per la riduzione dei fenomeni di erosione costiera. Le attività di ricerca rivolte allo sfruttamento del moto ondoso e delle correnti di marea vedono primeggiare i centri di ricerca del nord Europa, quindi i sistemi la cui fase di sviluppo è più avanzata sono stati progettati per

operare con condizioni oceaniche, dove l'altezza delle onde è decisamente elevata. Nel caso dell'Italia, le coste sono bagnate da onde di piccola altezza e minor periodo ed è quindi necessario sviluppare dispositivi in grado di sfruttare al massimo proprio queste caratteristiche. La ricerca in ambito italiano nel

settore è attiva da circa dieci anni, con progetti mirati allo sviluppo di dispositivi atti a funzionare nel Mar Mediterraneo in particolare, e in zone oceaniche in genere. Il rapido espandersi di tecnologie per lo sfruttamento delle

correnti marine e delle onde rende necessaria una stima accurata delle risorse naturali potenzialmente disponibili nei mari italiani, e di quelle realmente sfruttabili dalle diverse tecnologie che si stanno affacciando sul mercato.

OBIETTIVI

Le attività di ricerca mirano a quantificare l'energia che può essere immessa nella rete elettrica, ricavabile da appositi convertitori del moto ondoso e delle correnti marine in siti specifici della costa italiana. Il primo obiettivo proposto riguarda la realizzazione di una nuova climatologia ad alta risoluzione spaziale dell'energia associata al moto ondoso nel bacino mediterraneo, e l'analisi di dettaglio riguardante gli spettri bidimensionali dell'energia in alcuni punti della costa italiana. Particolare attenzione è posta alla caratterizzazione dell'energia ondosa attraverso il calcolo di specifici indicatori di produttività.

Un secondo ramo delle attività riguarda la caratterizzazione sperimentale di un convertitore OWC in scala

ridotta e successivamente progettazione, costruzione e installazione di un OWC prototipale in scala 1:8 a geometria variabile.

Le attività di ricerca sono anche focalizzate sulla messa a punto del modello di calcolo CFD sulla base della geometria definitiva dell'apparato U-OWC sperimentale utilizzato già per la progettazione dell'OWC e in seconda fase sul confronto tra risultati numerici ottenuti e i risultati sperimentali derivati dalla campagna di misure condotte sull'OWC.

La realizzazione di prototipi ha poi lo scopo di realizzare, con successivi test in vasca, un convertitore WEC in scala 1:45 di tipo point absorber con PTO passivo. A questo è stato associato lo studio delle metodologie per l'installazione di sistemi WEC point absorber con PTO attivi in scala 1:1.

RISULTATI

Calcolo di indicatori di produttività energetica a partire dal clima ondoso

È stata generata una climatologia ad alta risoluzione e di lungo periodo, per l'intero bacino Mediterraneo. Il modello numerico WAM per la simulazione del moto ondoso è stato utilizzato alla risoluzione di $1/32^\circ$ per produrre una climatologia delle onde della durata di 25 anni, dal 1980 al 2004. Lo spettro di densità di energia è stato discretizzato utilizzando 36 direzioni angolari, corrispondenti ad una risoluzione angolare di 10° , e 32 intervalli di frequenza, che aumentano con progressione logaritmica a partire da 0,05 Hz. Sono stati utilizzati come forzante superfi-

ciale i venti provenienti da una simulazione di un modello atmosferico regionale, forzato a sua volta dalle analisi del Centro Europeo per le Previsioni a Medio termine (ECMWF).

Dalle mappe medie mensili di altezza significativa e di energia risulta evidente la forte stagionalità. Oltre alle grandezze integrate, quali altezza significativa dell'onda e direzione, in uscita dal modello WAM sono stati memorizzati, con frequenza oraria, gli spettri bidimensionali per 20 punti lungo la costa del bacino. Sono stati calcolati gli spettri ottenuti mediando nelle due dimensioni, frequenza e direzione. I valori massimi di energia vengono raggiunti nei tre mesi invernali, ampiezze di poco inferiori si possono osservare sia durante i mesi di marzo e aprile che nel mese di novembre. L'energia raggiunge i valori più elevati nelle zone occidentali della Sardegna e della Sicilia e a nord di Pantelleria, dove le basse frequenze indicano la prevalenza delle onde di lungo periodo che si propagano a partire dalla zona nord del bacino.

Attività sperimentale su dispositivi a colonna d'acqua oscillante OWC

Una prima attività svolta riguarda la sperimentazione sul campo di un modello in scala ridotta di un dispositivo a colonna oscillante del tipo U-OWC (U-Oscillating Water Column) è stata eseguita presso il laboratorio NOEL dell'università Mediterranea di Reggio Calabria. Le prove sono state eseguite su un prototipo di cassone REWEC3 in acciaio, alloggiato e opportunamente solidarizzato ad una diga in cemento armato della lunghezza di

16,10 m, ubicata alla profondità di 2 m. Il cassone in acciaio ha una larghezza della camera di assorbimento e del condotto verticale, rispettivamente, di 1 m e di 0,5 m. La larghezza longitudinale della camera attiva di 6,9 m.

Sulla base dei dati di input e di output registrati, è stato possibile validare il modello di calcolo CFD implementato. I risultati ottenuti hanno dimostrato l'ottimo livello

Diga e cassone metallico REWEC3, con installata turbina di tipo Wells, esistente presso il NOEL



di efficienza dell'impianto sia in assenza che in presenza di turbina funzionante.

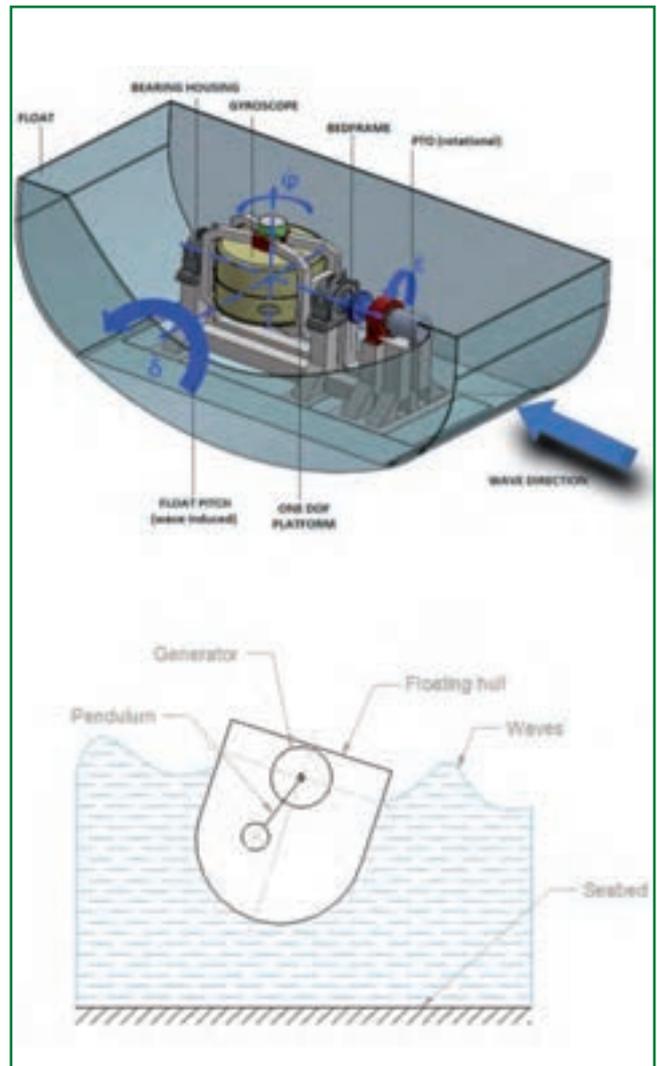
Una seconda attività ha riguardato la progettazione e la realizzare un nuovo modello di impianto U-OWC in scala 1:8 a geometria modificabile da installare presso il laboratorio NOEL. La finalità è quella dello studio dell'idrodinamica ottimizzata dell'impianto, per incrementare i rendimenti di assorbimento del convertitore. Al fine di potere analizzare diverse configurazioni di U-OWC, è stato, quindi, progettato un nuovo modello di U-OWC caratterizzato da un'elevata modularità. Infatti, esso è dotato di 2 setti interni rimuovibili, che permettono di partizionare la camera in 3 celle indipendenti. Il progetto è riuscito a identificare la configurazione ottimale del U-OWC analizzando configurazioni con differenti larghezze della camera.

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

Le attività hanno riguardato la messa a punto del modello di calcolo CFD sulla base della geometria definitiva dell'apparato U-OWC sperimentale e il confronto tra risultati numerici ottenuti e i risultati sperimentali derivati dalla campagna di misure condotte.

Per le analisi fluidodinamiche (CFD), si è utilizzato il codice di calcolo OpenFOAM – The open source CFD toolbox – versione 2.2.1. In particolare è stato utilizzato il solutore interFoam, specifico per flussi bifase isoterme caratterizzati da fluidi immiscibili e incompressibili che utilizza come modello bifase il VOF (volume of fluids). Visto il notevole peso computazionale, le simulazioni sono state fatte girare sulle macchine appartenenti al sistema di calcolo ad alte prestazioni del progetto CRESCO.

I dati sperimentali, per il confronto con le simulazioni CFD, sono le registrazioni delle evoluzioni della pressione in due punti dell'apparato sperimentale, il primo posizionato in corrispondenza della superficie di ingresso/uscita dell'acqua di mare, il secondo posizionato in corrispondenza della copertura della camera interna, quindi nella zona occupata dall'aria. L'andamento nel tempo della pressione sulla superficie di ingresso/uscita dell'acqua è stato utilizzato per ottenere la forzante nella simulazione CFD. Il confronto dei risultati mostra che, da un punto di vista quantitativo, i risultati calcolati e quelli sperimentali presentano delle forti discordanze dovute presumibilmente al fatto che il modello CFD non può tenere conto di fenomeni dinamici, che possono es-



Gli schemi dei sistemi ISWEC e PEWEC

sere anche legati a variazioni atmosferiche, i quali influenzano invece le misurazioni sperimentali. Dal punto di vista qualitativo i risultati del modello numerico e quelli sperimentali presentano un buon accordo verso la fine del periodo temporale simulato a dimostrazione della bontà del modello numerico sviluppato.

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

L'attività riguarda l'identificazione di metodologie per l'installazione di sistemi di conversione dell'energia da moto ondoso (WEC - Wave Energy Converter). Tali WEC sono sistemi che producono energia elettrica a partire dalla fonte ondosa. I WEC considerati in questo rapporto sono i sistemi ISWEC e PEWEC.

1. ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter), sistema galleggiante “attivo” che tramite l’uso dei fenomeni giroscopici permette la conversione del moto di beccheggio di un galleggiante in energia elettrica.
2. PEWEC (PEndulum Wave Energy Converter), sistema galleggiante “passivo”, composto da un pendolo incernierato allo scafo e libero di muoversi all’interno di esso. L’oscillazione dello scafo provocata dalle onde induce un’oscillazione del pendolo.

Sono state svolte attività teoriche e di progettazione di base necessarie a definire le caratteristiche del prototipo da realizzare per lo sviluppo della tecnologia, attività di progettazione di dettaglio e di fabbricazione del prototipo ed infine, la sintesi delle prime due fasi, che riguarda le attività sperimentali condotte con il prototipo e ne illustra i risultati ottenuti.

Le attività svolte permettono di affermare che la tecnologia dei sistemi inerziali passivi risulta promettente dal punto di vista applicativo, con rendimenti oltre il 45% e potenze stimate “full scale” fino a circa 250 kW per unità. Inoltre le conoscenze teoriche e costruttive acquisite con le attività descritte consentono di affrontare con sicurezza lo studio e la realizzazione di prototipi di scala maggiore.

Comunicazione e diffusione dei risultati

Sono state intraprese diverse attività per la comunicazione e la diffusione dei risultati, dall’organizzazione di un workshop alla produzione di articoli scientifici passando per presentazioni a congressi e workshop per finire nello sviluppo di piattaforme web-gis. A livello europeo sono state attivate sinergie attraverso la partecipazione al programma congiunto di ricerca sull’energia dal mare (JP Marine Renewable Energy) proposto dalla EERA European Energy Research Alliance. ENEA partecipa in maniera attiva al progetto congiunto attraverso il coordinamento delle Università e dei centri di ricerca nazionali.



Prototipo sperimentale di PEWEC

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell’ambiente

Progetto B.1.5: Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso

Referente: G.Sannino, gianmaria.sannino@enea.it



Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili

SCENARIO DI RIFERIMENTO

È condivisa a livello internazionale la consapevolezza che sarà impossibile sostituire, almeno per qualche decennio, quote significative di combustibili fossili con fonti alternative a basse o nulle emissioni di CO₂, e che quindi è necessario adottare soluzioni che limitino l'impatto sull'ambiente conseguente al loro utilizzo e siano compatibili con gli obiettivi di contenimento delle alterazioni climatiche. Queste considerazioni valgono per il metano e ancor più per il carbone che è il principale combustibile impiegato a livello mondiale

per la produzione di energia elettrica (genera circa il 30% dell'elettricità dell'UE, il 50% in USA, il 75% in Cina) e anche quello a maggiore intensità di carbonio. Il ricorso al carbone per la generazione elettrica, necessario per soddisfare la domanda sempre maggiore di energia, risulta condizionato, oltre che dall'impiego di tecnologie pulite sempre più efficaci nella riduzione delle emissioni di macro e micro inquinanti, anche dall'introduzione di soluzioni in grado di abbattere radicalmente le emissioni di anidride carbonica. Da questo punto di vista, occorre puntare da un lato al miglioramento delle efficienze energetiche, legate all'innovazione dei cicli termodinamici e all'utilizzo di materiali innovativi, dall'altro allo sviluppo e dimostrazione di tecnologie di cattura e confinamento della CO₂ (tecnologie CCS). L'utilizzo di tecnologie CCS può ridurre dell'80-90% le emissioni di CO₂ causate dagli impianti di potenza, a scapito però di una riduzione dell'efficienza energetica di circa 8-12 punti percentuali. Molte delle tecnologie CCS sono già disponibili ma hanno bisogno di essere ottimizzate dal punto di vista sia energetico sia di processo, e di essere testate su scala dimo-

strativa per ottenere indicazioni precise sui costi aggiuntivi e sulle perdite energetiche associate. Altre tecnologie, concettualmente più avanzate, devono essere sperimentate e testate su scala significativa. In linea con gli indirizzi europei e nazionali (con riferimento al Documento di Strategia Energetica Nazionale),

un'adeguata attività di R&S svolta dall'ENEA e dal sistema della ricerca pubblica permetterà di contribuire al conseguimento di obiettivi di interesse strategico quali la riduzione delle emissioni italiane di CO₂, il contenimento dei



costi della produzione di energia elettrica nel prossimo futuro e la possibilità per l'industria nazionale di competere sul mercato internazionale e, in particolare, in quello delle economie emergenti. Nel settore della R&S sulle tecnologie CCS, vi è un forte impegno internazionale - seppur contrastato dalla crisi economica internazionale e dalla ridotta efficacia dei dispositivi finanziari - rivolto da una parte alle problematiche di ottimizzazione impiantistica, ai fini di una applicazione immediata delle CCS nei futuri dimostrativi, dall'altra alla messa a punto di tecnologie completamente nuove che consentano di ottenere risultati in termini di efficienza e di costo sempre più prossimi a quelli delle tecnologie convenzionali attuali. Un altro settore in espansione è quello riguardante le tecnologie di "riutilizzo" della CO₂ una volta separata, al fine di produrre nuovi combustibili o "chemicals", in situazioni ove la disponibilità di energia (correlata a surplus da fonti rinnovabili), o la disponibilità di idrogeno, rendono questi processi economicamente sostenibili. In tale ottica si preferisce parlare di tecnologie CCUS ossia "Carbon Capture Utilization and Storage".

OBIETTIVI

Il Progetto ha per finalità lo sviluppo, la dimostrazione, la validazione teorica e sperimentale, su scala significativa, di un ventaglio di tecnologie innovative per l'impiego sostenibile di combustibili fossili, siano esse indirizzate alla produzione di elettricità con ridotte emissioni di gas serra, o alla produzione di combustibili gassosi e liquidi e al riutilizzo della CO₂, in alternativa allo stoccaggio. Le attività perseguono il duplice obiettivo di risolvere le principali problematiche tecniche connesse alle nuove tecnologie e di ridurre le penalizzazioni, in termini di costo e di rendimento, che l'attuale stato delle tecnologie di cattura e sequestro implicano. Il Progetto comprende sia attività di nuova impostazione, che la prosecuzione e/o il completamento di attività avviate negli anni precedenti. Il grado di maturità delle tecnologie proposte è assai differente: a fianco a soluzioni tecnologiche più mature, applicabili nel breve-medio termine, per le quali lo sforzo è principalmente rivolto alla riduzione degli extra-costi, vengono studiate metodologie più avanzate che consentano, sul lungo termine, prestazioni energetiche e ambientali maggiori. Nello specifico settore di ricerca l'ENEA è da tempo fortemente impegnata in tutte le principali filiere tecnologiche di cattura della CO₂ (pre-, oxy- e post-combustione) e del successivo sequestro geologico. Tali attività hanno portato al consolidamento di un significativo know-how in materia e alla realizzazione di importanti infrastrutture sperimentali sia in ENEA che presso la partecipata SOTACARBO S.p.A., anche attraverso le attività svolte nell'ambito del Polo Tecnologico del Sulcis per il carbone pulito.

Di recente sono state anche avviate attività relative al "riutilizzo" della CO₂ per la produzione di combustibili. Una particolare attenzione è rivolta allo sfruttamento di carboni di basso rango, caratterizzati da alto contenuto di Zolfo e TAR, e tra questi al carbone del Sulcis, per le ovvie implicazioni di carattere economico e sociale. In questo ambito, una specifica menzione merita lo studio di fattibilità di una piattaforma dimostrativa che, partendo dalla combustione pressurizzata in ossigeno di carbone, consenta la separazione e il sequestro geologico della CO₂ nel locale bacino carbonifero.

RISULTATI

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

La ricerca affronta due tecnologie innovative di trattamento in pre-combustione di combustibili solidi, l'una relativa alla qualificazione sperimentale di un innovativo ciclo di de-carbonatazione e clean-up del syngas (da zolfo e tar), basato sull'uso di sorbenti solidi ad alta temperatura (ciclo ZECOMIX ad alto rendimento), l'altra relativa allo sviluppo di una tecnologia avanzata di pirolisi/gassificazione, per il trattamento di carboni di basso rango.

Con riferimento alla prima tecnologia, oltre ai materiali sorbenti di origine naturale, si stanno studiando materiali sintetici, sempre a base di CaO, che risultino essere più resistenti e stabili in operazioni che prevedono un certo numero di cicli di separazione

della CO₂ (cattura/rigenerazione). La sperimentazione del ciclo di assorbimento è effettuata sulla piattaforma ZECOMIX (Zero Emissione of CarbOn with MIXed technologies) situato presso il centro di ricerca ENEA Casaccia.

Il ciclo di pirolisi e gassificazione è invece studiato ed ottimizzato sulla piattaforma ENEA, denominata VAL.CH.I.R.I.A (VALorizzazione CHar, Impianto RICerche Avanzate). Il processo consiste in una prima fase di produzione del syngas basato su devolatilizza-



Impianto VALCHIRIA; lato raffreddamento fumi

zione/pirolisi del carbone, abbattimento del tar (mediante cracking termico e catalitico) e dello zolfo. Ciò determina la produzione di un char di qualità per la successiva gassificazione.

Parallelamente, per lo studio della cattura della CO₂ post-combustione sono stati svolti, sull'impianto

“Pilota” presso la sede di Sotacarbo, test preliminari e sperimentazioni per ottimizzare il processo mediante l'impiego di solventi liquidi a base di ammine, in condizioni che simulano, grazie all'utilizzo di apposite miscele di gas, quelle di post-combustione, tipiche della cattura operata sui fumi provenienti dalla combustione di carbone in caldaie.

Co-gassificazione di carbone e biomasse

L'attività riguarda l'adattamento dell'impianto “Dimostrativo” di gassificazione, già presente presso il Centro Ricerche Sotacarbo, per l'effettuazione di test di co-gassificazione di carbone e biomasse da filiera corta (come il cippato), con produzione di un syngas da impiegarsi per la generazione elettrica.

Le attività si è articolata in due task: progetto e realizzazione delle modifiche dell'impianto “Dimostrativo” SOTACARBO e successiva sperimentazione presso Impianto Dimostrativo attraverso prove funzionali su alcuni componenti per verificare e valutare gli interventi necessari per l'avviamento dello stesso

Tecnologie per l'ottimizzazione dei processi di combustione

Con riferimento alla cattura in pre-combustione e in ossi-combustione, è opportuno sottolineare come un ruolo determinante sia giocato dall'ottimizzazione del processo di combustione.

Le attività svolte in tale contesto sono mirate allo sviluppo di metodologie numeriche avanzate per la simulazione dei processi di combustione e la progettazione di componenti. In particolare è stata effettuata la validazione di un modello di sottogriglia LTSM (Localized Turbulent Scale Model) per Large Eddy Simulation, implementato nel codice HeaRT di ENEA che permette di riprodurre e studiare l'interazione turbolenza/combustione in fiamme premiscelate.



Impianto di produzione di gas sintetico GESSYCA

L'attività numerica si è concentrata anche sulla simulazione (LES) del bruciatore DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), studiato sperimentalmente nel progetto Europeo “PRECCINSTA”, caratterizzato da instabilità termoacustiche. In questo caso l'attività numerica ha lo scopo di testare e validare i modelli predittivi di fenomeni di instabilità già sviluppati da ENEA.

Per finire, sono state condotte simulazioni di tipo RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes, mediate nel tempo) con codice ANSYS-FLUENT per lo studio di combustori, convenzionali e di nuova concezione, in regime di ossi-combustione, e studi relativi a combustori con miscele di syngas.

Cicli a CO₂

L'attività di ricerca ha per obiettivo lo sviluppo un ciclo Brayton-Joule in configurazione semichiusa che utilizza CO₂ supercritica (S-CO₂) come fluido di lavoro (oltre 31 °C e 7,3 MPa), alimentato mediante ossi-combustione di metano.

Il primo step di questo programma prevede una serie di esperienze esplorative effettuate, in condizioni sub-critiche, con l'ausilio dell'impianto sperimentale AGATUR, di cui la micro-turbina a gas (μ GT) Turbec T100 ne rappresenta il cuore. La modellazione termodinamica connessa con l'attività in oggetto è finalizzata alla caratterizzazione del sistema, con l'obiettivo primario di ottenere uno strumento in grado di fornire previsioni di performance utili alla progettazione della facility in corso di completamento e alla definizione preliminare delle prove sperimentali. Il modello realizzato è stato validato con i dati ottenuti dalle acquisizioni effettuate nel corso di alcune prove appositamente predisposte. Una volta

effettuato il warm-up, la T100 è stata sottoposta ad una serie di variazioni di carico a gradini di ampiezza costante, in salita fino alla massima potenza e, in discesa, dalla massima potenza fino alla minima potenza stabile.

Utilizzo della CO₂ per produzione di combustibili

Le esperienze condotte dall'ENEA in tema di utilizzazione della CO₂ hanno permesso di acquisire adeguate conoscenze che permettono un aumento di scala nell'approccio alla conversione di CO₂ in CH₄. L'impianto "Fenice" è stato completato in ogni sua parte ed è entrato in esercizio nel marzo del 2014. Questo impianto consente di trattare fino a 200 NL/h di CO₂ e di ottenere una equivalente quantità di metano. L'elettrolizzatore che fornisce l'idrogeno (750 NL/h) è del tipo a doppia alimentazione, cioè da rete elettrica o da fotovoltaico, e consente quindi di testare l'intero ciclo di stoccaggio dell'energia solare sotto forma chimica.

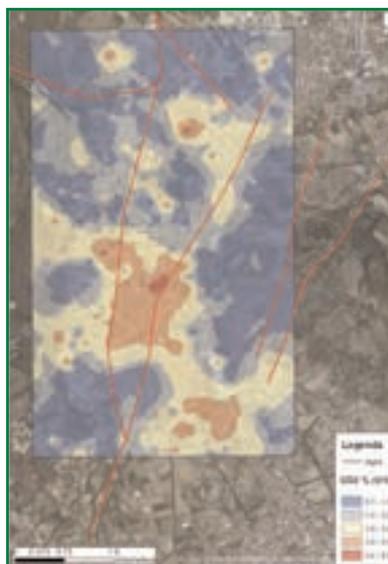
Monitoraggio e storage della CO₂

L'attività di ricerca è volta alla sperimentazione di due differenti tecnologie di stoccaggio della CO₂, l'iniezione in acquiferi salini e lo stoccaggio in giacimenti non sfruttabili di carbone e l'ECBM: Enhanced Coal Bed Methane - con contemporanea estrazione del metano presente.

In particolare le attività si sono concentrate sulla ricostruzione e riorganizzazione del materiale di informazione esistente in merito alla geochimica nell'area del bacino del Sulcis, nonché analisi geosimiche e caratterizzazione del baseline dell'area del bacino. Quindi è stata effettuata una raccolta delle informazioni con ricostruzione critica delle attività pregresse e rilievo geostrutturale, sono state analizzate e razionalizzate le procedure autorizzative, le richieste di concessioni per attività di ricerca e prospezione ed infine sono state effettuate analisi geofisiche con caratterizzazione della baseline dell'area del bacino del Sulcis.



Impianto Fenice



Contour map della CO₂ nella valle di Carbonia e posizionamento delle sonde nei piezometri



Attività di monitoraggio della concentrazione e del flusso di CO₂ dal suolo

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.2: Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili

Referente: S. Giammartini, stefano.giammartini@enea.it



Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

SCENARIO DI RIFERIMENTO

In Occidente è forte la necessità di rivalutare i margini di sicurezza degli impianti in esercizio o in costruzione e di procedere a un rinnovato impegno sui temi della ricerca, della riduzione e messa in sicurezza dei rifiuti, della cooperazione internazionale per l'impiego sicuro del nucleare negli usi civili. In Italia, dove da tempo le centrali dotate di reattori di GEN II sono state fermate, non si ha necessità diretta nel procedere a studi e ad applicazioni per il miglioramento dello standard di funzionamento di questo tipo di sistemi. Nondimeno, come paese tecnologicamente sviluppato e allineato agli standard di sicurezza e controllo degli altri paesi occidentali, l'Italia ha l'obbligo di mantenere vive le conoscenze scientifiche nel campo della fissione nucleare, dando priorità assoluta al mantenimento delle conoscenze nel settore della sicurezza e concentrando i propri sforzi nei settori della ricerca e della cooperazione internazionale per l'impiego sicuro, anche oltre i suoi confini geografici, degli impianti esistenti e del nucleare di prossima generazione. Il nuovo quadro di riferimento delineatosi in Italia a seguito dell'incidente di Fukushima, e del successivo referendum, ha portato ad una rimodulazione delle attività di R&S previste nell'ambito del programma triennale 2012-2014. In particolare, si è ritenuto necessario che le esigenze primarie fossero la conservazione nel Paese di un sistema di competenze scientifiche sotto il profilo della sicurezza e delle attività rivolte allo sviluppo di sistemi di IV generazione.



OBIETTIVI

L'intento del progetto è quello di contribuire a mantenere e, nel limite del possibile, ampliare le competenze tecniche e scientifiche necessarie agli studi sulla sicurezza dei reattori e sviluppare una capacità autonoma di valutazione delle diverse opzioni tecnologiche, in particolare dal punto di vista della sicurezza e

della sostenibilità, anche grazie ad accordi bilaterali con grandi istituzioni di ricerca quali il CEA e l'IRSN francesi, i laboratori del DOE americano, la stessa USNRC ecc. In tal modo l'Italia partecipa a pieno titolo alle

grandi iniziative di R&S internazionali/europee sul nuovo nucleare (GIF, INPRO, IFNEC, SNETP, ESNI, EERA, programmi EURATOM ecc.). Parallelamente, si supporta il sistema di ricerca nucleare italiano per lo sviluppo di reattori di IV generazione e generazione avanzata (LFR e SMR), con relativo ciclo del combustibile, in termini di competenze, infrastrutture di ricerca, laboratori, processi di qualificazione, mantenendo ad alto livello le competenze sul nucleare da fissione per rendere possibile la valutazione di progetti di reattori innovativi proposti in ambito internazionale. Gli obiettivi proposti sono:

- Acquisizione, sviluppo e validazione di codici e metodi per studi e analisi di sicurezza e sostenibilità, garantendo un adeguato training per il loro corretto utilizzo.
- Sviluppo di metodologie avanzate per la valutazione delle conseguenze incidentali in impianti nucleari tenendo conto dell'evento di Fukushima Dai-ichi e delle risultanze degli stress test europei.
- Realizzazione di attività sperimentali e di studi a supporto della qualifica di sistemi, strumentazione

e componenti innovativi e della validazione della modellistica per l'analisi incidentale di reattori innovativi.

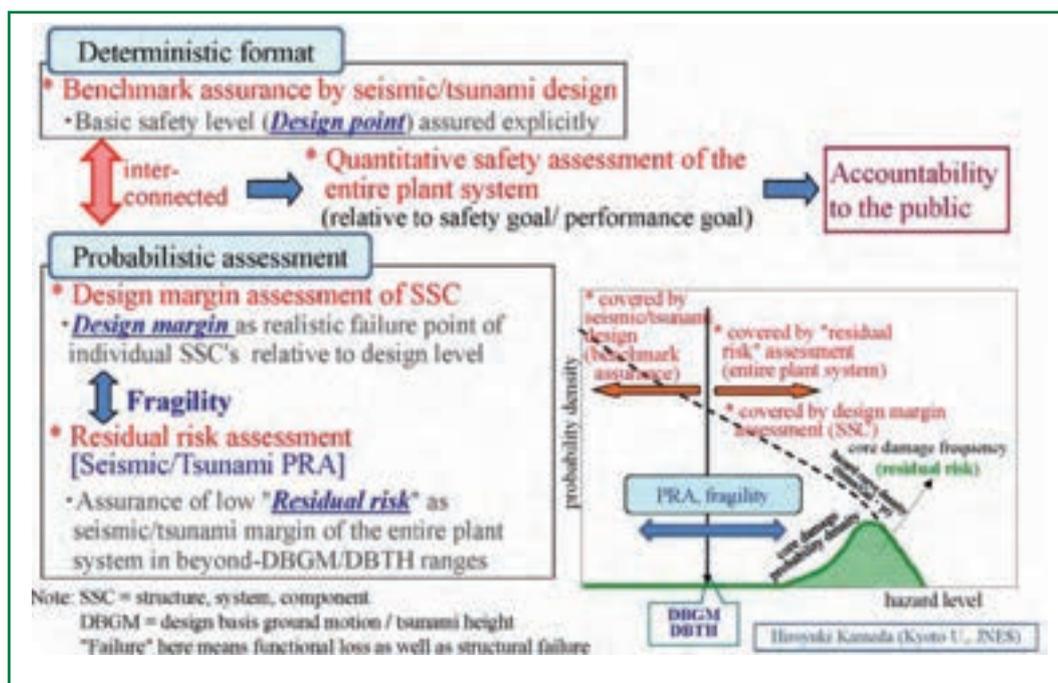
RISULTATI

Con i risultati degli studi e delle ricerche avanzate condotte nel progetto, conseguiti sfruttando il background internazionale acquisito e i risultati delle attività già svolte nei piani annuali precedenti, è stato possibile aumentare ulteriormente le conoscenze di base e arricchire l'esperienza precedentemente maturata. Si fa sempre riferimento all'acquisizione degli strumenti, delle metodologie e delle tecnologie più avanzate che permettano una valutazione indipendente circa la sicurezza, sostenibilità e affidabilità delle concezioni innovative oltre che delle installazioni nucleari attuali.

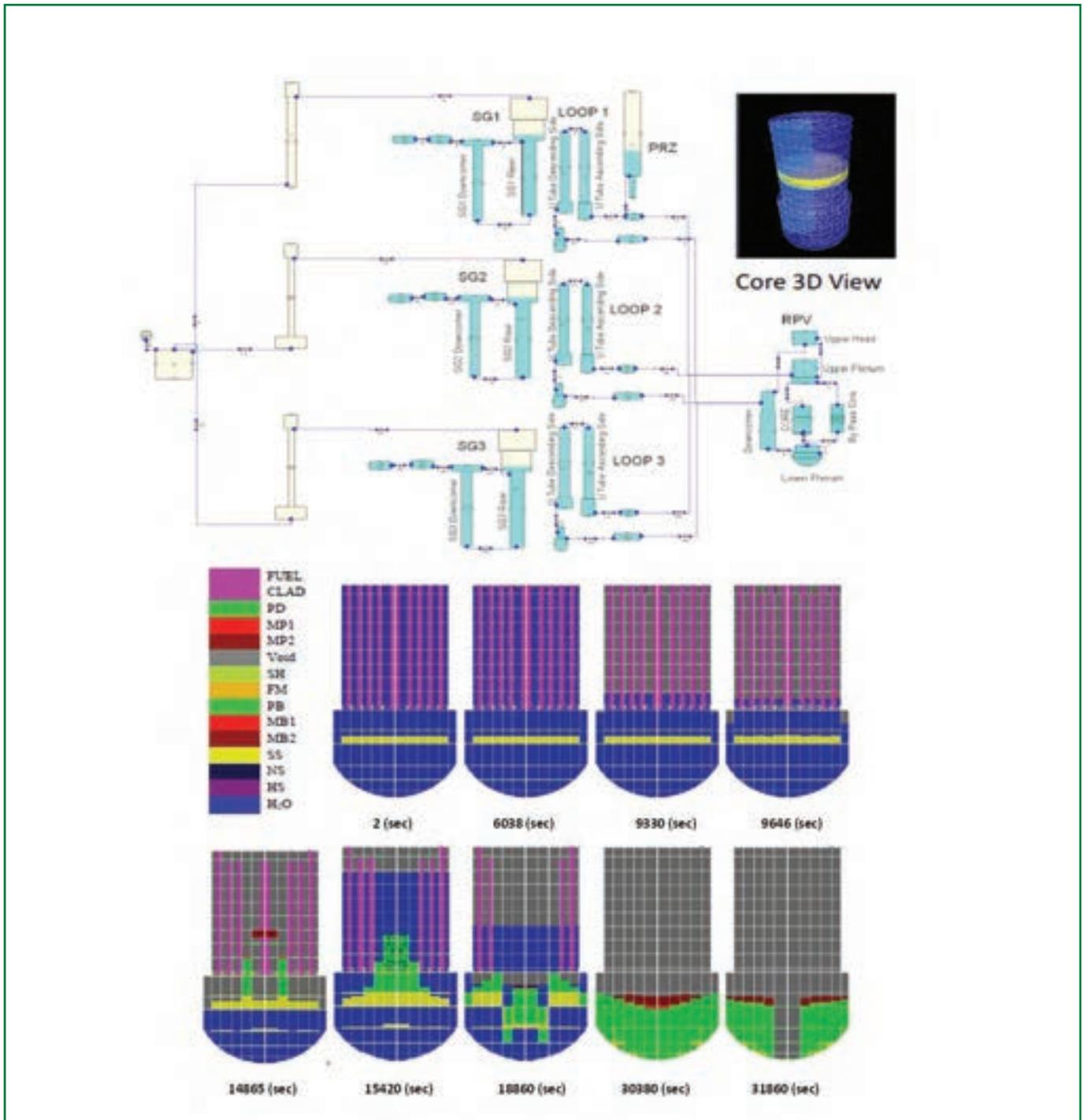
La prima parte delle attività svolte riguarda l'acquisizione, lo sviluppo e la validazione di codici e metodi per studi e analisi di sicurezza e sostenibilità, garantendo un adeguato training per il loro corretto utilizzo. Questi strumenti, in gran parte oggetto di accordi di collaborazione con gli enti francesi CEA e IRSN, e americano USNRC, sono relativi alle diverse tematiche implicate nel funzionamento di un sistema estremamente complesso come un impianto nucleare: modellistica di base per la realizzazione di librerie di dati nucleari, studi di modelli per il calcolo di sezioni d'urto, aggiornamento di librerie di decadimento per il calcolo dell'attivazione dei ma-

teriali sottoposti ad irraggiamento neutronico, codici di neutronica deterministici e Monte Carlo per l'analisi neutronica del reattore, piattaforme di calcolo avanzate con capacità "multi-scale" e "multiphysics" per la simulazione T/H dell'intero impianto e di specifici componenti, analisi di pre- e post-test a supporto di programmi sperimentali per la validazione dei codici ICARE/CATHARE e ASTEC, verifica dei progressi nell'affidabilità della risposta dei codici integrali ASTEC e MELCOR per la valutazione delle conseguenze di incidenti gravi, modellistica per la valutazione del rilascio e della diffusione dei contaminanti radioattivi, metodi per la valutazione degli impianti nucleari sotto l'aspetto della resistenza alla proliferazione nucleare e in relazione agli aspetti di interfaccia safety-security.

La seconda parte del progetto riguarda lo sviluppo di metodologie avanzate per la valutazione delle conseguenze incidentali in impianti nucleari tenendo principalmente conto dell'evento di Fukushima Dai-ichi ma anche di eventi incidentali gravi rilevanti, quali quello di Three Mile Island, e delle risultanze degli stress test europei. L'attività di ricerca si è concentrata con particolare attenzione alla raccolta di coefficienti e parametri integrali per il calcolo "fast" del termine sorgente in reattori LWR, allo studio integrale di sequenzebdba su reattori di tipo PWR, selezionati tra quelli presenti in prossimità delle nostre frontiere, al calcolo e valutazione della sequenza incidentale nell'unità 1 della centrale di Fukushima Dai-ichi, anche attraverso invio sul posto di un ricercatore per la miglior raccolta dati e informazioni (partecipazione a congresso sul tema sicurezza), al proseguimento e finalizzazione delle procedure per la realizzazione di un database esperto, alla verifica di fattibilità di una catena di calcolo fast-running, supportata da studi di sensitivity & uncertainty con l'uso del codice DAKOTA, all'applicazione di approcci di tipo probabilistico e deterministico per la stima del rischio da eventi incidentali



Schema per verifiche di sicurezza sismica/tsunami (safety)

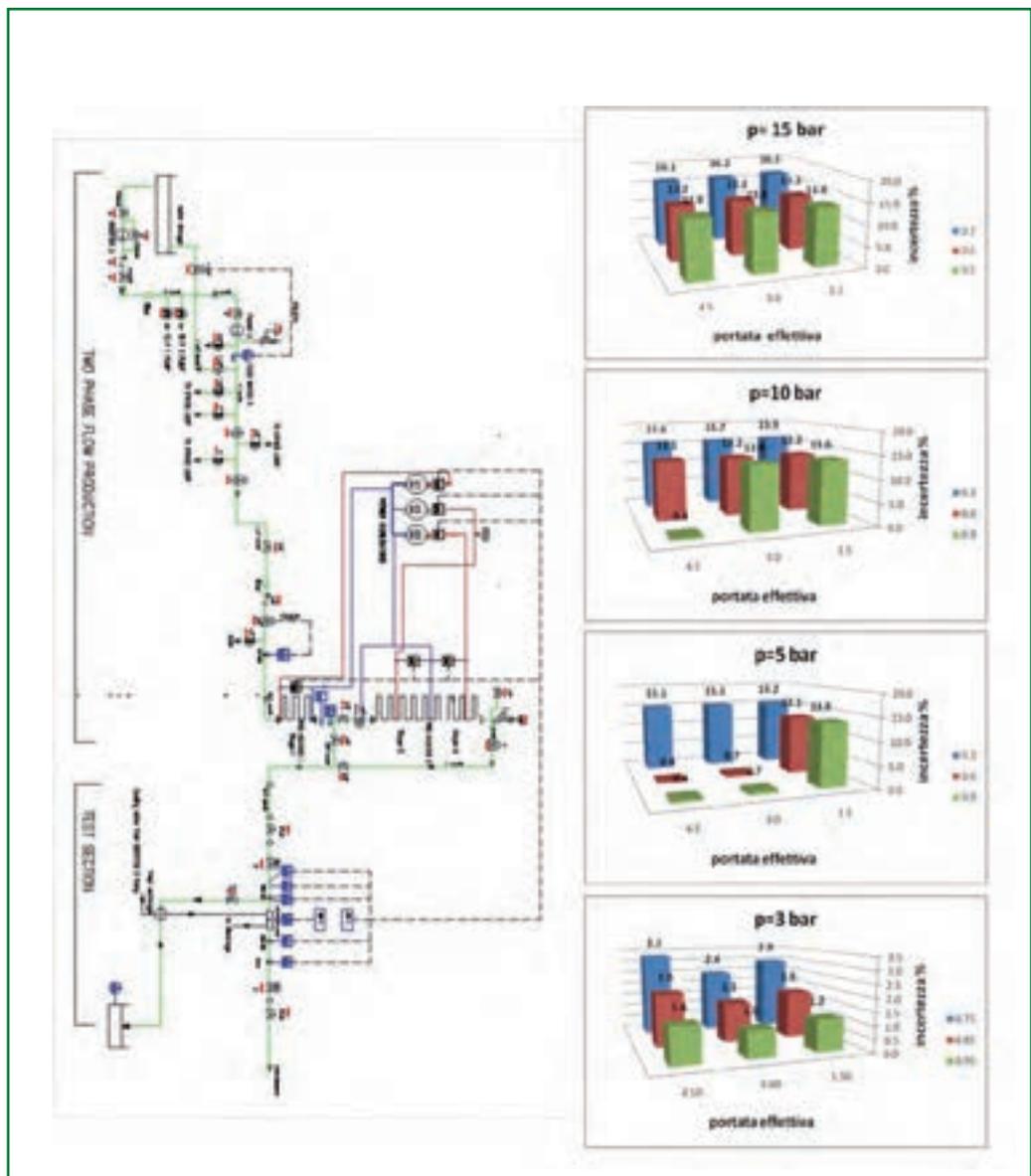


Nodalizzazione MELCOR di un generico reattore da 900 MW e analisi delle diverse fasi di degradazione del core predette dal codice MELCOR

esterni (vedi sisma/tsunami a Fukushima). La terza parte del progetto riguarda attività sperimentali e analisi a supporto degli studi sulla sicurezza. In particolare le attività sono state indirizzate principalmente alla fase conclusiva degli studi di fattibilità e valutazione costi di una nuova configurazione della facility integrale SPES3, allo studio per la sperimentazione di un sistema per la rimozione del calore residuo e alla validazione e verifica della ri-

sposta dei codici CATHARE2 e TRACE con riferimento al programma sperimentale SPES2. Il processo di comunicazione e diffusione dei risultati è cominciato con la convocazione di un incontro di inizio attività in cui, alla presenza dei ricercatori ENEA e del personale CIRTEN e SIET, si è provveduto a fornire una panoramica completa delle attività pianificate, fornendo indicazioni sui deliverable da produrre e sulla tempistica. Lungo tutto l'arco delle

attività previste nell'attuale annualità, particolare attenzione è stata rivolta alla partecipazione a seminari, workshop e conferenze internazionali da parte dei ricercatori coinvolti nelle attività del progetto, cosa che ha favorito la diffusione delle attività svolte in ambito nazionale, la pubblicazione su riviste specializzate di lavori originali e la contemporanea acquisizione di informazioni utili per il loro proseguimento durante la terza e finale annualità del piano triennale 2012-2014. Si è anche provveduto alla organizzazione di seminari a livello nazionale. Si riportano, a titolo di esempio: a) schema di nodalizzazione di reattore PWR900, del tipo presente ai confini nazionali, con presentazione delle diverse fasi di degradazione del core predette con l'uso del codice integrale MELCOR; b) schema per l'attuazione di verifiche di sicurezza "sismica/tsunami"; c) schema di flusso dell'impianto di prova SPOOL PIECE con l'indicazione dell'andamento dell'incertezza estesa della portata massica bifase in % al variare della pressione.



Schema di flusso strumentato dell'impianto di prova SPOOL PIECE e andamento dell'incertezza estesa della portata massica bifase in % al variare della pressione

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.3.1 – L.P.1: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

Referente: Felice De Rosa felice.derosa@enea.it



Collaborazione ai Programmi Internazionali per il Nucleare di IV Generazione

SCENARIO DI RIFERIMENTO

Nell'ambito dell'iniziativa europea ESNII (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative, SET-PLAN), si è rilanciato in Europa lo sviluppo tecnologico di sistemi nucleari veloci di quarta generazione. Tra questi, particolare interesse rivestono i sistemi refrigerati a sodio (SFR – ASTRID) o a metallo liquido pesante (LFR – ALFRED, ADS – MYRRHA), in fase di progettazione avanzata. I sistemi nucleari di quarta generazione devono rispondere ai 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, bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e ampia tolleranza anche a gravi errori umani, escludendo qualsivoglia 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.

In tale contesto, l'impegno italiano è focalizzato ai sistemi LFR – Lead cooled Fast Reactor (anche del tipo SMR – Small Modular Reactor) nella configurazione a piscina integrata, poiché potenzialmente soddisfano tutti i requisiti introdotti per i sistemi nucleari di quarta generazione. L'uso di un refrigerante chimicamente compatibile con aria e acqua, con ottime proprietà intrinseche di schermaggio delle ra-

diazioni e di ritenzione dei prodotti di fissione tipicamente responsabili della contaminazione ambientale in caso di incidente severo, e operante a bassa pressione, permette di aumentare sensibilmente la protezione fisica della popolazione residente nelle zone limitrofe alla installazione nucleare, riducendo

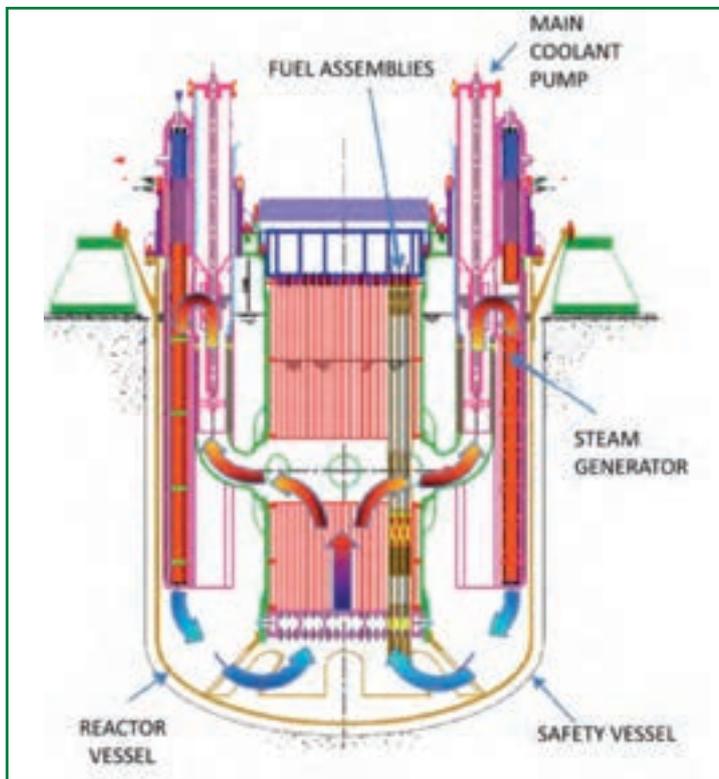
inoltre la necessità di robusti e complessi sistemi di protezione contro eventi catastrofici (anche terroristici).

OBIETTIVI

Le attività di ricerca sono focalizzate sulla tecnologia dei reattori a piombo sia in

una prospettiva futura di sviluppo del nucleare, sia per l'interesse e le competenze espresse dall'industria Italiana. L'obiettivo principale è quindi il supporto alle attività di ricerca e sviluppo finalizzate alla costruzione del reattore dimostrativo a piombo, di concezione ENEA-ANSALDO, denominato ALFRED. Sono state individuate tre macro aree di intervento, tutte afferenti allo sviluppo dei reattori di IV generazione e dei sistemi SMR refrigerati a piombo, che rappresentano altrettanti ambiti di criticità per ALFRED. La prima macro area di intervento è denominata "progettazione di sistema e analisi di sicurezza". Il progetto di un sistema LFR di grande o di piccola taglia (ALFRED, SMR-Lead), deve rispondere ai tre requisiti fondamentali di sicurezza, sostenibilità ed economicità per essere accettato e attuato. La seconda macro area ricade nell'area dei materiali e studi di fabbricazioni, ed è principalmente dedicata a esplorare l'applicabilità di differenti tecnologie di protezione dei materiali strutturali quando proposti per la realizzazione di guaine di combustibile per reattori refrigerati a piombo. La terza macro





Sezione del vessel del reattore ALFRED con indicazione dei componenti principali

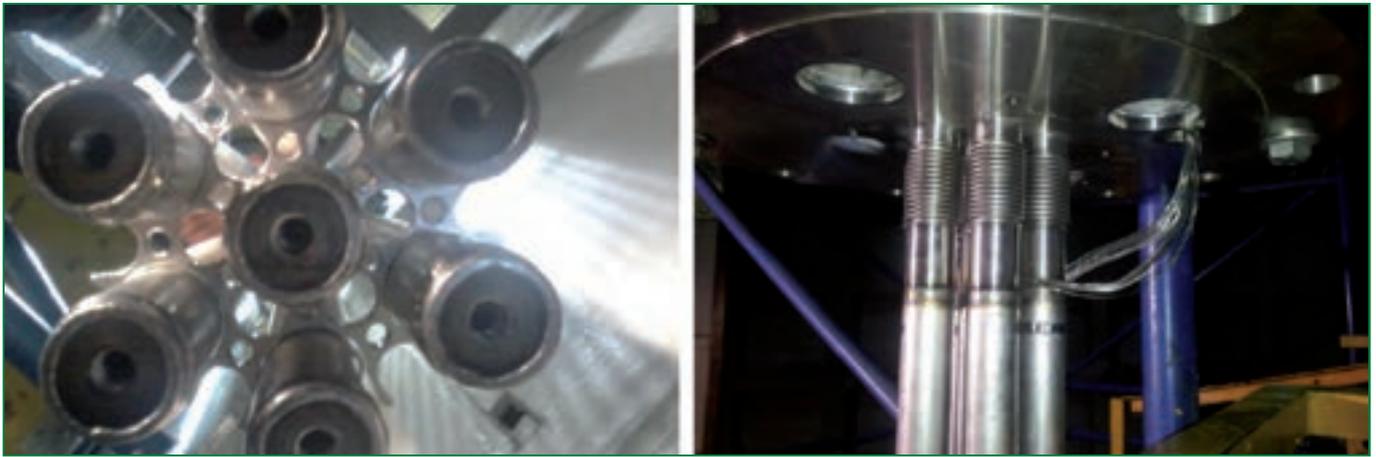
area, afferente alla termoidraulica del refrigerante, ha carattere teorico-sperimentale e viene condotta con gli impianti di prova (NACIE, CIRCE, HELENA, LECOR) del centro Brasimone. Le attività si articolano su: preparazione delle esperienze, conduzione delle prove, analisi numerica dei risultati, messa a punto dei metodi di calcolo. In sintesi gli obiettivi proposti sono:

- qualifica e caratterizzazione sperimentale di componenti critici e strumentazione prototipica; realizzazione di campagne sperimentali per la validazione di modellistica e codici di calcolo;
- sviluppo e validazione di codici di calcolo per l'analisi termo-fluidodinamica; progettazione di dettaglio del nocciolo del dimostratore; studi di dinamica spaziale; progettazione del sistema primario e dei sistemi di rimozione del calore;
- caratterizzazione di acciai e rivestimenti strutturali in condizioni di irraggiamento e corrosione da piombo;
- implementazione di infrastrutture di ricerca (HELENA), e aggiornamento di infrastrutture esistenti (CIRCE, NACIE, LECOR); implementazione del laboratorio di termoidraulica dei metalli liquidi per la completa caratterizzazione dei refrigeranti per sistemi nucleari veloci;
- studi e sperimentazione in supporto alla progettazione del combustibile nucleare per reattori veloci, interazione refrigerante-combustibile-camicia.

RISULTATI

Progettazione di sistema e analisi di sicurezza

Relativamente alla progettazione del nocciolo LFR e all'utilizzo del reattore TAPIRO in supporto a ciò, nella precedente annualità si è provveduto allo sviluppo e la validazione del modello Monte Carlo dettagliato del reattore TAPIRO. Il modello è stato utilizzato come strumento di progettazione di esperienze in supporto alle attività Generation IV sui Reattori Veloci a Piombo. Si è quindi provveduto alla progettazione di una facility per misure di trasporto neutronico in Piombo nel reattore TAPIRO. È stata eseguita la validazione della metodologia di calcolo perturbativo GPT implementata nel codice ERANOS attraverso il confronto con i risultati ottenuti con metodi diretti, è stata iniziata un'attività avente come scopo la validazione e integrazione di una procedura di calcolo già esistente (modulo MECCYCO) per calcoli perturbativi lineari nel campo dei nuclidi e, successivamente, la implementazione delle procedure di calcolo per calcoli perturbativi nel campo non-lineare neutroni/nuclidi. Relativamente alla progettazione del nocciolo del DEMO LFR, scopo del lavoro è stata l'individuazione e l'analisi di possibili soluzioni alle criticità dell'attuale progetto di nocciolo, così come evidenziate da una preliminare revisione critica del progetto stesso, per compilare una lista di opzioni e raccomandazioni che servano all'impostazione di una nuova fase di progettazione del nocciolo di tale reattore. Relativamente agli studi preliminari di tecniche di monitoraggio del nocciolo di ALFRED è stato effettuato uno studio preliminare di tecniche di monitoraggio del nocciolo volto alla valutazione della possibilità di inserire rivelatori neutronici all'interno del vessel di ALFRED, in prossimità del nocciolo, col duplice scopo di monitorare il livello integrale di flusso neutronico quando il reattore opera in regime di potenza, dando così un segnale ridondante a quello del sistema tradizionale di rivelatori posti ex-vessel, tipicamente impiegato nei reattori veloci; mappare la distribuzione spaziale del flusso neutronico, per rivelare prontamente possibili distorsioni di questo, dunque comandare – ove necessario – l'intervento del sistema di protezione del reattore prima che siano superati i limiti di sicurezza del nocciolo. Sono stati approfonditi gli studi sul rilascio e migrazione dei prodotti di fissione allo scopo di effettuare una stima di grandezze termodinamiche non note ma necessarie per effettuare una prima valutazione della composizione del sistema combustibile-refrigerante all'equilibrio termodinamico



Viste di dettaglio delle sezioni di prova di HERO

mediante un codice basato sulla minimizzazione dell'energia libera di Gibbs. A tale scopo sono stati utilizzati due diversi approcci: quello basato sui metodi semi-empirici è risultato di più diretta applicazione, mentre quello basato sul metodo DFT (Density Functional Theory) ha consentito di ottenere risultati, finora, solo in fase gas.

Materiali e fabbricazioni

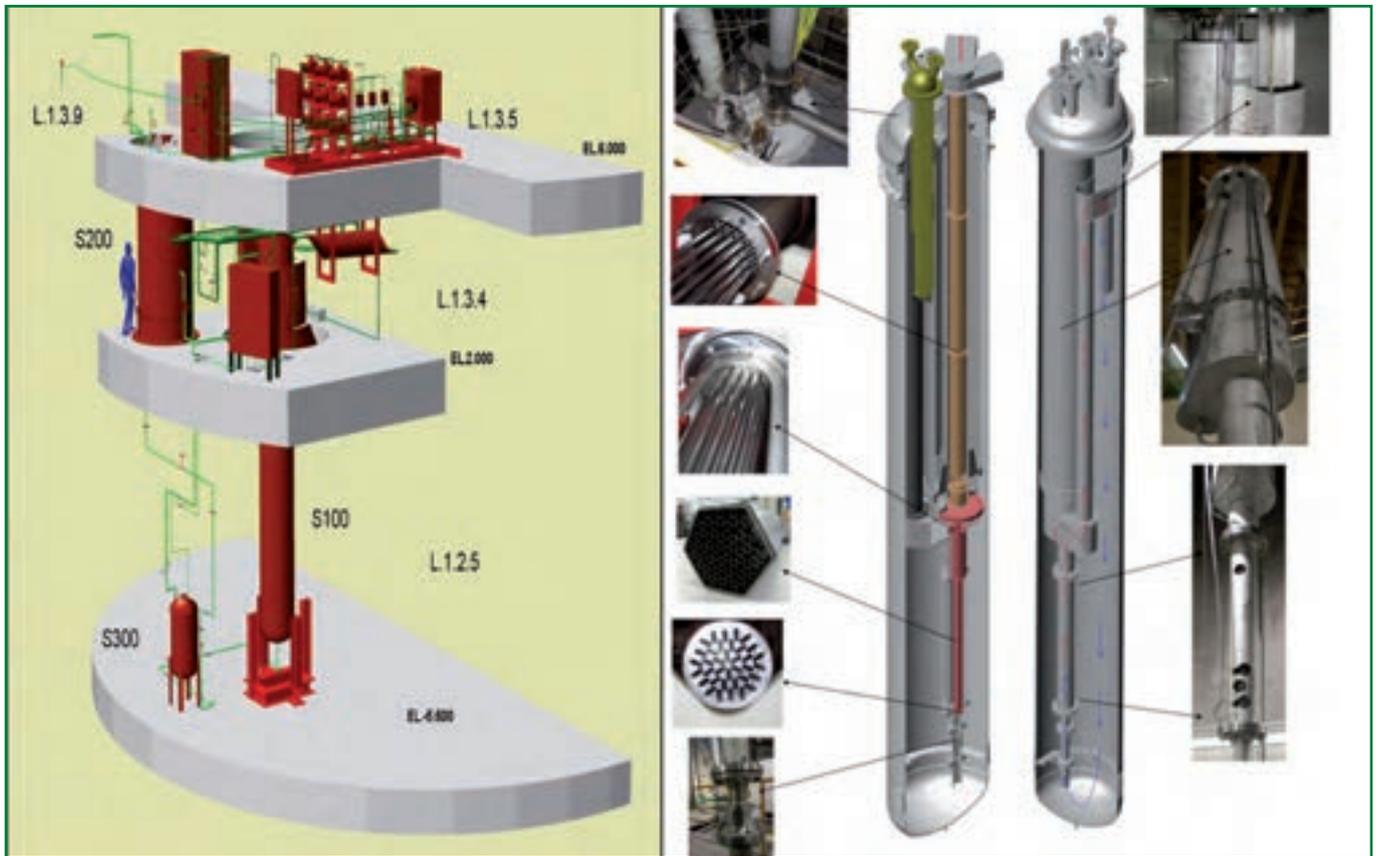
Nel PAR2013 sono stati qualificati i rivestimenti messi a punto nelle annualità precedenti attraverso caratterizzazioni meccaniche, prove di ciclaggio termico, prove di diffusione isoterma e prove di irraggiamento. Riguardo agli acciai strutturali per applicazioni nucleari, grande interesse assumono gli acciai doppio stabilizzati (Ti, Nb) che hanno dimostrato grande stabilità al rigonfiamento e alla deformazione anelastica. Sono state effettuate prove di corrosione in piombo stagnante, sono stati in primo luogo esaminati al microscopio SEM diversi campioni di acciai ricoperti con tecnica PVD. I ricoprimenti (TiN, FeAl e FeCrAl) sono stati realizzati dal CSM (Centro Sviluppo Materiali, Roma). I substrati ricoperti sono gli acciai 15-15Ti(Si), AISI316L e T91. L'analisi è stata effettuata per valutare la qualità del ricoprimento prima di effettuare prove di corrosione in piombo liquido. In secondo luogo, due campioni di acciaio austenitico 15-15Ti(Si) nudo e due campioni di 15-15Ti(Si) ricoperto con TiN sono stati esposti in piombo liquido in condizioni di alto ossigeno disciolto alla temperatura di 550 °C e per 2000 ore, analizzando la composizione della matrice metallica. La scelta di utilizzare gli acciai ricoperti con TiN è dovuta al fatto che, fra tutti i ricoprimenti prodotti mediante PVD, il TiN è risultato essere il più omogeneo e compatto dall'osservazione al SEM.

Termoidraulica del refrigerante

Nell'ambito dell'implementazione del laboratorio di termo fluidodinamica dei metalli liquidi pesanti, si è progettato e realizzato uno scambiatore di calore prototipo con tubi a baionetta a doppia parete (HERO - Heavy liquid mEtal - pRessurized water cOoled tube) da installare nella facility CIRCE presso il CR Brasimone. La sezione di prova è stata montata su CIRCE ed è concepita per essere uno strumento di supporto allo sviluppo del generatore di vapore di ALFRED e alla validazione di codici principalmente di tipo termoidraulica di sistema grazie ad una accurata selezione della strumentazione.

Nell'ambito dell'implementazione del laboratorio di termofluidodinamica si è inoltre avviato un filone di ricerca sull'investigazione analitico - sperimentale dell'interazione metallo liquido acqua in supporto alla caratterizzazione di generatori di vapore per sistemi LFR, in sinergia con progetti europei quali LEADER e MAXSIMA del VII Programma Quadro Euratom, a cui l'ENEA partecipa attivamente. L'attività consiste nella progettazione delle prove sperimentali di interazione su larga scala tra leghe di piombo e acqua in pressione (fino a 16 bar), anche mediante modifiche e aggiornamenti dell'impianto CIRCE dell'ENEA Brasimone e una definizione delle condizioni operative e prevede anche l'esecuzione di simulazioni di pre- e post-test con codici in grado di simulare dinamiche multi-fluido e multifase a più campi di velocità.

La metodologia di calcolo accoppiata tra codici di sistema - codici CFD (in particolare tra RELAP5 e Ansys Fluent) sviluppata nell'ambito dell'accordo di programma, è stata utilizzata per la simulazione di un test sperimentale in circolazione naturale eseguito sull'apparecchiatura sperimentale NACIE. La simulazione effettuata riproduce il transitorio descritto sia



Impianto CIRCE con viste di dettaglio

mediante l'uso del codice di sistema RELAP5 sia mediante l'applicazione della metodologia di calcolo accoppiata RELAP5\Fluent. I risultati ottenuti sia dal calcolo RELAP che dal calcolo accoppiato sono stati confrontati con i risultati sperimentali mostrando un buon accordo con differenze inferiori al 2% riguardo alle temperature in ingresso e in uscita dello scambiatore di calore (HX) e in ingresso e uscita della sezione scaldante (FPS).

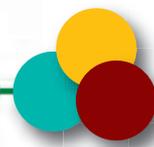


Griglia spaziatrice dell'elemento di combustibile del sistema

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.3.1 – L.P.2: Collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV generazione

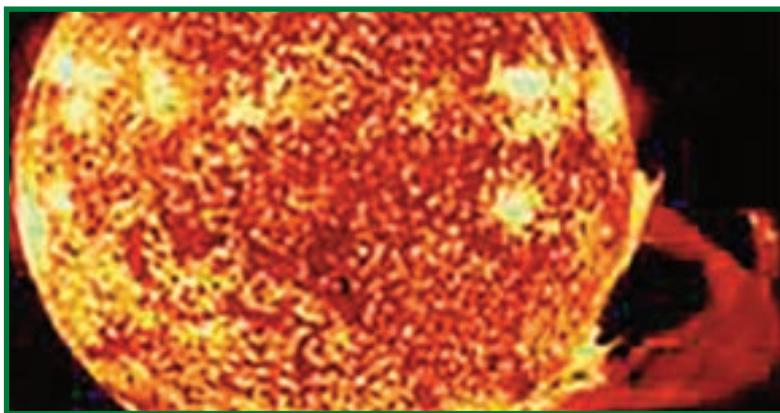
Referente: M. Tarantino, mariano.tarantino@enea.it



Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari a ITER

SCENARIO DI RIFERIMENTO

La fusione termonucleare controllata è oggi considerata una opzione molto concreta come fonte di energia sicura, compatibile con l'ambiente e praticamente inesauribile. La ricerca sulla fusione vede impegnati tutti i Paesi tecnologicamente più avanzati (Europa, Giappone, USA, Russia, Cina, Corea e India) che hanno riunito i loro sforzi in un progetto di grande prestigio, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), che rappresenta una tappa fondamentale per arrivare alla realizzazione del primo reattore dimostrativo a fusione (DEMO). Per accelerare lo sviluppo dell'energia da fusione, l'Europa e il Giappone, in occasione delle negoziazioni per la scelta del sito di ITER, hanno ratificato un accordo di collaborazione per un programma denominato Broader Approach (BA) da affiancare a ITER. Le attività del BA che prevedono la partecipazione dell'ENEA riguardano la costruzione di una macchina Tokamak superconduttrice JT-60SA, la realizzazione di una facility IFMIF per lo studio del danneggiamento dei materiali sottoposti a un flusso di neutroni di energia da fusione e la creazione dell'International Fusion Energy Research Center (IFERC) che include un centro di supercalcolo e lo sviluppo di materiali avanzati come il SiC/SiC. Viene anche avviata una attività di ricerca finalizzata alla realizzazione di un esperimento di Fusione denominato FAST che ha lo scopo di preparare scenari operativi di ITER permettendo di studiare un plasma che brucia senza ricorrere all'uso del trizio.



OBIETTIVI

Costruzione Tokamak JT-60SA

Si tratta di un Tokamak superconduttore di raggio pari a circa 3 m, in grado di confinare plasma di deuterio con una corrente massima di 5,5 MA. La macchina JT-60SA sarà installata a Naka nella Torus Hall che attualmente ospita il Tokamak JT-60U. L'ENEA è impegnata nella costruzione del magnete superconduttore di JT-60SA in collaborazione con il CEA, con la realizzazione di 9 delle 18 bobine superconduttrici di NbTi, delle casse di contenimento in acciaio austenitico per tutte le 18 bobine, parte delle alimentazioni elettriche del sistema magnetico, per un totale di 8 alimentatori ad alta tensione e corrente, 4 sistemi di interruzione della corrente continua (SNU - Switching Network Unit) e 4 trasformatori. Il sistema magnetico di JT-60SA è costituito da tre sotto sistemi: i 18 magneti superconduttori (NbTi) di campo toroidale (TF), i 4 moduli che costituiscono il solenoide centrale (CS) in Nb₃Sn necessario per indurre la corrente nel plasma, i 6 magneti in NbTi che generano il campo poloidale necessario per stabilizzare il plasma (EF). In particolare, i 18 moduli di magneti toroidale TF saranno di forma a D avvolti con un cavo in NbTi. Ciascun avvolgimento della bobina è formato da 6 doppi pancake collegati in serie da giunti elettrici interni per assicurare la continuità elettrica; l'avvolgimento della bobina è contenuto in una cassa in AISI che costituisce il principale componente strutturale del sistema magnetico ed è caratterizzato da precisioni molto accurate per il corretto accoppiamento con la bobina. La cassa delle bobine toroidali è una struttura saldata di piastre metalliche

e costituirà il supporto meccanico per tutto il sistema magnetico di JT-60SA.

IFMIF e IFERC

La fusione termonucleare richiede materiali capaci di resistere ad alte temperature (fino a 800 °C) e a flussi di neutroni da 14 MeV con danneggiamenti quantificabili in 50 dpa. Per condurre ricerche appropriate in questo campo, nel Broader Approach è prevista la progettazione e realizzazione di una complessa facility di ricerca detta IFMIF

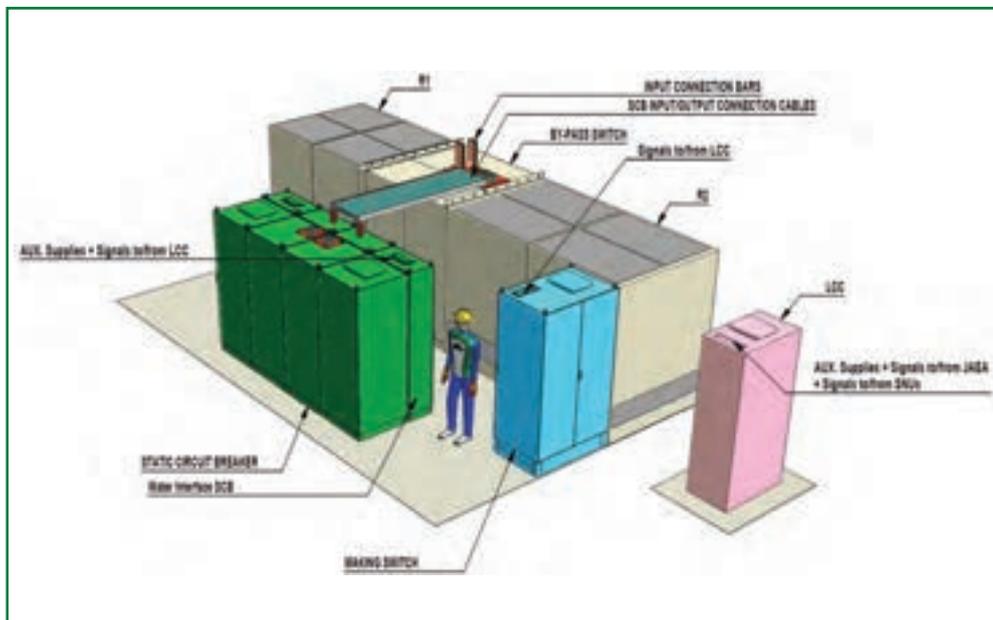
(International Fusion Materials Irradiation Facility). L'ENEA partecipa al programma provvedendo allo sviluppo del target per la produzione dei neutroni alla energia da Fusione, alle relative attività di manutenzione remotizzata, allo studio dei fenomeni di corrosione ed erosione dei metalli in presenza di litio e alla validazione dei sistemi di purificazione del litio.

IFERC

L'attività condotta nell'ambito del progetto IFERC riguarda lo studio di compositi di SiC/SiC di principale interesse per le tecnologie necessarie allo sviluppo di DEMO. L'ENEA ha il compito di studiare le proprietà meccaniche e chimico-fisiche di tali compositi e di sviluppare un'analisi di modello in grado di simulare e interpretare le prove meccaniche su campioni.

FAST

Nell'ambito del programma internazionale si intende realizzare un esperimento di fusione denominato FAST, Tokamak compatto, in grado di realizzare scenari di elevate prestazioni ed impulso lungo. FAST dovrebbe operare a partire dagli ultimi anni della costruzione di ITER. Lo scopo è quello di preparare gli scenari operativi di ITER simulando l'effetto delle particelle alfa mediante ioni accelerati da sistemi di riscaldamento ausiliario. L'uso di soluzioni tecnologiche innovative per i componenti ad alto flusso termico, sviluppate in ENEA, e le scariche di lunga durata consentono di provare componenti in condizioni rilevanti per il funzionamento di ITER e DEMO.



Layout 3D in scala del prototipo di SNU nella sua configurazione definitiva



Assieme della prima bobina al termine delle operazioni di impilaggio dei 6 DP e dopo la rimozione del lamierino per impregnazione

RISULTATI

Macchina JT-60SA

Le attività svolte riguardano la fornitura di 9 moduli di magneti di campo toroidale della macchina JT-60SA.

La prima fase necessaria alla realizzazione dei nove moduli è la realizzazione dei Winding Pack (WP) impregnati. Le bobine del sistema magnetico toroidale di JT-60SA sono costituite dalla sovrapposizione di 6 doppi pancake, per un totale di 72 spire di cavo superconduttore in NbTi. Il peso complessivo della bobina al termine dell'impregnazione è di circa 6.3 tonnellate, l'ingombro massimo circa 7.5 m x 4.4 m. La fabbricazione prevede l'esecuzione di tre passi fondamentali: i) avvolgimento del conduttore sulla forma a D per formare il doppio pancake; ii) impilaggio dei doppi pancake e nastratura contro-massa; iii) impregnazione e prove di accettazione finali.

La fabbricazione dei nove moduli di magneti si completerà con l'inserimento delle bobine nelle relative casse di contenimento in acciaio AISI 316L. Per la validazione dei metodi realizzativi sono state completate tutte le attività di qualifica dei processi speciali coinvolti. In particolare è opportuno ricordare: il processo di impregnazione, il processo di inserimento della trave di impregnazione nei mock-up della cassa; la saldatura di quest'ultimi; tutte le attrezzature per la fabbricazione e trasporto delle nove bobine sono state acquisite. Nel corso del 2014 sono state collaudate presso gli stabilimenti ASG di Genova le ultime attrezzature previste. Si tratta dell'attrezzatura di inserimento della bobina nella cassa e dell'attrezzatura di impregnazione in cassa (embedding).

Riguardo la realizzazione delle strutture di contenimento delle bobine toroidali JT-60SA, sono state eseguite le realizzazioni di componenti ed assiemi per la costruzione delle casse a forma di D contenenti le bobine. In particolare sono stati realizzati elementi ricavati da laminati per la composizione di 15 gambe dritte e curve e due gomiti realizzati con il nuovo materiale forgiato.

L'ultima parte delle attività in cui ENEA è impegnata riguarda la realizzazione di parte degli alimentatori dei magneti poloidali di JT-60SA ed in particolare sono stati sviluppati i disegni di fabbrica e layout, i

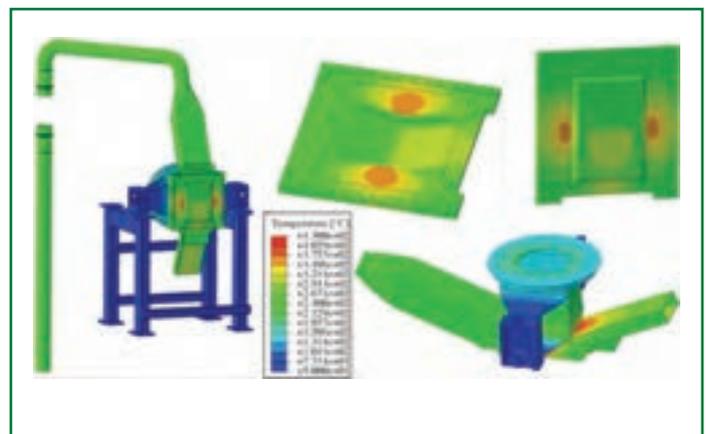


Gamba curva in fase di saldatura degli accessori esterni

disegni meccanici e funzionali e gli schemi elettrici di potenza, protezione, misure comando e controllo necessari per la realizzazione degli alimentatori. I trasformatori sono stati costruiti e sottoposti a campagne di test di corto-circuito presso il laboratorio CESI di Milano e misura della temperatura negli avvolgimenti secondari.

Progettazione e qualifica ingegneristica del target IFMIF

La prima parte di attività svolte da ENEA riguarda forniture ed implementazioni comuni per progettazione, costruzione ed operazioni riguardanti l'impianto a litio EVEDA Loop per IFMIF. Sono state condotte due campagne sperimentali per il rilevamento dei fenomeni di cavitazione sull'impianto EVEDA Lithium Test Loop (ELTL) di Oarai (Giap-



Simulazione termica nel TA fi IFMIF

pone). In entrambe le campagne sono stati utilizzati i sistemi CASBA per la misura della cavitazione progettati dall'ENEA. L'attività è stata articolata in accordo alle fasi di completamento dell'installazione e commissioning del sistema, due campagne sperimentali e post analisi dei dati e risultati finali. L'installazione dei dispositivi per la cavitazione è stata eseguita dal personale JAEA (Japan Atomic Energy Agency) nel Novembre 2013, mentre l'ENEA ha completato i montaggi dell'elettronica ancora mancante, come i sistemi di pre-amplificazione dei segnali, ed ha eseguito il commissioning della catena di misura e la sua calibrazione.

La seconda parte delle attività riguarda forniture ed implementazioni comuni per sperimentazioni della corrosione/erosione per IFMIF. L'impianto Lifus6 è stato progettato e realizzato nel centro ENEA del Brasimone allo scopo di effettuare test di resistenza alla corrosione/erosione esercitata da Litio liquido fluente alla temperatura di 350°C.

Una ulteriore parte di attività riguarda forniture ed implementazioni comuni per la qualifica sperimentale del sistema di purificazione del litio per IFMIF. A tale riguardo è stata eseguita la validazione sperimentale della procedure di analisi offline della purezza del litio e stima della cinetica di purificazione. L'ultima attività riguarda forniture ed implementazioni comuni per sviluppo e la qualifica del sistema di manipolazione remotizzata del target di IFMIF.

Attività IFERC

La prima parte di attività riguarda lo studio di composti in SiC/SiC ed in particolare la produzione e la

fornitura di tubi di medio e grosso diametro, di prismi a sezione quadrata in SiCf/SiC e delle tecnologie e di campioni di acciaio ferritico con rivestimento in SiC/SiC monolitico o SiCf/SiC. La realizzazione dei componenti e dei campioni è stata propedeutica allo sviluppo delle tecniche di collegamento di SiC/SiC su matrice di acciaio per le differenti tipologie di forme e dimensioni di tubi previste.

La successiva attività di ricerca riguarda la progettazione e costruzione di una camera sperimentale per prove di erosione-corrosione ad alta temperatura (1000°C) di campioni di SiC/SiC in litio-piombo.

FAST il nuovo esperimento satellite Europeo

L'attività di ricerca riguarda l'analisi del problema del power exhaust e del suo smaltimento su componenti metallici in EAST basato su soluzioni FAST-like, in vista della sua applicazione a JT-60SA. In particolare le attività si sono concentrate sullo studio del power exhaust e dell'interazione tra centro e bordo del plasma in EAST e FAST e poi sullo sviluppo della configurazione di plasma di tipo "Snow-Flake" FAST-like per EAST.

La seconda parte delle attività ha riguardato lo studio preliminare delle soluzioni di sostituzione da remoto del divertore e della prima parete in EAST, basato su soluzioni FAST-like. In particolare grande attenzione è stata rivolta alla progettazione di componenti affacciati direttamente al plasma, come prima parete (FW) e divertore, per ragioni di movimentazione remota e carichi termo-strutturali.



Cassette del divertore di FAST con tubi di ingresso (a sinistra) e il layout del nuovo circuito di raffreddamento (a destra)

Area di ricerca: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.3.2: Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari a ITER

Referente: A. Pizzuto, aldo.pizzuto@enea.it



Risparmio di energia nei settori Industria, Servizi e Civile

SCENARIO DI RIFERIMENTO

Gli strumenti attuativi delle politiche europee, centrate sull'uso razionale dell'energia e sulla compatibilità ambientale dei sistemi energetici, hanno incrementato considerevolmente le conoscenze sulle singole tecnologie che, unite alla presenza di normative forzanti o incentivanti, rendono economicamente attraente il ricorso alle tecnologie efficienti e alla integrazione delle fonti rinnovabili facendo crescere la domanda di tali tecnologie.

Il Piano d'Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica intende trasformare il

mercato interno dell'energia in modo da fornire ai cittadini infrastrutture, prodotti, processi e servizi energetici che siano globalmente i più efficienti sul piano energetico. Un ruolo fondamentale è assegnato allo sviluppo di strumenti e servizi per l'efficienza energetica - con lo scopo di trovare soluzioni innovative per la riduzione dei consumi (sistemi di controllo, reti attive di distribuzione, integrazione di sistemi di produzione di energia basati su fonti rinnovabili) - e l'abbattimento degli ostacoli e delle barriere che ancora si frappongono all'estensione del mercato, anche attraverso l'analisi di meccanismi di incentivazione normativi ed economici.

OBIETTIVI

Le attività hanno come obiettivo lo sviluppo di strumenti e metodi, che mirano al miglioramento di tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di stimolare nel mercato la circolazione di prodotti più performanti. Poiché il panorama degli stakeholder è piuttosto complesso e caratterizzato da diverse tipo-

logie le attività sono state suddivise in quattro linee di attività principali, che si articolano a loro volta in differenti obiettivi. Le attività che sono state sviluppate in questo anno e che interesseranno anche i prossimi due si articolano attraverso le seguenti quattro linee: i) reti di poligenerazione; ii) gestione ottimale reti di

edifici; iii) sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione; iv) tecnologie per l'industria del freddo. Le attività di questo progetto costituiscono la base per l'applicazione di soluzioni tecnologiche e lo sviluppo di stru-

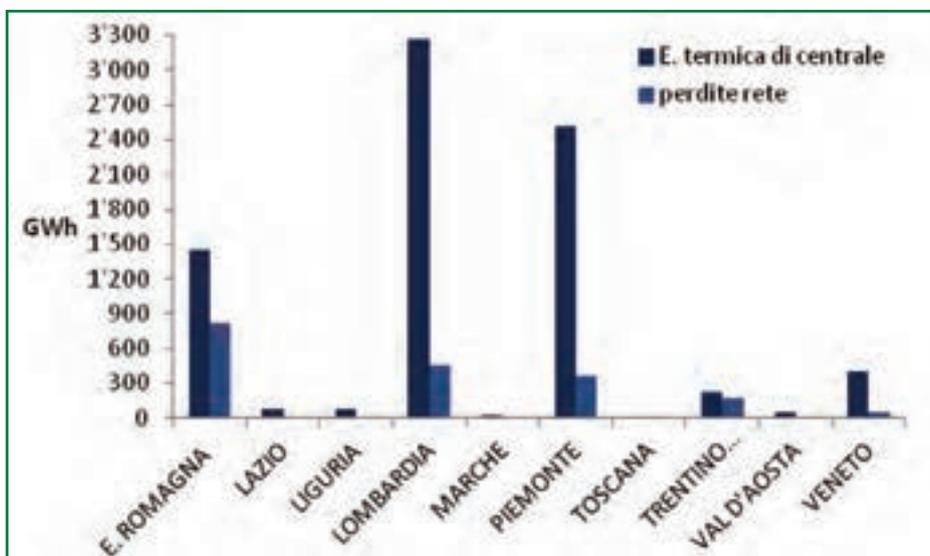


menti di governance atti a favorire il consenso verso tali strategie e la loro diffusione capillare. È evidente che, la disponibilità di poter usufruire di informazioni e soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica nei settori individuati dagli obiettivi elencati è un fattore di cui beneficia il sistema Paese, in generale, e l'utente finale, in particolare.

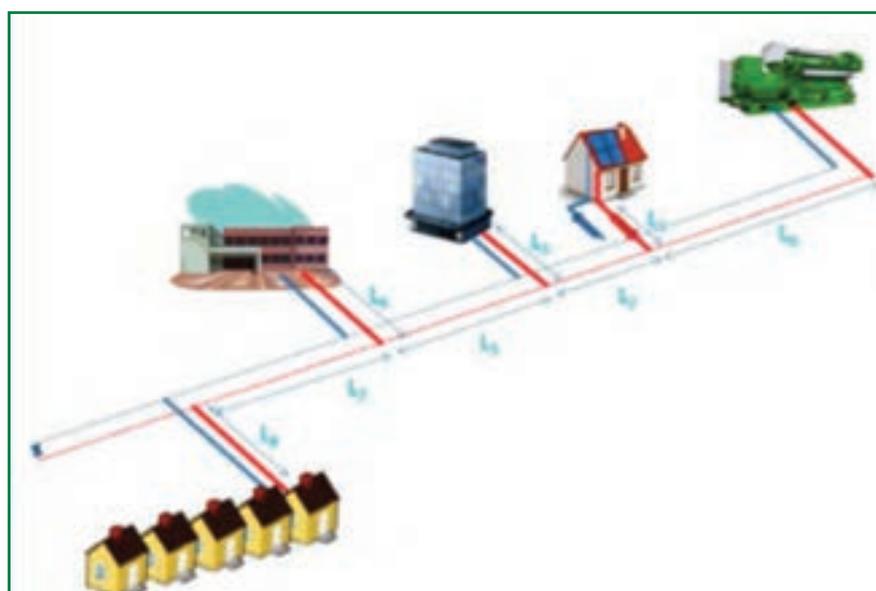
RISULTATI

Reti di poligenerazione

Il primo tema su cui si sono concentrate le attività di ricerca riguarda lo sviluppo di indici per la valutazione delle prestazioni di reti energetiche in assetto poligenerativo e caratterizzazione mediante tali indici di varie topologie di reti reali e simulate mediante codici di calcolo dinamici. In particolare è stata realizzata l'implementazione degli indici di prestazione nella piattaforma software di monitoraggio energetico e la realizzazione di una campagna di simulazioni per valutarne la robustezza e l'applicabilità



Energia Termica e perdite – reti TLR



Schemi funzionali di soluzioni simulate

attenzione alla possibilità di estendere alle reti termiche esistenti il servizio di scambio sul posto già ampiamente collaudato nelle reti elettriche in presenza di generazione distribuita. Sono stati quindi sviluppati nuovi modelli per simulare gli scambi di potenza termica tra rete di teleriscaldamento e utente attivo dotato di proprio impianto solare termico gestito in modalità scambio sul posto ed è stato sviluppato un codice per la lettura da remoto di misuratori termici installati in sottostazione a pie' di stabile.

Infine, è stata sviluppata una metodologia per l'individuazione del potenziale di applicazione e sviluppo delle reti di teleriscaldamento e di teleraffrescamento efficienti locali e su scala nazionale. L'attività ha riguardato l'analisi della domanda di energia per il riscaldamento, l'analisi della produzione termica attuale tramite teleriscaldamento e l'analisi delle reti esistenti, l'analisi territoriale della presenza di possibili fonti di calore utilizzabili dalle reti, la definizione di parametri in grado di indicare la compatibilità tra un aggregato urbano e una rete termica, l'individuazione dei comuni che soddisfino i requisiti di compatibilità e di quelli che presentino possibili fonti di calore utilizzabili.

in varie configurazioni di rete. Inoltre è stata ampliato il modulo di generazione termica della piattaforma con l'introduzione dei maggiori sistemi energetici basati su fonte rinnovabile ed è stata effettuata una analisi exergetica delle configurazioni della rete proposte che ha evidenziato come tale approccio si sia rivelato idoneo a rilevare aspetti prestazionali legati alla qualità del calore fornito e richiesto dall'utenza che l'approccio energetico (indici prestazionali) non consente altrettanto chiaramente.

È stata effettuata una analisi di soluzioni progettuali e gestionali che favoriscono l'implementazione di nuovi servizi energetici nelle reti termiche in presenza di sistemi di poligenerazione con particolare

Gestione ottimale di reti di edifici

Le attività di ricerca riguardano lo sviluppo di una metodologia per la gestione integrata di una rete di edifici terziari da applicare in uno Smart Village sperimentale, al fine di supportare il gestore energetico nell'attuare politiche di controllo della domanda basate su una modellistica avanzata che non penalizzi il comfort dell'utente evitando quanto più possibile distacchi dalla rete. In particolare le attività hanno riguardato:

1. estensione dei modelli diagnostici e di controllo,
2. sviluppo e validazione su simulatore di metodologie per active demand,
3. partecipazione ai network di ricerca europei e disseminazione scientifica.

In particolare è stato realizzato un modello di dia-

gnostica della climatizzazione e sviluppo modulo supervisione BEMS, sono state sviluppate le logiche di diagnostica per il caso termico che tengono conto degli indicatori di preprocessing, situation assessment e cause con validazione e analisi dei dati di monitoraggio. Per lo sviluppo di sistemi di diagnostica remota e automazione avanzata di reti di edifici è stata realizzata un'interfaccia grafica a uso dell'energy manager tramite lo sviluppo di moduli software, commissionati alla società Harpa Italia, in grado di consentire la visualizzazione in tempo reale degli eventi all'interno dello Smart Village del CR Casaccia, in particolare afferenti alle tematiche esaminate: building, lighting e mobility.

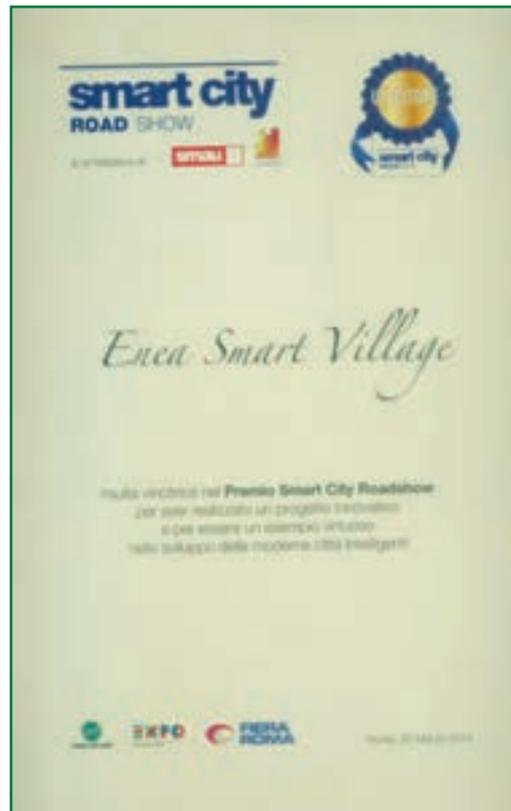
È stato implementato e validato un simulatore di metodologie per active demand attraverso l'implementazione di un modello già sviluppato nelle precedenti attività di ricerca, che implementa tecniche per la modulazione dell'erogazione dell'energia in funzione della domanda che diviene parte attiva del sistema in quanto resa flessibile e adattabile.

Sviluppo di prodotti efficienti per l'illuminazione

La prima tematica studiata riguarda la sperimentazione di materiali TAT per dispositivi luminescenti realizzati tramite l'impiego di materiali organici (OLED) e in particolare sulla sintesi e la sperimentazione di materiali innovativi, con riferimento alla famiglia dei triazatruxeni (TAT), per ottenere migliori prestazioni ed efficienza. L'attenzione di ENEA è stata focalizzata sullo studio della struttura dei dispositivi che fosse più adatta per massimizzare le potenzialità dei nuovi materiali triazatruxeni (TAT)



Visualizzazione flussi pedonali nel centro Casaccia - ENEA



sintetizzati.

La seconda tematica di ricerca riguarda la progettazione e la sperimentazione di installazioni efficienti a LED finalizzate allo sviluppo di un sistema di illuminazione per l'industria, per valutare l'impatto e possibili scenari applicativi delle nuove tecnologie. Le attività comprendono la sperimentazione del sistema HumbleBee e in parallelo studi sugli effetti della luce sull'attenzione e sulla vigilanza nonché sul problema della resa dei colori legato alle nuove sorgenti, sperimentazione di sistemi di informazione geografica (GIS) per mappatura della pubblica illuminazione in Italia e infine la partecipazione a lavori normativi e l'attività a livello europeo sulle Direttive Ecodesign ed Etichettatura Energetica. L'ultima tematica riguarda il progetto Lumiere e in particolare lo sviluppo del progetto Osservatorio e del tool di monitoraggio degli impianti riqualificati.

Tecnologie per l'industria del freddo

È stata effettuata una caratterizzazione mediante naso elettronico commerciale, dell'atmosfera interna della cella frigorifera caricata con ortofrutta fresca al fine dello sviluppo di un naso elettronico in-

novativo finalizzato al risparmio energetico. In particolare è stato sviluppato un sistema di monitoraggio automatico e regolazione delle condizioni di esercizio degli impianti frigoriferi per lo stoccaggio e il trasporto refrigerato dell'ortofrutta al fine di ottimizzare il consumo energetico e migliorare la qualità organolettica dell'ortofrutta.

In parallelo è stata svolta l'ottimizzazione e caratterizzazione su tavola vibrante e ultrasonora di pannelli sandwich contenenti Materiali a Cambiamento di Fase (PCM) per la realizzazione di celle frigorifere per il trasporto ferroviario. È stato sviluppato un prototipo di pannello contenente Paraffina e caratterizzato da una struttura a reticolo a maglia quadrata di 81 tasche parallelepipediche aventi dimensioni 5 cm x 5 cm x 3 cm di profondità. I moduli di pannello sono stati prodotti utilizzando: lamierino di acciaio plastificato dello spessore di 8/10 mm, schiuma poliuretanic, strato di paraffina incapsulata nel sistema di packaging ideato e infine il telaio laterale in tavola di legno. Le prove ultrasoniche eseguite prima e dopo i test su tavola vibrante hanno evidenziato che non si sono verificate sostanziali attenuazioni nella trasmissione dei segnali imputabili a presenza di vuoti rilevabili da possibili scollamenti/delaminazioni/cambiamenti di fase.



Predisposizione dei test di percezione visiva con all'interno inseriti i Macbeth Color Checker



Nodi sensoriali realizzati e caratterizzati per il monitoraggio ortofrutta



Prototipo di pannello multistrato contenente materiale PCM

Area di ricerca: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto C.1: Risparmio di energia nei settori Industria, Servizi e Civile

Referente: I. Bertini, ilaria.bertini@enea.it



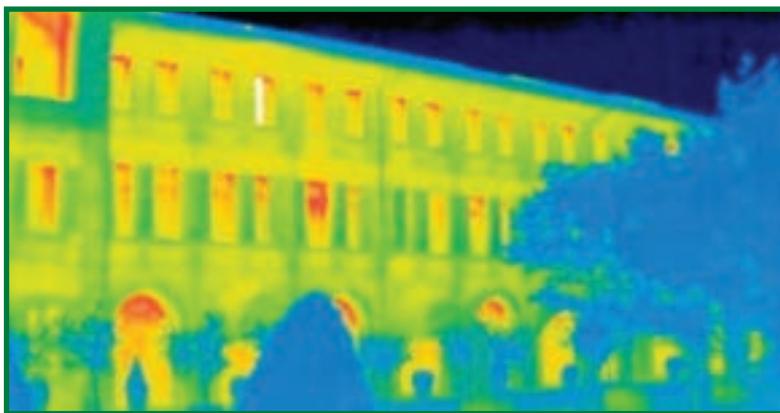
Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

SCENARIO DI RIFERIMENTO

La direttiva 27/2012/CE rimarca il ruolo dell'efficienza energetica nel settore civile e prescrive agli Stati membri una serie di azioni e interventi sugli edifici della PA centrale quali: la riqualificazione energetica del parco edifici per una quota annuale, a partire dal 2014, corrispondente al 3% della superficie utile del parco

stesso; attività di formazione; diffusione e promozione di sistemi per cogenerazione e teleriscaldamento. Tale direttiva riprende molti dei criteri presenti nella direttiva 31/2010/CE che obbliga tra l'altro gli Stati membri a do-

tarsi di standard e strumenti in grado di assicurare e accelerare l'attuazione dei programmi per l'efficienza e il risparmio energetico e raggiungere l'obiettivo del nearly Energy Zero Building (nEZB). In particolare gli edifici pubblici, nuovi o soggetti a riqualificazione, dovranno rispettare lo standard nEZB dal 1° gennaio 2019, mentre tutti gli altri, anche privati, lo dovranno rispettare dal 1° gennaio 2021. La realizzazione di interventi di efficienza energetica nel settore pubblico va inquadrata in un'azione di sistema che ottimizzi l'impiego delle risorse finanziarie programmando e dimensionando l'area d'intervento, sulla base dei dati disponibili, e creando la giusta massa critica anche con l'aggregazione di territori limitrofi quanto più omogenei. Sono pertanto necessari sia lo sviluppo di strumenti per la valutazione degli indicatori di efficienza energetica, dei componenti volti a migliorare le prestazioni dell'involucro e degli impianti e servizi tecnologici integrati, sia lo studio di particolari forme di finanziamento.



OBIETTIVI

Le attività hanno lo scopo di dare un significativo contributo al raggiungimento degli standard europei e nazionali sull'efficienza energetica degli edifici e definire valori di benchmark e di riferimento prestazionali a supporto della normativa e delle politiche energetiche. È stata, pertanto, sviluppata, facendo ri-

ferimento alle linee guida della Commissione UE Regolamento N. 244/2012/UE, una metodologia comparativa cost-optimal la cui applicazione ha richiesto la definizione di edifici di riferimento per il residenziale (villino, piccolo condominio e

grande condominio) e non residenziale (uffici), l'individuazione di schede tecniche per edificio e tabelle intervento con 15 tipologie di intervento (involucro e impianti) e un set di standard prestazionali su cui sviluppare le opportune simulazioni per determinare i valori di efficienza energetica raggiungibili, tenendo conto anche dei costi e del rapporto costo/beneficio; Gli obiettivi specifici sono articolati come segue:

- Analisi dei consumi energetici degli edifici non residenziali con particolare attenzione a quelli a uso pubblico, attraverso l'applicazione di tecnologie e sistemi di rilevamento e di sistemi innovativi di monitoraggio.
- Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva.
- Studio di edifici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio, applicabilità di tecnologie innovative nei diversi climi italiani.
- Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile.

- Sviluppo e assessment di cool material per l'efficienza energetica e il controllo ambientale a scala urbana e di edificio.
- Sviluppo di componenti innovativi per la riduzione dei carichi termici per l'edificio.
- Studio e sviluppo di metodologie e strumenti per le valutazioni di interventi di efficienza energetica per gli edifici pubblici e privati finalizzati al nEZB (nearly Zero Energy Building).
- Sviluppo e promozione di strumenti software per la comunicazione e la sensibilizzazione presso l'utenza.

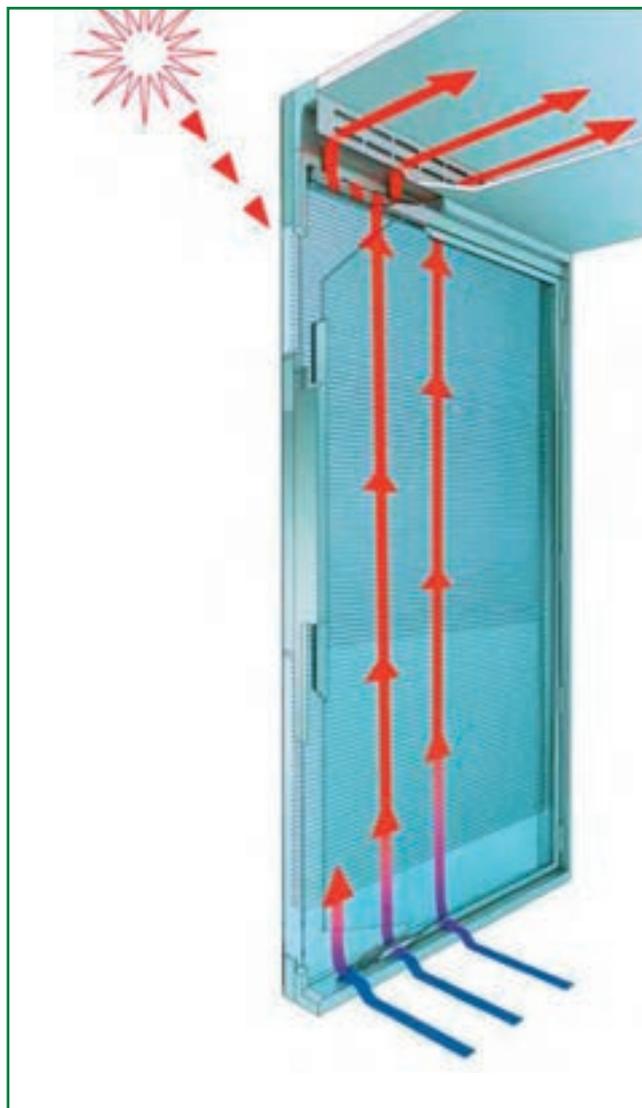
RISULTATI

Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso, ufficio e scuole. Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica

I temi affrontati sono quelli relativi alla realizzazione di edifici Nearly Energy Zero Building, per il nuovo e l'esistente da riqualificare, le disposizioni introdotte in materia di monitoraggio dei consumi degli edifici, l'applicazione della metodologia cost-optimal in fase di revisione, e che dovrà essere integrata da un'analisi di sensibilità sugli standard prestazionali proposti in considerazione del fattore costo/beneficio, la messa a punto di strumenti e modelli per favorire gli interventi di riqualificazione negli edifici della PA, la realizzazione di un dimostratore, e la definizione di modelli di aggregazione della domanda rivolta, in modo particolare, alle PA di medie e piccole dimensioni. In particolare sono stati studiati:

Analisi e strumenti

L'attività svolta riguarda l'analisi critica dei dati sui consumi elettrici del terziario con l'individuazione delle innovazioni ai fini del contenimento dei consumi elettrici e in generale dei consumi energetici degli edifici e dei costi dei nZEB da parte della Pubblica Amministrazione. Il passo successivo è stato quello dell'Analisi dell'influenza del comportamento dell'utenza sui consumi energetici finali degli edifici attraverso lo studio dei fattori influenzanti, dei modelli probabilistici per la simulazione degli occupanti e dei profili comportamentali tipo. Sono stati poi studiati materiali e sistemi innovativi per l'involucro edilizio opaco proponendo un abaco di soluzioni, modelli per la simulazione termoenergetica e metodi di analisi sperimentale. Sono state effettuate analisi delle barriere che ostacolano l'accesso, da parte dei

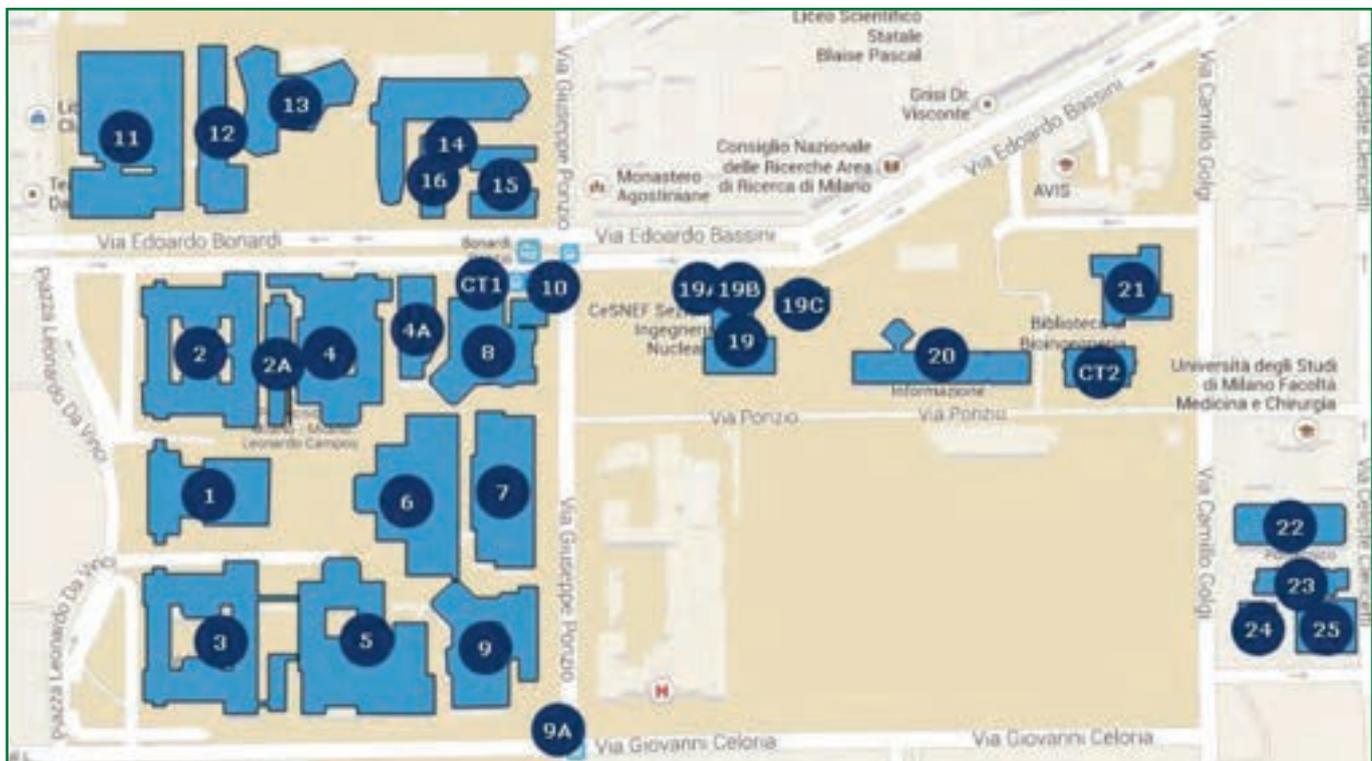


Schema di facciata a doppia parete

Comuni italiani, ai fondi disponibili a livello europeo e locale a supporto degli interventi di efficienza energetica nella Pubblica Amministrazione ed è stato sviluppato il SW SEAS per le diagnosi energetiche negli edifici e Corsi informativi/formativi del Tool informatico per le diagnosi energetiche degli edifici. Infine è stata approfondita l'applicazione della metodologia comparativa di cui all'articolo 5 della direttiva 2010/31/UE, a tipologie di edifici esistenti soggetti a ristrutturazione e riqualificazione energetica, con adattamento al contesto italiano.

Caratterizzazione edifici

Sono stati affrontati due principali tematiche: la ricerca sul territorio nazionale per determinare la consistenza e la caratterizzazione del parco edifici riferiti agli ospedali del settore pubblico e la caratterizzazione degli edifici non residenziali ad uso scolastico della PA siciliana.



Mappa degli edifici del Campus Città Studi (Milano) in cui sono stati installati gli x-meters di lettura degli assorbimenti elettrici

Sviluppo sistemi

In tale ambito la ricerca si è focalizzata sulle potenzialità offerte dall'accumulo termico a lungo periodo dell'energia solare, sia per soddisfare la produzione di riscaldamento e raffrescamento ambienti, sia per quello che riguarda l'integrazione nella struttura dell'edificio delle tecnologie captanti la radiazione e di accumulo dell'energia prodotta per gli edifici NEZB. Parallelamente è stato indagato l'efficientamento energetico degli edifici caratterizzati da grandi volumi mediante l'utilizzo del gas come un unico vettore energetico e sistemi tecnologici di micro generazione distribuita con successiva valutazione di applicabilità del metodo RTS come codice di calcolo per la certificazione energetica degli edifici.

Sviluppo modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni

È stata realizzata la progettazione di uno strumento di calcolo per la redazione del bilancio energetico territoriale, lo studio e la validazione di un modello previsionale di consumo energetico per la verifica dell'efficienza energetica dei centri sportivi. Sono state sviluppate le linee guida per l'applicazione di piccole e medie reti di teleriscaldamento nei comuni in fascia climatica E e F ed è stata effettuata una indagine sulla conoscenza e diffusione del teleriscal-

damento nei comuni in zone E ed F e analisi dei dati di tre reti. Infine è stata sviluppata una metodologia per il labelling energetico di componenti trasparenti per l'involucro edilizio, lucernari e infissi

Analisi dei modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni

È stata effettuata una analisi delle barriere che ostacolano l'accesso, da parte dei Comuni italiani, ai fondi disponibili a livello europeo e locale a supporto degli interventi di efficienza energetica nella PA. È stato realizzato un rapporto sulla raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a scuole ed uffici e sono state stese le linee guida per l'Energy Performance Contract, coerente con la Direttiva 27/2012/UE, da utilizzare dalle PA. Infine, è stato realizzato l'intervento dimostrativo di riqualificazione energetica in un edificio pubblico con destinazione d'uso scolastico.

Proposta di applicazione dell'Indice di Severità Climatico per la zonizzazione estiva

L'attività ha riguardato la definizione delle zone climatiche estive e della durata della stagione di climatizzazione estiva per gli edifici residenziali nel

territorio italiano attraverso la metodologia dell'indice di severità climatica

Sviluppo e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologiche

È stata completata l'attività "ECO-GREENROOF & VERTICAL GREENERY SYSTEM" che ha riguardato la validazione di modelli semplificati per il bilancio energetico dei fabbricati ed è stata effettuata una analisi del comportamento energetico di un fabbricato-tipo in assenza/presenza di tetto/parete verde per ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici in area urbana, rispetto alle aree climatiche italiane. È stata completata la validazione di modelli di simulazione semplificati per il bilancio energetico dei fabbricati dotati di coltri vegetali ed è stato effettuato uno studio sul comportamento radiativo e termico di componenti di involucro produttori di energia.

Sviluppo, sperimentazione e caratterizzazione di materiali innovativi (Cool materials)

È stata effettuata una valutazione parametrica delle prestazioni dell'involucro edilizio semitrasparente per illuminazione artificiale e climatizzazione estiva nel contesto Italiano e la caratterizzazione dei cool material per le chiusure verticali dell'involucro edilizio con valutazione parametrica delle prestazioni dell'involucro edilizio semitrasparente nel contesto italiano.

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

È stato sviluppato e sperimentato il piano integrato di comunicazione con successiva analisi dell'utilizzo di ambienti virtuali di apprendimento per la formazione di tecnici nel settore dell'Efficienza Energetica.



Esempio di cappotto esterno riflettente (SA.M.E.): strato esterno in ossido di magnesio; Isoliving in doppio strato; montanti a pettine in ABS (studiati in modo tale da assicurare la posa corretta dell'isolante riflettente)

È stata effettuata la definizione, la validazione e la verifica di requisiti di ecodesign e di etichettatura energetica per gli apparecchi domestici, professionali e commerciali, in particolare nel settore refrigerazione, lavaggio, cottura, condizionamento e illuminazione. È stato infine sviluppato un tool informatico per l'uso efficiente delle apparecchiature elettriche nel residenziale.

Comunicazione e diffusione dei risultati

È stata studiata una piattaforma in grado di implementare una comunicazione che principalmente si pone l'obiettivo di stimolare, promuovere ed aumentare la cultura del risparmio energetico, divenendo il punto di riferimento, in special modo per tutte quelle P.A, intenzionate a trasformare il risparmio energetico in un valore in grado di caratterizzare il comportamento dei suoi dipendenti.

Area di ricerca: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto C.2: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

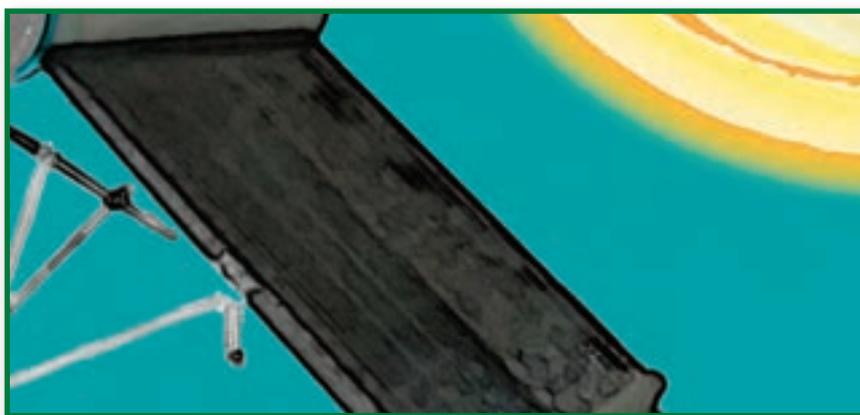
Referente: G. Fasano, gaetano.fasano@enea.it



Utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione

SCENARIO DI RIFERIMENTO

La volontà di investire nelle attività di ricerca per l'utilizzo del calore solare nella climatizzazione deriva dai crescenti costi dell'energia e dal sempre più evidente impatto sull'ecosistema mondiale dell'inquinamento e dei cambiamenti climatici connessi con le tecnologie di produzione dell'energia attualmente utilizzate. In particolare, una riflessione per la tutela e la preservazione dell'ambiente per le generazioni future si impone riguardo l'uso di fonti primarie quali i combustibili fossili, gasolio e gas, per il riscaldamento e la climatizzazione. Il progetto di ricerca ha lo scopo di incrementare il livello di sostenibilità energetica del comparto residenziale, intendendo con il termine sostenibilità energetica la produzione e lo sfruttamento dell'energia in modo da consentire un miglioramento ambientale e socioeconomico sia per la singola utenza, sia per il sistema (produttivo e utilizzatore) globale. La notevole importanza del progetto può essere resa evidente dicendo che, a livello quantitativo, il comparto residenziale è responsabile del 40% del consumo energetico globale nell'Unione Europea (secondo la Direttiva Europea 2010/31/UE del 19 maggio 2010). Per questo motivo, come riportato nella medesima Direttiva, "la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti e necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra". Un'ulteriore problematica legata alle richieste energetiche del comparto residenziale è posta dalla crescente proliferazione di impianti di condizionamento



dell'aria in tutti i paesi industrializzati. Questo, come ancora riportato nella direttiva succitata, "pone gravi problemi di carico massimo (in particolare nel periodo estivo, quando, più in generale, aumentano anche le necessità di alimentazione della catena del freddo), che causano un incremento del costo dell'energia elettrica e uno squilibrio del bilancio energetico". Per ridurre tali problematiche, oltre agli interventi suggeriti dalla Direttiva citata, finalizzati al miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici durante il periodo estivo, si deve promuovere un uso razionale e maggiormente responsabile delle fonti energetiche (rinnovabili e non) disponibili. Per questi motivi, il progetto è indirizzato verso l'approfondimento di quelle attività teoricamente in grado di ridurre al minimo il contributo delle fonti energetiche tradizionali per il riscaldamento degli ambienti, per il raffrescamento degli stessi e per la produzione di acqua calda sanitaria, massimizzando il ricorso alle fonti energetiche di tipo rinnovabile. In linea generale, seguendo anche quanto proposto nella ASHRAE Green Guide (2006) si possono indicare le seguenti linee guida per la realizzazione di una catena energetica di tipo sostenibile:

• efficiente sfruttamento delle risorse naturali non rinnovabili, del suolo, dell'acqua e sfruttamento delle energie rinnovabili in sito in modo da ottenere un consumo netto di energia nullo o comunque la minimizzazione del consumo di risorse naturali;

• minimizzazione delle emissioni che impattano negativamente sugli ambienti confinati in cui vi-

edifici durante il periodo estivo, si deve promuovere un uso razionale e maggiormente responsabile delle fonti energetiche (rinnovabili e non) disponibili. Per questi motivi, il progetto è indirizzato verso l'approfondimento di quelle attività teoricamente in grado di ridurre al minimo il contributo delle fonti energetiche tradizionali per il riscaldamento degli ambienti, per il raffrescamento degli stessi e per la produzione di acqua calda sanitaria, massimizzando il ricorso alle fonti energetiche di tipo rinnovabile. In linea generale, seguendo anche quanto proposto nella ASHRAE Green Guide (2006) si possono indicare le seguenti linee guida per la realizzazione di una catena energetica di tipo sostenibile:

- efficiente sfruttamento delle risorse naturali non rinnovabili, del suolo, dell'acqua e sfruttamento delle energie rinnovabili in sito in modo da ottenere un consumo netto di energia nullo o comunque la minimizzazione del consumo di risorse naturali;
- minimizzazione delle emissioni che impattano negativamente sugli ambienti confinati in cui vi-

viamo e sull'atmosfera del pianeta (il particolato aerodisperso, le piogge acide e tutte le emissioni che influiscono sulla qualità dell'aria interna, sull'effetto serra e sul riscaldamento globale);

- minimizzazione dello scarico di rifiuti solidi e liquidi (scarti, rifiuti domestici, liquami e acque meteoriche) e contenimento delle infrastrutture necessarie per la loro rimozione;
- minimizzazione dell'impatto negativo sugli ecosistemi locali;
- massimizzazione della qualità degli ambienti confinati (in particolare qualità dell'aria e comfort termico).

OBIETTIVI

Il proposito del progetto di ricerca è quello di mostrare come l'utilizzo appropriato delle fonti di energia rinnovabile disponibili e l'adozione di sistemi produttivi integrati, in grado di sfruttare in maniera ottimale tutti i flussi termici prodotti, possano soddisfare i punti sopra indicati consentendo di ottenere i desiderati risultati di risparmio, efficienza energetica e salvaguardia ambientale. L'impiego dell'energia solare nella stagione estiva per il condizionamento dell'aria costituisce una soluzione tecnica molto interessante dal punto di vista energetico, vista la coincidenza della domanda di climatizzazione con la disponibilità di energia solare. Lo sviluppo delle tecnologie di solar heating & cooling e il raggiungimento di elevati livelli di produttività e affidabilità può consentire l'impiego di tali sistemi anche in ambito industriale, laddove sia richiesta una produzione di calore di processo a media temperatura. Oltre che alla climatizzazione elio-assistita, le tecnologie solari termiche a bassa e media temperatura possono contribuire in maniera sostanziale allo sviluppo e diffusione di sistemi combinati per la produzione di calore ed elettricità (CHP - Combined Heat Power). In tale contesto l'obiettivo del progetto è quello di sviluppare componenti innovativi e competitivi, in grado di fornire adeguate prestazioni a costi contenuti ed una varietà di soluzioni tecnologiche che consenta la scelta impiantistica ottimale in funzione della taglia dell'impianto, del tipo di fonte energetica disponibile, di output energetico richiesto e per ogni situazione climatica presente nel territorio nazionale.

Blocchetto di schiuma di SiC e provino di schiuma riempita con la paraffina A46, in fase di preparazione per il test sperimentale

RISULTATI

Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi

L'attività riguarda la progettazione, realizzazione, messa in funzione e l'analisi sperimentale dei prototipi di componenti innovativi costituenti il sistema integrato in grado di assolvere l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale. In particolare gli aspetti principali della ricerca sono:

- evoluzione tecnologica dell'accumulo termico del tipo a cambiamento di fase (Phase Change Material) installato nell'impianto di solar heating and cooling realizzato a servizio dell'edificio F92. Sono investigati nuovi materiali a cambiamento di fase in grado di assicurare performance più elevate in termini velocità di risposta del PCM alla variazione di temperatura del fluido primario all'interno del quale sono immersi, e con caratteristiche tali da massimizzare le prestazioni complessive considerando sia il funzionamento invernale (Tottimale = 46 °C) che estivo (Tottimale = 88 °C);
- studio e applicazione delle vapor chamber in sistemi solari termici. Le vapor chamber sono una nuova e avanzata applicazione di scambio termico derivante dalla più ben nota tecnologia degli Heat Pipe. Le vapor chamber sono capaci di elevatissimi flussi di scambio termico, anche pari a circa 350 W/cm². L'attività riguarda lo studio e la rea-



Impianto HETNA-PCM e, a destra, un tubo contenente il PCM S46



lizzazione delle vapor chamber e di un innovativo prototipo di collettore solare termico che le utilizza, consentendo di eliminare la necessità di avere l'antiestetico accumulo separato esterno (bollitore) integrandolo nel collettore stesso e permettendone l'installazione anche nelle località in cui il regolamento comunale prevede esplicitamente il divieto di installazione di collettori solari termici con serbatoio di accumulo esterno;

- ottimizzazione delle prestazioni di un prototipo di condizionatore d'aria compatto, alimentato ad energia solare, progettato per la ventilazione, la deumidificazione ed il raffreddamento di utenze di tipo residenziale. Si tratta di un sistema compatto Solar DEC (denominato FREESCO) di piccola taglia a letti fissi raffreddati, che ospita nella parte sottostante il collettore solare ad aria tutti i componenti necessari al suo corretto funzionamento (due letti adsorbenti raffreddati, una piccola torre di raffreddamento integrata, due scambiatori evaporativi a pacco, due ventilatori, due circolatori d'acqua e alcuni ausiliari necessari alla realizzazione del processo di trattamento). Le attività di ricerca saranno finalizzate alla realizzazione del set-up sperimentale, al monitoraggio e all'analisi dei dati sperimentali di funzionamento di un innovativo impianto sperimentale di trattamento dell'aria alimentato ad energia solare che utilizzi questo sistema: l'impianto avrà una massima potenza di raffreddamento pari a circa 2 kW (Test= 35 °C, RHest = 50%, Tlocale = 27 °C, RHlocale = 50%) ed una portata d'aria immessa in ambiente pari a 500 m³/h.



Prototipo collettore solare termico: test preliminari

Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura

L'attività riguarda l'analisi sperimentale e la qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni a media temperatura da destinarsi ai settori della climatizzazione residenziale, commerciale e terziaria, alla produzione di freddo in ambito industriale e alla produzione di calore per alimentare processi co-generativi ad uso industriale.

In particolare è stata svolta una attività di ricerca, sperimentazione e qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni distribuite di piccola taglia a media temperatura destinati sia alla climatizzazione degli ambienti in ambito residenziale, commerciale e terziario, sia alla produzione di freddo in ambito industriale. Tali concentratori possono essere utilizzati anche per fornire calore a processi co-generativi nelle attività industriali quando richiesto. In particolare verranno analizzate le prestazioni energetiche di concentratori di piccola taglia (micro-PTC, micro-LF e CPC) al fine di analizzarne le potenzialità e le eventuali criticità in vista di un loro utilizzo negli ambiti sopra descritti. Verranno messe a punto metodiche e tecniche di analisi ottiche e termofluidodinamiche che tengano conto della particolarità dei componenti da testare soprattutto per quanto riguarda gli aspetti del sistema ottico di concentrazione (misura della radiazione solare concentrata, analisi delle imperfezioni ottiche ecc.); In parallelo è stato completato lo sviluppo, la caratterizzazione e la sperimentazione di concentratori solari modulari compatti che utilizzano ottiche di piccole dimensioni accoppiati a ricevitori basati sulla tecnologia dei mini e micro-canali.

Sviluppo e sperimentazione di pompe di calore elettriche di nuova generazione

Sono stati effettuati test in camera climatica di due prototipi di macchine a compressione di vapore (uno operante con R290 e uno con R134a) al fine di determinarne le prestazioni energetiche nelle condizioni operative previste dalle normative vigenti.

È stato effettuato uno studio teorico-sperimentale sull'ottimizzazione del funzionamento di pompe di calore a CO₂ con radiatori ad elevato salto termico. Questo tipo di elementi è studiato e progettato per funzionare con salti termici elevati, prossimi a 50 °C, con valvole di regolazione termostatiche tradizionali

e/o prototipi di valvole di regolazione elettroniche, che saranno anch'esse testate nel corso dell'attività. L'impiego di tale tecnologia può essere molto redditizio, in quanto le pompe di calore a CO₂ che hanno la caratteristica di produrre acqua ad alta temperatura, oltre 70 °C, mantengono prestazioni molto elevate a patto di mantenere la temperatura dell'acqua di ritorno al condensatore/gas cooler a livelli piuttosto bassi, dell'ordine dei 30 °C. Obiettivo di questa ricerca è quello di valutare sperimentalmente le performance di tali macchine per il riscaldamento domestico, in impianti a radiatori tradizionali in sostituzione delle tradizionali caldaie a gas.

Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali e comunicazione e diffusione dei risultati

Sono svolte sia attività specifiche di comunicazione e diffusione dei risultati ottenuti nel progetto che il supporto ai Ministeri competenti attraverso la partecipazione a gruppi di lavoro internazionali. In quest'ambito ENEA partecipa, quale rappresentante italiano nell'ambito IEA, ai lavori dell'Implementing Agreement "Solar Heating and Cooling", in particolare alle TASK 42 "Compact Thermal Energy Storage: Material Development and System Integration" (attività nell'ambito della WGB-Numerical Modeling Session), Task 48 "Quality assurance and support measures for Solar Cooling" e Task 51 "Solar energy and urban planning". Inoltre, ENEA partecipa ai meeting preparatori di una nuova task IEA SHC denominata "New generation solar cooling systems" cui prenderà parte attivamente.



Predisposizione dei test di percezione visiva con all'interno inseriti i Macbeth Color Checker



installazione su cui sono state eseguite le sperimentazioni in campo e relativo dettaglio dell'apparecchiatura utilizzata per il monitoraggio della radiazione solare

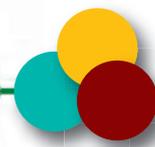


Vista prospettica del locale di prova dell'impianto Solar DEC FREESCO



Facility di prova con pompa di calore a CO₂ abbinata a radiatori a elevato salto termico

*Area di ricerca: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica
Progetto C.3: Utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione
Referente: N. Calabrese, andrea.calabrese@enea.it*



Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità

Il settore della mobilità elettrica è interessato da studi e sperimentazioni per lo sviluppo di nuovi prodotti hardware e software che possano essere utilizzati per migliorarne l'efficienza energetica complessiva e, più in generale, le interazioni con il sistema elettrico, integrandosi in modo competitivo nel contesto delle filiere e dei sistemi produttivi esistenti.

Tra i maggiori risparmi di energia ottenibili per i veicoli elettrici e per gli ibridi "plug-in" vi sono quelli legati alla ricarica delle batterie, sia direttamente grazie al miglioramento dei rendimenti (anche durante la frenata rigenerativa) che indirettamente, per la riduzione dei consumi conseguente alla riduzione del peso della batteria resa possibile dalla "fast charge". Infatti, il peso (e il costo) della batteria diminuiscono in proporzione alla riduzione dell'autonomia, e questa riduzione risulta accettabile se adeguatamente compensata dalla ricarica in tempi brevi (qualche minuto anche con ricariche parziali) in infrastrutture di rifornimento adeguate. Inoltre, nel caso di tecnologie in piena evoluzione come la ricarica rapida e quella "contactless", sono presenti margini di miglioramento dell'efficienza di trasferimento e conversione dell'energia elettrica. Lo sviluppo delle strutture di alimentazione dei veicoli elettrici su gomma offre anche possibilità di positive interazione verso la rete elettrica. Con riferimento agli ambiti applicativi "smart grid" e "smart cities", l'impiego di stazioni di ricarica (e/o degli accumuli elettrici dei veicoli in sosta), può essere utile associato alla generazione distribuita, in quanto l'accumulo elettrico distribuito ha tempi di reazione estremamente brevi. Manca però una conoscenza approfondita delle possibilità di interazione lato "domanda di energia per la mobilità elettrica".



elettrica, secondo le prevedibili linee di sviluppo della stessa. Si procederà infine alla sperimentazione su veicolo della ricarica, con due modalità di ricarica, per contatto e senza.

OBIETTIVI

L'obiettivo del progetto è lo sviluppo di sistemi e componenti innovativi per l'incremento dell'efficienza elettrica delle strutture di alimentazione dei veicoli elettrici stradali collegate alla rete elettrica, con un particolare accento alla sperimentazione della ricarica rapida, tanto in c.c. che in c.a.

Attraverso le attività di ricerca svolte è sviluppato e approfondito il tema delle interazioni tra veicoli elettrici (merci e passeggeri) e reti di distribuzioni dell'energia, con analisi della distribuzione, nel tempo e nello spazio, dei carichi dovuti alla mobilità

elettrica, secondo le prevedibili linee di sviluppo della stessa. Si procederà infine alla sperimentazione su veicolo della ricarica, con due modalità di ricarica, per contatto e senza.

RISULTATI

Sviluppo e realizzazione di un sistema di ricarica contactless per micro vetture

L'attività ha riguardato lo sviluppo di un caricabatteria contactless risonante per la ricarica degli accumulatori (48 V, 100 Ah) di una city car elettrica che costituisce il caso di studio considerato. Il lavoro si è basato sui risultati di attività già svolte nell'ambito dello stesso progetto e che includevano il dimensionamento dei componenti/circuiti di potenza del caricabatteria.

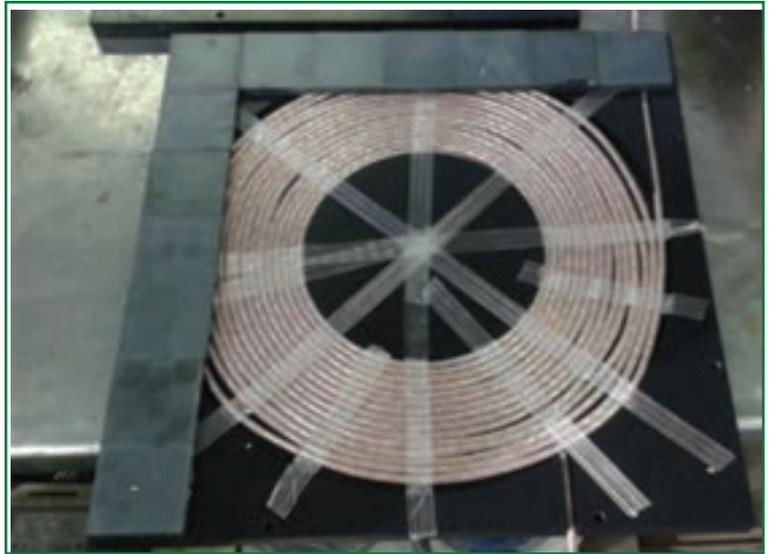
Il lavoro di sviluppo del caricabatteria contactless risonante si è articolato in attività riguardanti:

- la riprogettazione del sistema per l'adeguamento alla frequenza di 85 kHz indicata a livello inter-

nazionale come standard di riferimento (bobine, circuiti di potenza ed interfaccia, controllo)

- l'implementazione di algoritmi di controllo e gestione su DSP;
- l'assemblaggio del prototipo del caricabatteria contactless;
- le prove al banco per la caratterizzazione sperimentale.

Come previsto nel piano di realizzazione, sono stati indagati anche gli aspetti riguardanti l'interazione tra sistema di accoppiamento e utilizzatore attraverso la verifica sperimentale della compatibilità dei campi E/M irradiati con i limiti indicati dalla legislazione.



Bobine Rx e Tx per la ricarica contactless con ferriti

Progettazione e studio di un convertitore per stazione di ricarica rapida in c.c. con accumulo elettrico stazionario, per l'integrazione nel sistema dei trasporti di E.E. da fonti rinnovabili non programmabili

È stato sviluppato un sistema di conversione statica dell'energia elettrica basato su una struttura modulare che consente di interfacciare un'infrastruttura di ricarica per veicoli elettrici anche complessa con diverse sorgenti di alimentazione e sistemi di accumulo. L'obiettivo è quello di ottimizzare i flussi di potenza per diminuire o, addirittura, annullare l'impatto dell'infrastruttura di ricarica sulla rete elettrica di distribuzione. La ricerca svolta si è concentrata non solo su una possibile implementazione del convertitore innovativo ad alta efficienza ma, più in generale, sulla progettazione di una piattaforma numerica che, in funzione delle specifiche relative alle sorgenti di alimentazione e alle esigenze di carico, consentisse di:

- dimensionare la taglia delle singole unità del convertitore;
- definire la migliore tipologia di convertitore di potenza in funzione dell'efficienza di conversione complessiva;
- dimensionare il sistema di accumulo energetico;
- dimensionare l'eventuale sistema di generazione da fonte rinnovabile (principalmente fotovoltaico);
- definire istante per istante i flussi di potenza ottimali.

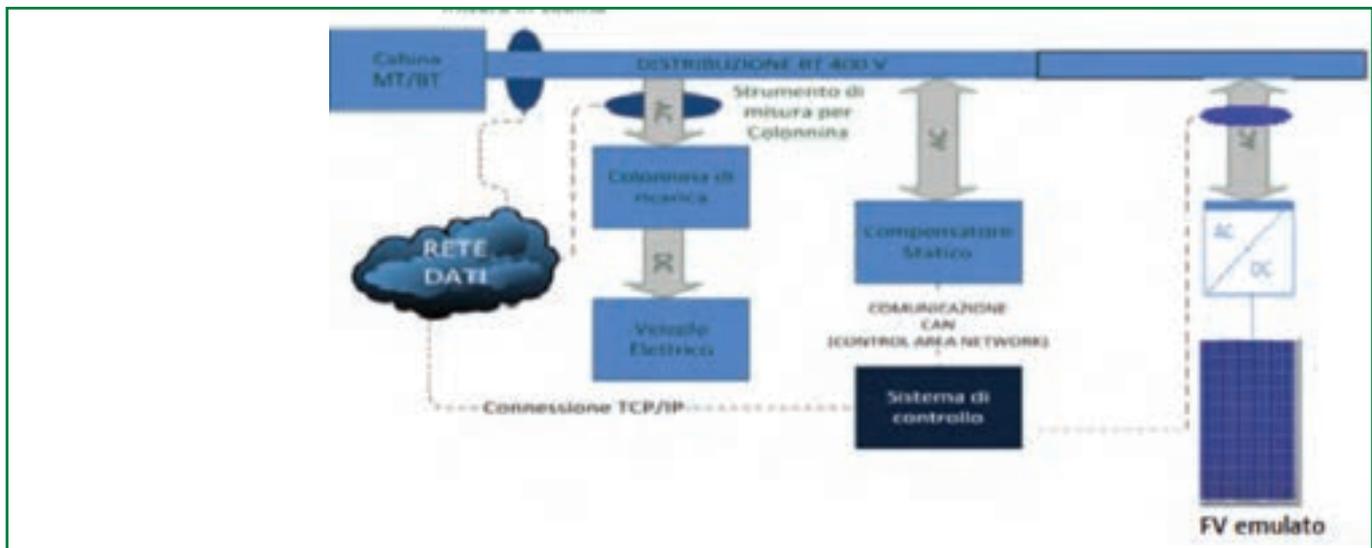
Tale obiettivo è stato raggiunto grazie alla definizione della "funzione di ottimo" che tiene conto di



Banco prova del sistema contactless

molteplici fattori come: il costo dell'energia elettrica in funzione della fascia oraria, il costo e l'usura del sistema di accumulo, il costo e la disponibilità della fonte rinnovabile, il costo del convertitore in funzione della sua tipologia e della sua efficienza, i profili di assorbimento del carico e il piano di ammortamento di tutto l'impianto.

Parallelamente si è sperimentata l'integrazione tra una stazione di ricarica veloce ed un compensatore statico con accumulo stazionario. In particolare sono state implementate e testate in campo le funzioni di erogazione di potenza reattiva a compensazione dell'energia reattiva richiesta dalla stazione e quella di supporto alla richiesta di potenza attiva e reattiva. I risultati hanno mostrato le positive azioni in supporto alla rete locale.



Sistema di ricarica integrato con compensatore statico e impianto FV emulato

Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti

Le attività svolte approfondiscono aspetti dell'elettrificazione della mobilità passeggeri, sia per le autovetture, in funzione di diverse tipologie di veicoli, elettrici "puri" e ibridi "plug-in", sia per il trasporto pubblico locale. In particolare sono stati affrontati i temi riguardanti il V2G (vehicle-to-grid), attinenti gli aspetti di rete e di interfaccia di potenza e l'impatto sul sistema di accumulo, e successivamente lo studio della sensibilità della conversione in elettrico del trasporto pubblico rete elettrica locale.

Nel dettaglio si è valutato come il veicolo PHEV (veicolo ibrido plug-in) possa agevolare il problema del dispacciamento (insorto da quando la produzione dell'energia rinnovabile ha raggiunto livelli non più trascurabili) evitando di accentuarlo. Si è pertanto verificata la strategia V2G in confronto alla carica per solo autotrazione utilizzando dati reali relativi ad un campione significativo di veicoli circolanti in area urbana. Nell'ambito del V2G si è realizzato un modello parametrico per la valutazione degli effetti del V2G sia sul sistema di accumulo veicolare sia sulla rete elettrica locale.

Riguardo alla conversione in elettrico del trasporto pubblico, è stata valutata la fattibilità tecnico-economica dell'elettrificazione dei servizi di Trasporto



Area monitorata con rappresentazione delle posizioni registrate per i veicoli del campione selezionato

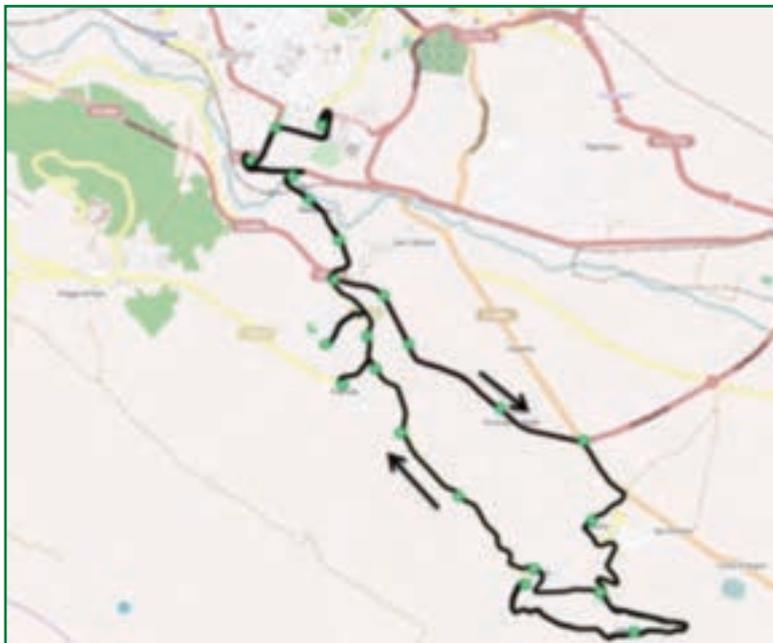
Pubblico Locale utilizzando come caso di studio alcune linee del servizio di trasporto pubblico nel Comune de L'Aquila, la cui Amministrazione ha aderito all'implementazione di progetti dimostrativi di Smart Cities, all'interno dei quali rientrano iniziative di elettrificazione del trasporto su strada e di diffusione di sistemi ICT applicati ai trasporti per una gestione ottimizzata e più efficiente dell'offerta. La valutazione della conversione è stata attuata attraverso misure in campo per la determinazione dei parametri cinematici e di servizio che modellistiche per la simulazione di veicoli elettrici. Lo studio di fattibilità è stato corredato infine di una valutazione economica con indicazione dei costi di gestione e di investimento.

Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali – EVI – IA HEV – AVERE

L'attività riguarda la partecipazione attiva di ENEA alle iniziative internazionali sui veicoli elettrici e ibridi, che sono una fonte continua di scambio e di orientamento dei programmi e delle attività nazionali sui sistemi di accumulo in batterie per applicazioni mobili e stazionarie. La partecipazione è anche funzionale al ruolo di supporto tecnico-scientifico e programmatico che l'ENEA svolge per i Ministeri competenti e per l'industria nazionale nel suo complesso. Inoltre l'ENEA è attiva nel Board dell'Associazione europea veicoli elettrici stradali (AVERE). Le principali partecipazioni a gruppi di lavoro internazionali hanno riguardato:

1. EVI (Electric Vehicle Initiative)
2. Implementing Agreement (IA) HEV (Electric and Hybrid Vehicle Technologies and Programmes) dell'International Energy Agency (IEA)
3. AVERE

Va menzionata la partecipazione ENEA all'AVERE nelle attività del Board con la nomina della nuova struttura di gestione (presidente e vice-presidenti) ed in quelle svolte per l'organizzazione della Conferenza mondiale sui veicoli elettrici (EVS-27, Electric Vehicle Symposium).



Percorsi delle linee "10" e "12 A" dell'AMA de l'Aquila

Area di ricerca: Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi

Progetto C.4: Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità

Referente: A. Genovese, antonino.genovese@enea.it