



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

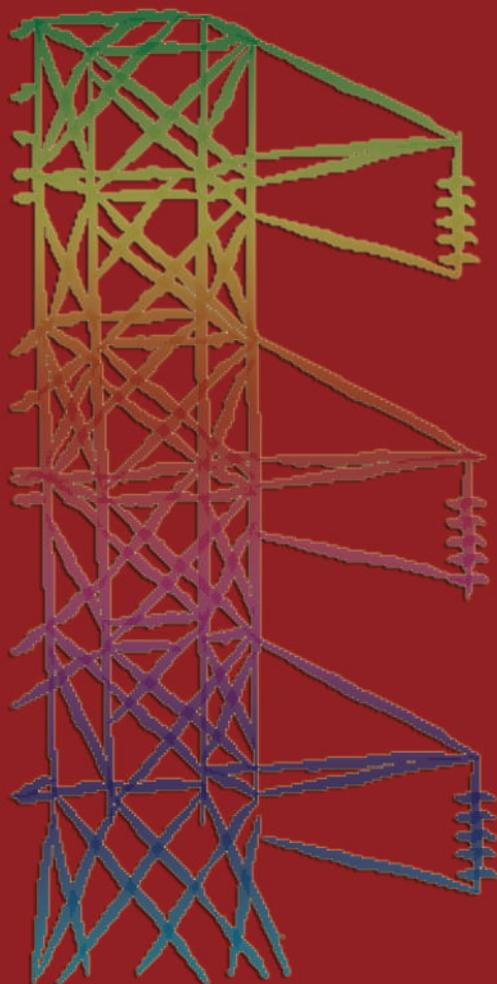


Ministero dello Sviluppo Economico

Accordo di Programma MSE/ENEA 2009-11

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sintesi dei risultati del terzo anno di attività



Novembre 2012

Edito dall'ENEA - Servizio Comunicazione
Revisione testi: Antonino Dattola, Diana Savelli
Copertina: Cristina Lanari
Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - Frascati
Finito di stampare nel mese di novembre 2012

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

INDICE

AREA GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

Sistemi avanzati di accumulo di energia	7
Nuovo nucleare da fissione - Studi in ambito internazionale	11
Nuovo nucleare da fissione - Sicurezza degli impianti nucleari	15
Nuovo nucleare da fissione – Reattori di quarta generazione	19
Fusione nucleare - Attività di fisica della fusione complementari a ITER	23

AREA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

Studi sulla produzione di energia elettrica locale da biomasse e scarti	29
Ricerca su celle fotovoltaiche innovative	33
Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine	37
Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili, la cattura e il sequestro della CO ₂	41

AREA RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA

Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi	47
Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile	51
Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva	55
Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto	59

AREA

**GOVERNO, GESTIONE E SVILUPPO DEL
SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE**

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Sistemi avanzati di accumulo di energia

Scenario di riferimento

La richiesta di sistemi di accumulo nelle reti elettriche sta crescendo notevolmente di pari passo con l'evoluzione tecnica ed economica del sistema di generazione, distribuzione ed usi finali dell'energia elettrica. La necessità di garantire un maggiore controllo delle fasi di produzione, con l'introduzione massiva di fonti energetiche rinnovabili, per loro natura intermittenti, con quelle della domanda di energia anche nell'ottica di un mercato aperto e libero nella commercializzazione dell'energia elettrica, stanno rendendo le tecnologie dell'accumulo sempre più promettenti e utili per migliorare il rendimento, la gestione, la qualità e ridurre i costi dell'energia elettrica prodotta e utilizzata.

In aggiunta, la diversificazione dei combustibili nei trasporti stradali si va orientando sempre più verso un crescente utilizzo dell'energia elettrica con lo sviluppo di una rilevante flotta di veicoli elettrici in grado di svolgere una funzione non solo di carico della rete, ma anche, eventualmente, di accumulo distribuito. Questo progetto intende promuovere a livello industriale le batterie al litio e valutare in condizioni di reale utilizzo le soluzioni più convenienti da un punto di vista tecnologico ed economico, sia per l'utente finale che per il settore industriale e il gestore/fornitore del servizio, in linea con quanto previsto dal Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale: *“La realizzazione industriale di sistemi di accumulo di energia elettrica a basso costo, con un rapporto peso/volume/capacità tale da permettere una buona autonomia e con materiali non eccessivamente inquinanti, pur se lungamente annunciata, rappresenta tuttora un obiettivo di interesse strategico da perseguire. Non mancano in questo settore molte interessanti prospettive che, se realizzate, potrebbero contribuire ad una migliore gestione del sistema di generazione accumulo-trasmissione-distribuzione dell'energia elettrica,*

oltre al minor inquinamento, soprattutto dei centri urbani”.

L'accumulo di energia è considerato da circa un secolo come uno dei principali sistemi in grado di aumentare la flessibilità e l'efficienza delle reti elettriche. I sistemi di accumulo presentano numerosi vantaggi in relazione alle molteplici funzioni che sono in grado di svolgere nell'intero sistema elettrico, giacché possono essere utilmente collocati a livello del sistema di generazione (impianti multiMW), della rete di trasmissione e distribuzione fino agli usi finali, con un posizionamento sempre più economicamente ed energeticamente conveniente da ambo i lati del “contatore”. 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.

Le molteplici funzioni sopra indicate richiedono sistemi e metodi di accumulo significativamente diversi. Negli ultimi anni, sono state sviluppate e applicate tecnologie appositamente studiate: accumulo di acqua in bacini di pompaggio; volani (flywheels); accumulo di aria compressa in caverne (CAES = compressed air energy storage); magneti superconduttori (SMES = superconducting magnets energy storage); batterie elettrochimiche; supercondensatori; accumulo di energia termica e, più recentemente, accumulo di idrogeno in abbinamento con le celle a combustibile.

La forma più diffusa di accumulo dell'energia elettrica (non però per le reti elettriche), particolarmente indicata per applicazioni di alta potenza e di bassa energia, è certamente quella elettrochimica (batterie e supercondensatori). Diverse soluzioni sono

state proposte e utilizzate, ma sono necessarie ulteriori attività di ricerca e di validazione sperimentale in applicazioni reali alle reti elettriche con fonti rinnovabili, in modo da coprire diverse taglie di applicazioni e differenti funzioni. Le batterie più interessanti sono attualmente, oltre a quelle ormai convenzionali al piombo ed alcaline, quelle al litio, ad alta temperatura ed a flusso. Alcune di queste batterie (alta temperatura come le Zebra o quelle a flusso) sono state già oggetto di studio in precedenti Piani di Ricerca di Sistema, da parte principalmente di RSE.

Inoltre, stanno acquistando maggiore interesse e importanza per le applicazioni di elevata potenza e alto rendimento i supercondensatori ed, in minor misura, la produzione e l'accumulo di idrogeno per un uso successivo con le celle a combustibile.

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

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

Obiettivi

L'obiettivo generale di questo progetto è la ricerca, la realizzazione e la verifica sperimentale di sistemi di accumulo elettrochimico a base di litio in applicazioni stazionarie, adeguatamente individuate, con

particolare attenzione all'integrazione delle fonti rinnovabili che, una volta sviluppate industrialmente, presentino caratteristiche tecniche ed economiche migliorate rispetto ai sistemi attualmente disponibili sul mercato. Si pensa di raggiungere l'obiettivo mediante un approccio sistemico che consenta di sviluppare non solo le batterie al litio, ma anche le tecnologie di integrazione ed interfaccia con la rete, nell'ottica di un notevole incremento delle fonti rinnovabili intermittenti, e, eventualmente, dell'introduzione di una crescente flotta di veicoli a trazione elettrica. Si prevede, pertanto, di selezionare opportune applicazioni dimostrative particolarmente significative ed originali (quale ad esempio, la "casa attiva", un sistema intelligente presso l'utente finale che possa attivamente colloquiare con il gestore della rete e rendere più flessibile il carico elettrico con l'accumulo e con fonti rinnovabili).

Le batterie al litio studiate verranno anche confrontate ed, eventualmente, integrate con altri sistemi di accumulo, tra cui i supercondensatori e l'accumulo termico, in modo da verificare le potenzialità applicative anche con verifiche sperimentali.

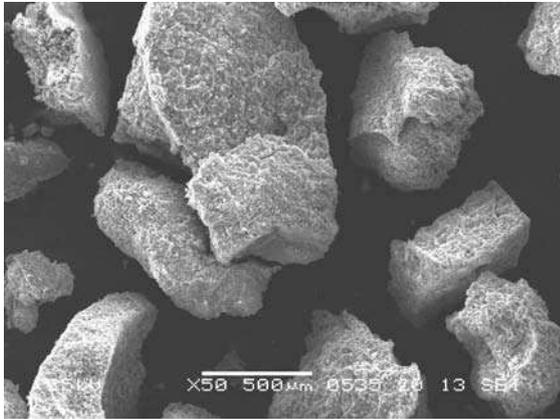
Infine si vuole porre particolare attenzione agli aspetti ambientali cercando di intervenire e di proporre soluzioni migliorative all'intera filiera, dalla produzione delle batterie al litio alle fasi di utilizzazione e riciclaggio finale. Nella fase di ricerca e produzione si sceglieranno materiali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

Risultati

Ricerca su materiali e processi per la realizzazione e prova di celle al litio con prestazioni migliorate

Sono proseguite le attività di ricerca fondamentale su nuovi materiali anodici e catodici, e relativi processi di preparazione, e su progetti di cella ottimizzati per batterie al litio, con l'introduzione di attività su materiali di nuovissima generazione (materiali anodici a base di grafene e di vari metalli, quali Sn, Si ecc., e composti catodici di fosfati di vari ossidi metallici) e su nuovi elettroliti: tutte le scelte

proposte hanno mirato ad individuare soluzioni sempre più promettenti, in termini di costi e prestazioni, per le applicazioni stazionarie di grossa taglia con una crescente attenzione alle specifiche necessità della rete elettrica nazionale, dividendo in questa fase tra prototipi ad alta energia o ad alta potenza.



Micrografia di un campione di materiale catodico (litio ferro fosfato) nei laboratori ENEA



Nastro anodico composto TiO_2 -carbone-PTFE ottenuto dall'ENEA dopo calandatura



Cella laminata sotto vuoto (ENEA)

Le attività di ricerca ed ottimizzazione sui materiali hanno portato alla selezione di materiali e processi completamente caratterizzati da un punto di vista chimico, elettrochimico e strutturale, ed alla realizzazione di film sottili in scala da laboratorio e di celle di prova, che hanno consentito di verificare le prestazioni dei campioni prodotti secondo procedure di prova sviluppate dal gruppo di coordinamento CNR-ENEA-RSE.

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

Sono stati progettati e realizzati due dispositivi, di taglia diversa compresa tra 10 e 20 kW, di controllo ed interfaccia del sistema di accumulo in batterie al litio con la rete e con utenze particolari. Questi dispositivi sono stati provati in diverse condizioni di utilizzo, simulate e reali. Un dispositivo è stato positivamente collaudato e provato per verificarne la piena funzionalità e poi utilizzarlo in un impianto dimostrativo con una batteria al litio appositamente dimensionata ed acquistata, mentre il secondo è stato realizzato per essere disponibile in un'applicazione smart grid nel Centro ENEA della Casaccia, che sarà oggetto di una campagna sperimentale nel prossimo anno di attività.

Verifiche sperimentali

Sono stati individuati i profili caratteristici da utilizzare per l'esecuzione di prove di celle al litio per la valutazione sperimentale della "second life". Alcune celle usate sono state recuperate presso alcuni utilizzatori e produttori di veicoli elettrici e sottoposte a prove di laboratorio. L'analisi sperimentale con l'uso dei vari profili selezionati sarà oggetto di complete prove di laboratorio in condizioni controllate.

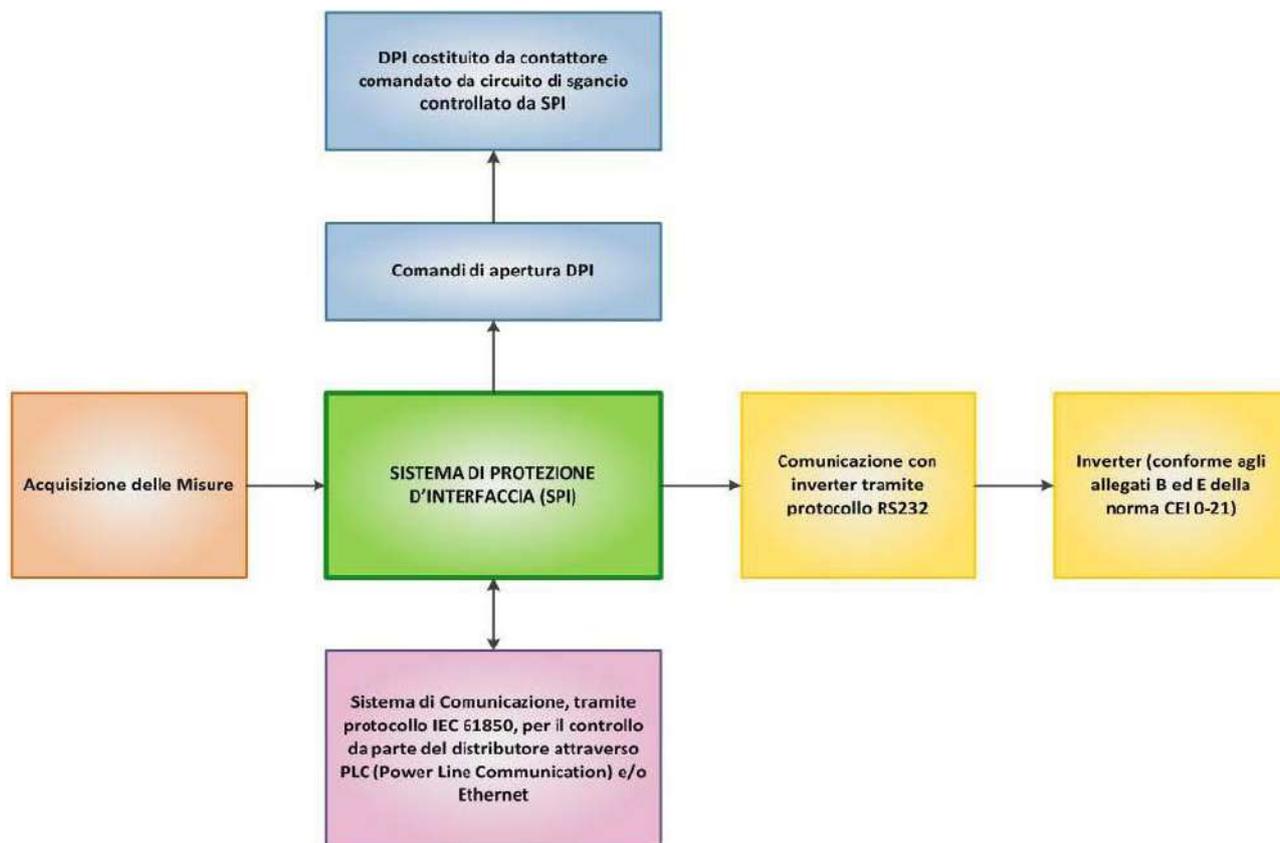
È stata inoltre eseguita la dimostrazione della "casa attiva" con la selezione e la realizzazione di un impianto sperimentale presso l'Università di Pisa e l'esecuzione di prove che hanno evidenziato i possibili utilizzi ed i vantaggi collegati all'integrazione delle fonti rinnovabili con sistemi di accumulo (sia elettrici che termici).

Infine è stato completato uno studio per valutare, in una visione sistemistica con enfasi

anche sui possibili riflessi economici, le possibilità offerte dall'utilizzo di sistemi di accumulo non elettrochimico di piccola taglia (dalle decine di chilowattora al megawattora) distribuiti quali, ad esempio, i piccoli impianti di pompaggio, mini CAES ecc., da utilizzare nella rete elettrica italiana per rendere programmabile lo scambio con la rete dell'energia prodotta da fonti rinnovabili.

Comunicazione e diffusione dei risultati

I risultati sono stati diffusi in eventi nazionali ed internazionali e mediante la pubblicazione di articoli su riviste scientifiche. Si è inoltre garantita la partecipazione italiana a diversi gruppi di lavoro internazionali in ambito IEA, CE (EERA e COST) e all'interno di progetti nazionali ed europei in corso, che risultano complementari alle attività svolte nella Ricerca di Sistema Elettrico.



Schema a blocchi semplificato dell'interfaccia di comunicazione con la rete elettrica (Università di Palermo)

Area di ricerca: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto 1.2.2: Sistemi avanzati di accumulo di energia

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

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Nuovo nucleare da fissione Studi in ambito internazionale

Obiettivi

Scopo del Progetto è la conduzione di attività e studi concernenti le partecipazioni a gruppi e comitati internazionali e accordi bilaterali, relativamente ai reattori attuali e innovativi di varia taglia, compresi Small Modular Reactor (SMR).

Nell'ambito del Progetto è inoltre prevista la conduzione di studi relativi all'incidente nucleare di Fukushima, alla significatività degli stress test e allo stato di sviluppo dei reattori EPR in costruzione.

Gli obiettivi specifici individuati sono:

- supporto al Ministero dello Sviluppo Economico per il coordinamento della partecipazione nazionale a progetti ed accordi internazionali;
- partecipazione a comitati e gruppi internazionali;
- rafforzamento dell'accordo bilaterale di collaborazione con il CEA e con l'IRSN;
- consolidamento della partecipazione all'Halden Reactor Project;
- studio di scenari per un ipotetico futuro impiego di reattori nucleari di diversa taglia e relative valutazioni economiche.

Risultati

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

L'ENEA ha garantito il supporto al MSE per il coordinamento della partecipazione nazionale a progetti e accordi internazionali nel campo del nuovo nucleare da fissione, garantendo:

- Supporto tecnico-scientifico alla Direzione Generale Energia e Risorse Minerarie MSE;
- Presidio delle attività istituzionali internazionali su energia nucleare, sicurezza e salvaguardie nucleari, e partecipazione ai

relativi Comitati e Gruppi di Lavoro nazionali e internazionali;

- Supporto per la definizione del posizionamento nazionale nell'ambito del VII Programma Quadro Europeo (parte Euratom).

Partecipazione a comitati e gruppi di lavoro internazionali

È stata prodotta una ricognizione di tutti i comitati e i gruppi di lavoro internazionali in cui sono presenti delegati ENEA.

Inoltre, su richiesta del MSE si sono implementate le seguenti attività:

- *Analisi dell'evento incidentale di Fukushima.* L'ENEA, attivatasi immediatamente per lo studio in tempo reale dell'incidente alla centrale nucleare di Fukushima, ha proseguito le proprie analisi sull'evento e sulle sue conseguenze, promuovendo tra l'altro una giornata di studio rivolta alla comunità nucleare nazionale un anno dopo l'incidente;
- *Analisi degli "stress test" approvati dall'ENSREG.* Sono state analizzate le tappe principali che hanno condotto alle procedure adottate dalla Comunità Europea e da alcuni paesi limitrofi e i risultati degli "stress test" conseguiti nei vari paesi;
- *Studi relativi allo stato di avanzamento dei reattori EPR.* Sono stati analizzati gli stati di avanzamento dei tre cantieri di costruzione: due in Europa, in ritardo; uno in Cina, con avvio come previsto nel 2013.

Studi di scenario

Le attività hanno riguardato:

- *Il ciclo del combustibile nucleare: confronto tra ciclo aperto in reattori termici e ciclo chiuso in reattori veloci a piombo.* Indubbi vantaggi del ciclo chiuso sono la diminuzione delle risorse di uranio da utilizzare e la riduzione di massa (e volume)

del combustibile da stoccare nel deposito geologico. La radiotossicità totale per unità di energia è ridotta, nel lungo termine, di circa 100 volte.

- *Mix energetici con bassa emissione di gas serra.* Sono stati analizzati i costi connessi all'attuazione della EU Roadmap 2050 per l'azzeramento delle emissioni di gas serra nel settore elettrico per l'anno 2050. Sono state quantificate le conseguenze per un sistema elettrico con rilevante percentuale di fonti intermittenti, con particolare riferimento alla situazione italiana. I risultati mostrano i benefici determinati dall'introduzione nel mix della fonte nucleare in termini di minori emissioni, abbassamento del costo del kWh e garanzia di raggiungimento dell'obiettivo prefissato.
- *Rapporto sull'impatto dell'energia nucleare su sostenibilità ed economicità per varie opzioni di mix energetici e studio delle variabili macroscopiche energetico-ambientali.* Sono stati considerati gli aspetti economico-finanziari dell'impiego di SMR in diversi scenari di mix di energie rinnovabili, studiando l'effetto sul mercato elettrico italiano di una centrale nucleare SMR da 500 MWe accoppiata con un parco eolico da 500 MWe, più un sistema di stoccaggio di energia ad aria compressa. I risultati dimostrano l'efficacia di tale scenario per la riduzione del prezzo dell'energia elettrica per i cittadini, nelle ore di punta.

- *Rapporto sull'impatto dell'energia nucleare su sostenibilità ed economicità per varie opzioni di mix energetici, con relativi scenari economici.* Sono stati analizzati i diversi scenari per la generazione di energia elettrica in Italia al 2050, compatibili con gli obiettivi di de-carbonizzazione della Energy Roadmap 2050, e i relativi costi.

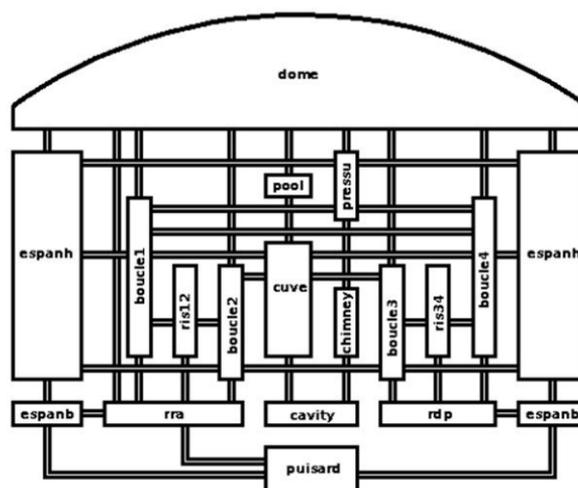
Studi nell'ambito di accordi bilaterali

Collaborazione con IRSN

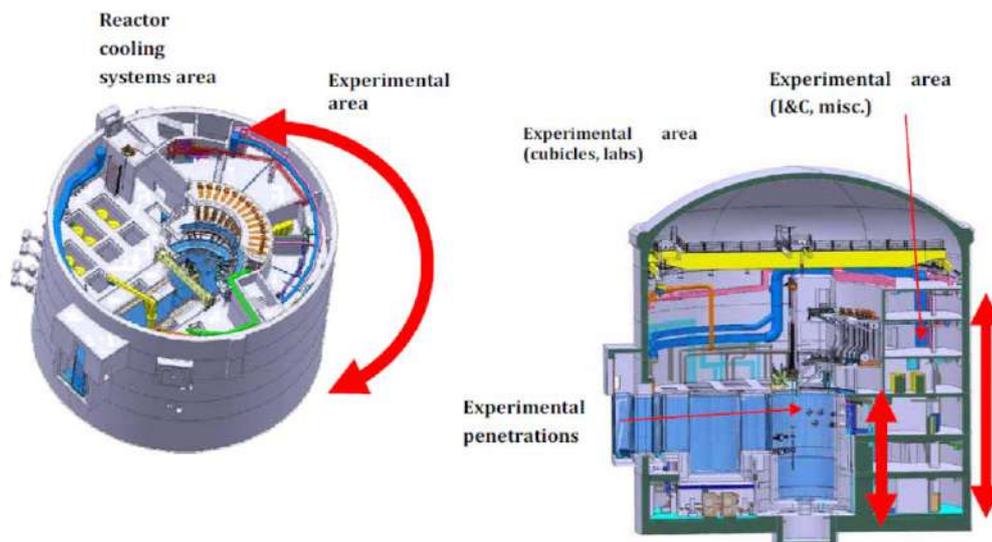
La collaborazione tra ENEA e IRSN, iniziata nel 2011, verte principalmente sul tema della simulazione di reattori nucleari ad acqua in pressione ai fini della valutazione della sicurezza di impianto, in particolare sullo sviluppo del simulatore SOFIA. Nella presente annualità, l'ENEA ha collaborato al miglioramento del modello dell'edificio di contenimento per la configurazione del simulatore SOFIA a 4 loop da 1300 MWe basata su codice CATHARE 2.

Accordo con CEA

La collaborazione tra ENEA e CEA si è incentrata su temi legati allo sviluppo dell'impianto sperimentale Jules Horowitz Reactor (JHR) in costruzione a Cadarache (Francia) da parte di un consorzio internazionale (comprendente anche l'UE) sotto l'egida dell'OECD/NEA.



Nodalizzazione dell'edificio di contenimento di un PWR 1300 MWe della filiera francese con codice CATHARE 2



Aree sperimentali del Jules Horowitz Reactor

L'ENEA partecipa, secondo varie forme di collaborazione, direttamente con i propri ricercatori e attraverso le singole Università italiane, con attività di termoidraulica, neutronica e sistemi di controllo per le facilities sperimentali. È stato sviluppato un impianto termoidraulico di piccola taglia con caratteristiche prototipiche degli impianti ad alta pressione e temperatura (180 bar, 360 °C), che sarà destinato ad attività sperimentali, con finalità formative e di supporto, anche in stretta collaborazione con le Università. Si sono implementati studi sui rivestimenti di materiali strutturali adottati per migliorare la resistenza alla corrosione da metalli liquidi pesanti. L'attività ha riguardato la simulazione, mediante il codice termomeccanico agli elementi finiti CAST3M, delle tensioni generate da carichi termici a simmetria assiale su rivestimenti depositati su acciaio. Nell'ambito del progetto europeo NESC-7 sullo studio degli effetti del "Warm Pre-Stressing" (WPS) applicato al vessel di reattori nucleari soggetti a transitori termici severi come i PTS (Pressurized Thermal Shocks), l'ENEA ha collaborato con il CEA nella simulazione di uno dei test sperimentali effettuati presso la sua sede di Saclay. Un altro obiettivo è stato dotare il codice di calcolo CAST3M di uno strumento completo di analisi che accoppi al modulo termo-igrometrico già esistente (HTCTRAN), un modulo in grado di valutare la risposta termo-meccanica di un calcestruzzo sottoposto

sia a carichi meccanici che a sollecitazioni di indotte dalla termica. Infine, si è esaminato l'impatto del tipo di combustibile sulle caratteristiche di sicurezza intrinseche di reattori veloci al sodio. Le risposte ai diversi transitori sono stati esaminati per combustibile metallico ed ossido.

Collaborazioni internazionali per studi su SMR

È stato esplorato lo stato dell'arte sulla tecnologia Small Modular Reactor (SMR), che può rappresentare una concreta opzione sostenibile nel contesto del dopo-Fukushima e della crisi finanziaria planetaria. Lo studio effettuato ha prodotto una rassegna aggiornata delle principali offerte presenti sul mercato e sui progetti di ricerca in corso, comprendente le possibili chiavi di successo sul mercato globale futuro.

Partecipazione ad attività, gruppi e comitati internazionali

Iniziative EURATOM: SNETP, ESNII, EERA

Scopo dell'attività è stata la partecipazione ai comitati e gruppi di lavoro internazionali. Nel più ampio contesto del Progetto EERA JPNM, sono state svolte prove sperimentali di diffusione neutronica ai piccoli angoli e diffrazione neutronica presso il Reattore ad Alto Flusso dell'Institut Max Von Laue - Paul Langevin (ILL) di Grenoble su materiali di interesse per il nucleare da fissione.

Partecipazione a comitati e gruppi internazionali

L'attività, svolta in sinergia con il CIRTEN, ha riguardato la partecipazione a gruppi tecnici nei vari comitati internazionali (AIEA, OECD-NEA, GIF, IFNEC ecc.) in diversi settori del nucleare. Si è inoltre studiato lo schema di procedura del NES, con l'identificazione di un possibile NES (Nuclear Energy System) d'interesse nazionale (NESA_Italia).

Partecipazione al progetto Halden Reactor Project

È continuata la partecipazione dell'ENEA al Progetto internazionale dell'OECD/NEA Halden Reactor Project (HRP). In tale ambito si è collaborato allo sviluppo di una tecnica di modellazione, il Multilevel Flow Modeling (MFM), utilizzata per monitoraggio, diagnostica e prognostica ai fini della sicurezza per impianti attuali e futuri. I risultati generali sin qui ottenuti serviranno come base per applicazioni future a impianti reali. Parallelamente si è investigato il problema della chiusura del gap nella camiciatura di una barra di combustibile. Per analizzare tale fenomeno è stato condotto un esperimento con database Studvisk sulla risposta del cladding a rampe di potenza. Lo studio serve come base di riferimento per esperimenti dello stesso tipo in corso di svolgimento ad Halden ai quali si prenderà parte in futuro.

Infrastrutture nucleari per la ricerca

Un parte rilevante dell'attività di ricerca è stata strettamente correlata all'utilizzo del reattore TRIGA RC-1 Mark II del Centro Ricerche ENEA della Casaccia. Sono stati sviluppati una metodologia di misura del rateo di fluenza neutronica termica e un programma per il calcolo dei parametri necessari per l'applicazione delle norme ASTM E262-08. Sono state anche condotte misure sperimentali

del rateo di fluenza neutronica per diverse posizioni di irraggiamento del reattore TRIGA, con un confronto fra misure e calcoli effettuati con il codice Montecarlo MCNP5.

Non proliferazione e Safety & Security

Resistenza alla proliferazione (GIF, IAEA, NEA, CEA)

È stato delineato lo stato dell'arte delle attività in ambito GIF (Proliferation Resistance and Physical Protection Working Group, PR&PP WG) e IAEA-INPRO. Si sono sviluppate considerazioni su come i codici di scenario possano fornire, oltre a dati utili nelle valutazioni qualitative sulla resistenza alla proliferazione di sistemi nucleari, anche informazioni utili al progettista di nocciolo per inserire nel sistema elementi che incrementino la resistenza alla proliferazione.

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

Sono stati analizzati modelli e strumenti di calcolo utilizzati nell'analisi delle sezioni d'urto di fissione indotta da neutroni, misurate a partire dal 2002 presso l'impianto n-TOF (neutron-TIME-OF-FLIGHT), situato al CERN di Ginevra. In particolare si è fatto riferimento agli isotopi dell'americio 241 Am e 243 Am.

Valutazioni su interfaccia safety and security e normativa (IRSN)

È stata affrontata la tematica dell'interfaccia Safety-Security che, associata a quella della non proliferazione, viene denominata in ambito internazionale Safety, Security, Safeguards (3S). Il lavoro si è soffermato su alcune considerazioni di carattere generale su Safety e Security e, anche alla luce delle conseguenze dell'incidente di Fukushima, sull'acquisizione di tali concetti nella normativa nazionale, francese e americana.

Area di ricerca: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto 1.3.1: Nuovo nucleare da fissione - Studi sul nuovo nucleare in ambito internazionale

Referente: Massimo Sepielli, massimo.sepielli@enea.it

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it



RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Nuovo nucleare da fissione Sicurezza degli impianti nucleari

Scenario di riferimento

L'incidente di Fukushima ha creato un nuovo scenario per la ricerca sul nucleare da fissione nel nostro Paese, nel quale rimane l'esigenza di conservare le competenze nel settore della sicurezza nucleare al fine di garantire la corretta gestione delle residue attività nucleari. Come richiesto dalla Commissione Europea per gli 'stress test' sugli impianti nucleari europei a valle dell'incidente di Fukushima, ciascuna nazione deve avere la capacità di effettuare valutazioni indipendenti sulla sicurezza di questi impianti. Questa esigenza per l'Italia è ulteriormente rafforzata dalla presenza di 14 reattori nucleari di potenza nei paesi limitrofi, entro 200 km dai confini nazionali.

Inoltre, per non precludersi a priori alcuna opzione sugli scenari energetici futuri, il nostro Paese necessita anche, in un quadro di collaborazioni europee e internazionali, di sviluppare e mantenere una capacità autonoma di valutazione della sicurezza delle diverse opzioni tecnologiche nel campo dei reattori nucleari innovativi.

Infine, è da rimarcare il problema del deposito definitivo per le scorie radioattive di III categoria che investe tutti i Paesi che hanno o hanno avuto in esercizio centrali nucleari, e l'esigenza di disporre di un deposito per rifiuti di II categoria che deve accogliere anche i rifiuti radioattivi di origine sanitaria, ospedaliera e industriale. A questo proposito la Direttiva EURATOM 2011/70 impone a tutti gli Stati membri la preparazione, entro il 2015, di "programmi nazionali indicanti quando, dove e con che modalità intendano costruire e gestire depositi per lo stoccaggio definitivo dei rifiuti, tali da garantire i più elevati standard di sicurezza".

Obiettivi

La maggior parte degli studi di sicurezza condotti per reattori attuali ed evolutivi sono confluiti in questa attività, articolata nelle

seguenti linee:

- Potenziamento della capacità di Simulation & Modeling partendo dalle librerie di dati nucleari, includendo gli studi di neutronica e l'analisi termo-fluidodinamica di impianto fino all'evoluzione incidentale severa.
- Analisi e valutazione delle soluzioni impiantistiche e tecnologiche in diversi progetti di reattori dell'attuale generazione III avanzata dal punto di vista della sicurezza, alla luce dell'evento di Fukushima e dei risultati degli 'stress test' sui reattori europei.
- Progettazione di simulatori di tipo ingegneristico finalizzati all'analisi di sicurezza e all'utilizzo in sistemi integrati di gestione di emergenze e simulatori ingegneristici 'full scope' da focalizzare sui reattori evolutivi.
- Attività sperimentali a supporto degli studi di sicurezza che comprendono sia la progettazione/realizzazione di impianti per la qualificazione di sistemi e componenti innovativi, sia la realizzazione di prove sperimentali per la validazione della modellistica.
- Investigazione delle problematiche connesse alla sicurezza dei depositi di smaltimento dei rifiuti radioattivi sia superficiali che geologici, delle tecniche di monitoraggio per la loro sorveglianza e delle tecniche innovative di caratterizzazione radiologica e di condizionamento dei rifiuti ad essi destinati.

Risultati

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

Le attività di acquisizione e validazione di strumenti di analisi per la valutazione della sicurezza degli impianti nucleari che sono inquadrate principalmente nell'ambito di accordi internazionali di collaborazione bilaterale, in particolare con le organizzazioni francesi CEA e IRSN, ma anche con la US-NRC,

hanno permesso all'ENEA di dotarsi di codici e piattaforme di calcolo avanzati e acquisire le necessarie competenze per il loro utilizzo.

- Generazione e validazione della libreria ENEA-Bologna VITENDF70.BOLIB a gruppi fini ($199\text{ n} + 42\ \gamma$) dedicata ad applicazioni di schermaggio e danno da radiazione nei reattori a fissione, che è stata trasferita ad OECD-NEA Data Bank per la libera distribuzione internazionale.
- Approfondimento sull'utilizzo della piattaforma di calcolo per la neutronica APOLLO2/CRONOS, acquisita nell'ambito di un accordo con il CEA, e sua predisposizione per lo studio di un reattore PWR da 900 MWe, che è la tipologia di reattore maggiormente presente ai nostri confini.
- Studi mediante tecniche Monte Carlo (codice di trasporto neutronico MCNP5) di importanti problematiche per i reattori attuali di grossa taglia: impatto di un riflettore 'pesante' sul segnale dei detector neutronici ex-core e sull'asimmetria azimutale della potenza.
- Proseguimento dell'implementazione della piattaforma di calcolo per modellistica multi-scala e multi-fisica NURESIM-NURISP, sul sistema di calcolo ad alte prestazioni CRESCO dell'ENEA: miglioramento della modalità di utilizzo dei codici CFD TRIO_U e NEPTUNE e applicazione a problematiche multi-scala come il sistema di rimozione del calore residuo simulato nella facility PERSEO.
- Acquisizione e validazione di software nell'ambito della collaborazione con IRSN per l'analisi termo-idraulica del nocciolo degradato (ICARE-CATHARE) e termo-meccanica dell'elemento di combustibile in condizioni incidentali (DRACCAR): progettazione di programmi sperimentali per la validazione (PEARL), simulazione di sequenze incidentali (TMI-2 e LOCA su PWR francese) per verifica dei modelli.
- Valutazione della capacità dei codici integrali per la simulazione di Incidente Severo MELCOR e ASTEC di modellare in modo integrato la fisica dei processi che si svolgono durante un incidente severo in un reattore ad acqua pressurizzata: benchmark sull'esperimento PHEBUS FPT3.

Analisi di sicurezza di reattori avanzati ed evolutivi

In parallelo all'acquisizione e validazione degli strumenti sono state condotte attività rivolte all'approfondimento delle corrette metodologie

di applicazione degli stessi per lo studio della sicurezza in reattori attuali e innovativi.

Riguardo alla metodologia per l'analisi di sequenze incidentali severe, lo sviluppo e approfondimento è stata condotta su un generico impianto nucleare di tipologia convenzionale denominata Mille600 il cui data base è stato creato nel corso delle precedenti annualità. Le analisi effettuate con il codice MELCOR 1.8.6 hanno permesso di simulare i fenomeni rilevanti di una sequenza incidentale fino all'interazione tra il corium fuso e il basamento della cavità.

La valutazione della risposta di sistemi attivi e passivi a fronte di sequenze incidentali rilevanti ai fini della sicurezza è stata effettuata utilizzando metodi di analisi probabilistici e deterministici applicati a condizioni di incidente estreme, come il transitorio di station blackout emerso dall'analisi dell'incidente di Fukushima-Daiichi. In particolare, si sono presi in considerazione i sistemi di sicurezza per la rimozione del calore residuo implementati nei reattori di ultima generazione (EPR e AP1000), individuando le principali caratteristiche dei sistemi attivi e passivi, e le metodologie per la valutazione della relativa affidabilità.

Per la valutazione del comportamento incidentale di reattori SMR, è stato seguito un approccio generale valutativo delle caratteristiche di sicurezza dei vari SMR proposti in ambito internazionale che ha fornito indicazioni sui progetti di maggior interesse su cui concentrare le future valutazioni. Si sono inoltre seguiti approcci deterministici per la valutazione di queste caratteristiche in altri progetti di particolare interesse.

- Valutazione, secondo le indicazioni WENRA, degli effetti indotti da un evento esterno del tipo avvenuto a Fukushima (tsunami) sulla resistenza dell'edificio del reattore.
- Partecipazione al benchmark IAEA sulla facility MASLWR con il codice RELAP 5 Mod 3.3 per la verifica della capacità del codice di simulare principi di sicurezza comuni (stabilità della circolazione naturale e termo-idraulica dell'accoppiamento di contenimento e sistema primario in condizioni incidentali).

Progettazione simulatori ingegneristici

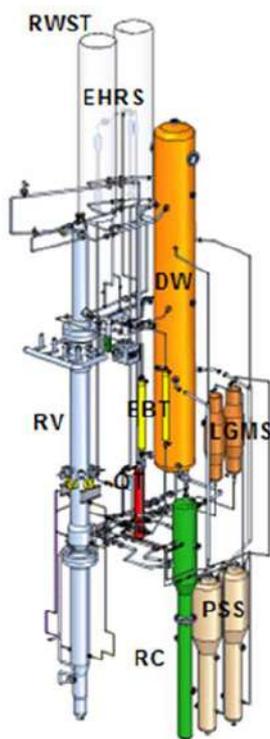
È proseguito lo sviluppo di simulatori ingegneristici avanzati sia per la stima del termine sorgente in un sistema integrato di gestione delle emergenze, sia a supporto della

progettazione di impianti futuri con requisiti di sicurezza necessari nel post Fukushima:

- Progettazione concettuale di simulatori semplificati dedicati all'analisi incidentale di reattori operativi in Europa: definizione della metodologia generale, individuazione delle famiglie di reattori simulabili e dei codici di calcolo utilizzabili, determinazione dei requisiti di flessibilità nell'uso dei codici per un utilizzo complementare e alternativo, esecuzione di un caso test (VVER 1000).
- Studio dei requisiti comuni e necessari alla progettazione di simulatori dedicati alle diverse tipologie di impianti futuri con caratteristiche derivanti dalle conclusioni degli stress test europei: individuazione di tipologie di reattori di futuro interesse generale, analisi delle conclusioni degli stress test e implicazioni sugli sviluppi dei simulatori, delineazione di possibili scenari di sviluppo in collaborazione con attori nazionali e internazionali

Attività sperimentali a supporto degli studi di sicurezza

Gli studi e sviluppi di infrastrutture per la realizzazione di attività sperimentali a supporto delle analisi di sicurezza hanno compreso sia la progettazione/realizzazione di impianti per la qualificazione di sistemi e componenti innovativi, sia la realizzazione di prove sperimentali per la validazione della modellistica.



SPES3 Lay-out

Simulazioni numeriche effettuate con il codice RELAP5 hanno messo in evidenza la possibilità di utilizzare l'impianto SPS3, in corso di realizzazione presso i laboratori SIET, per verificare le generiche caratteristiche di sicurezza dei reattori SMR (forte accoppiamento primario-contenimento, basso rapporto potenza inventory del refrigerante, largo utilizzo di sistemi di sicurezza passivi) in condizioni incidentali rilevanti ai fini della sicurezza. In particolare, il calcolo di un transitorio rappresentativo delle condizioni dell'incidente di Fukushima (station black-out: loss off-site and on-site AC power) non ha mostrato conseguenze per l'integrità dell'impianto.

Le prove sperimentali e le verifiche analitiche su componenti critici per la simulazione di SMR hanno riguardato le canne scaldanti per la simulazione del nocciolo, il downcomer - fondo-vessel, e i generatori di vapore).

Si sono utilizzate le infrastrutture sperimentali realizzate nei PAR precedenti:

Le verifiche sulle prestazioni dei prototipi di canne scaldanti forniti dalla ditta THERMOCOAX permettono un confronto delle funzionalità con i prototipi precedentemente forniti dalla ditta ROTFIL.

Lo studio analitico e sperimentale effettuato sul mock-up del fondo vessel al DIMNP dell'Università di Pisa ha fornito una caratterizzazione preliminare del miscelamento termico e della distribuzione del boro in lower plenum e downcomer di reattori ad acqua in pressione di tipo integrato.

Gli studi sul mock-up a doppio tubo elicoidale costruito in SIET dal Politecnico di Milano hanno permesso di sviluppare modelli per la valutazione di instabilità sia di tipo DWO (Density Wave Oscillations) sia di Ledding, per supportare la progettazione di scambiatori prototipici.

In SIET è stata inoltre realizzata e testata una sonda capacitiva per la misura del grado di vuoto adatta ad operare alle condizioni prototipiche delle linee dell'impianto SPES simulanti le rotture (alta pressione e temperatura). In parallelo sono stati definiti i layout di due alternativi set strumentali per la misura della portata bifase (SIET e POLITO) sviluppando i relativi modelli per l'interpretazione dei segnali sperimentali.

Infine sono state svolte attività propedeutiche all'effettuazione di transitori sperimentali sull'impianto SPES-2, per verificare la risposta di impianti LWR a condizioni incidentali di

particolare severità:

- Studio per valutare la fattibilità di un esperimento relativo alla diluizione del boro in impianti PWR
- Investigazione delle capacità del circuito SPES-2 a simulare eventi incidentali estremi del tipo di quello occorso a Fukushima, perdita totale d'alimentazione elettrica (Station Black Out), con i codici CATAHRE e TRACE



Sonda capacitiva per misura grado di vuoto ad alta temperatura

Studi di sicurezza relativi ai depositi di rifiuti radioattivi

Acquisizione e consolidamento di strumenti e competenze per analisi di sicurezza e "performance Assessment" di un deposito di smaltimento, sia superficiale che geologico:

- Studio di Performance Assessment di un deposito superficiale e relativa modellazione dei fenomeni di dispersione di contaminanti attraverso le barriere protettive
- Sviluppo di una metodologia probabilistica per il Performance Assessment di depositi geologici profondi per il confinamento di rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita
- Studio per valutare gli effetti strutturali indotti dall'impatto di un aereo civile su un deposito di rifiuti radioattivi di bassa attività

Sviluppo delle metodologie e delle tecniche più adeguate per la caratterizzazione dei siti

candidati e per il monitoraggio ambientale dei siti stessi:

- Definizione della strategia per il monitoraggio di un deposito superficiale di rifiuti radioattivi sulla base di normative (IAEA).
- Analisi delle tecniche disponibili per il rilevamento di radionuclidi con elevata mobilità importanti per valutare eventuali rilasci dal deposito (isotopi del carbonio, idrogeno e gas nobili)
- Simulazione dei processi di trasporto dei radionuclidi attraverso le barriere protettive (codici Hydrus 1D e Amber) e il trasporto degli inquinanti radioattivi nel suolo e sottosuolo (piattaforma software FRAMES).

Caratterizzazione dei radionuclidi HTMR (Hard To Measure Radionuclides) tramite una metodologia che determina la loro radioattività correlandola con un nuclide chiave (KN) scelto fra i radionuclidi ETM (Easy To Measure). L'applicabilità è stata verificata su campioni di grafite irraggiata provenienti dallo smantellamento della Centrale Elettronucleare di Latina. Inoltre sono stati studiati rivelatori di neutroni alternativi ai contatori proporzionali ^3He come i rivelatori "Boron Coated" e altri di diversa applicazione come i rivelatori ad emulsioni surriscaldate testati dall'Università di Pisa.

Gli studi sperimentali relativi alle interazioni rifiuto-ambiente su rifiuti condizionati in matrici vetro-ceramiche hanno riguardato due processi per sintetizzare matrici di sodalite (silicato di sodio) adatte al condizionamento di Sali radioattivi generati dai processi pirometallurgici: HotIsostatic Pressing (HIP) e Pressureless Consolidation(PC).

Inoltre sono state studiate le interazioni tra il rifiuto condizionato in matrice di sodalite, con e senza l'aggiunta di vetro borosilicato, e il terreno, attraverso un'ampia analisi dell'influenza del pH sulla lisciviazione delle specie chimiche presenti.

Area di ricerca: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto 1.3.1 - LP2: Nuovo nucleare da fissione - Studi di sicurezza sugli impianti nucleari

Referente: Paride Meloni, paride.meloni@enea.it

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Nuovo nucleare da fissione Reattori di quarta generazione

Scenario di riferimento

Tra le tecnologie nucleari più promettenti proposte dal GENERATION IV International Forum (GIF), ricoprono un ruolo molto importante i reattori veloci refrigerati a piombo (Lead cooled Fast Reactor, LFR), poiché soddisfano potenzialmente tutti i requisiti introdotti per i sistemi nucleari di IV generazione:

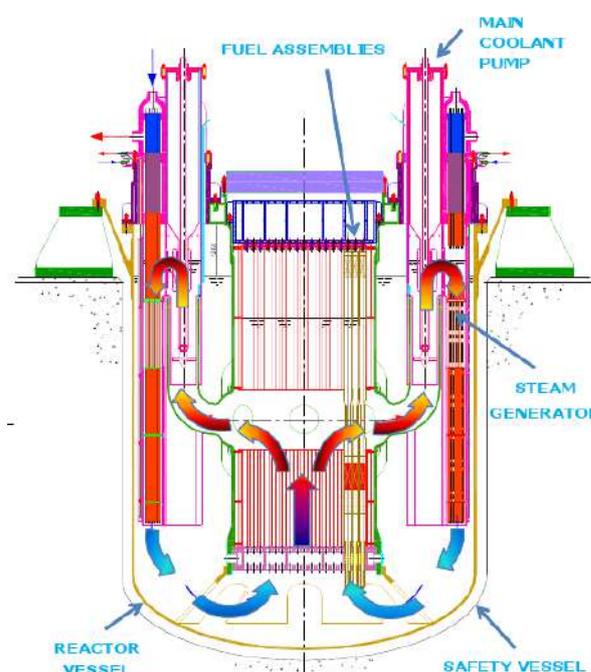
Sostenibilità - Il piombo presenta ottime proprietà nucleari, che consentono l'esercizio di un reattore nucleare a spettro "veloce", una lunga durata al nocciolo e una elevata efficienza di utilizzo del combustibile, di molto superiore agli attuali sistemi nucleari. Il flusso neutronico veloce permette inoltre di operare con un ciclo del combustibile "chiuso", che comporta una drastica riduzione di scorie a elevata radiotossicità.

Economicità - I sistemi LFR sono ideati e progettati per essere semplici. Il piombo non interagisce chimicamente con aria e acqua, e ha una bassa tensione di vapore. Ciò consente di realizzare sistemi a bassa pressione e di installare il generatore di vapore direttamente nel sistema primario, con una notevole semplificazione impiantistica e una riduzione di complessità, dimensioni e costi di impianto.

Sicurezza e affidabilità - I sistemi LFR, grazie alle caratteristiche termodinamiche del piombo e alle ottime capacità di intrappolare i prodotti di fissione anche volatili e di schermare le radiazioni gamma, sono caratterizzati da elevati standard di sicurezza e affidabilità durante l'esercizio. L'utilizzo del piombo favorisce, inoltre, l'asportazione della potenza di decadimento in regime di circolazione naturale, permettendo una sensibile semplificazione dei sistemi di protezione.

Resistenza alla Proliferazione e Protezione Fisica - Negli LFR viene utilizzato combustibile a ossidi misti, contenente nel lungo termine

attinidi minori che lo rendono inutilizzabile per la produzione di plutonio weapon-grade. Inoltre, le proprietà neutroniche del piombo permettono di progettare noccioli a lunga vita che sono inutilizzabili per la produzione di plutonio.



Reattore DEMO-LFR, ALFRED (Ansaldo Nucleare)

Obiettivi

L'obiettivo del progetto è sostenere lo sviluppo tecnologico dei sistemi nucleari di quarta generazione refrigerati a piombo con ciclo del combustibile chiuso, che riscuote particolare interesse in Europa (SNETP - SRA). Le attività implementate riguardano:

- progettazione di sistema
- materiali strutturali e fabbricazioni
- termoidraulica del refrigerante
- analisi di sicurezza.

Risultati

Progettazione di sistema

La progettazione di sistema ha riguardato essenzialmente l'implementazione di modelli di calcolo per la termoidraulica, la neutronica e la cinetica spaziale di nocciolo.

È proseguito lo sviluppo di un codice di neutronica e termoidraulica accoppiate (FRENATIC), finalizzato all'analisi cinetica spaziale di un nocciolo LFR.

È stata avviata una sistematica attività di validazione e di sviluppo del codice ERANOS e il suo utilizzo sulla base della metodologia GPT (Generalized Perturbation Theory) per calcoli perturbativi generalizzati.

Per la simulazione termoidraulica di reattori refrigerati a piombo si è lavorato sull'ottimizzazione e l'estensione dell'utilizzo del codice di calcolo FEM-LCORE.

Per il reattore DEMO-LFR è stata realizzata una nuova concettualizzazione del nocciolo, giungendo alla configurazione AFRODITE (Advanced lead-cooled Fast Reactor Oriented to the Demonstration of Innovative Technologies) che sembra soddisfare tutti gli obiettivi di dimostrazione, rispettando al contempo tutti i vincoli fissati ex-novo, coerentemente con l'obiettivo di semplificare le richieste tecnologiche per accelerare la realizzabilità del reattore.

Materiali strutturali e fabbricazioni

Considerato che uno dei maggiori punti deboli per lo sviluppo e implementazione dei sistemi LFR è l'individuazione di appropriati materiali strutturali, si è promosso un cambio di strategia per il reattore DEMO-LFR, che prevede l'utilizzo di materiali strutturali già qualificati per applicazioni nucleari in reattori veloci e lo sviluppo di sistemi di protezione contro la corrosione in piombo.

Attualmente l'acciaio di riferimento per la guaina del combustibile è il 15-15 Ti mod (Si), sviluppato e qualificato dal CEA per i reattori a sodio. Per incrementare le caratteristiche di resistenza alla corrosione si sono sviluppati e realizzati ricoprimenti di Fe-Al, Fe-Cr-Al, TiN mediante tecnica PVD (Physical Vapor Deposition).

Per lo sviluppo di rivestimenti protettivi per materiali strutturali è stata acquisita una macchina per la Detonation Spray, che

permette di realizzare, accoppiata alla tecnica PVD, coating multilayer.

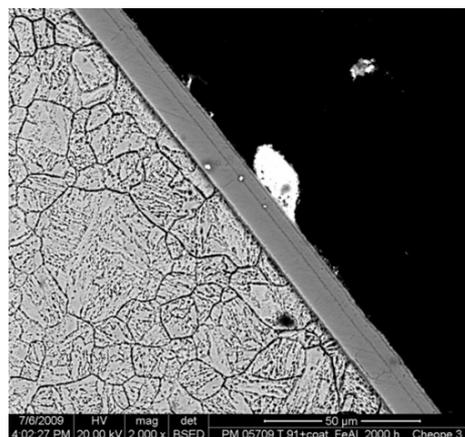
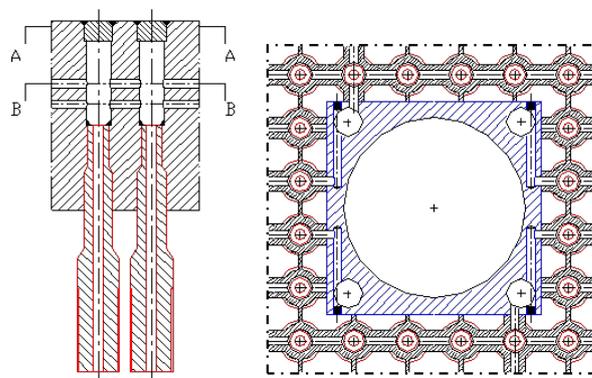


Immagine SEM di provino di T91 rivestito con coating di FeAl (PVD) ed esposto in piombo a 550 °C per 2000 h

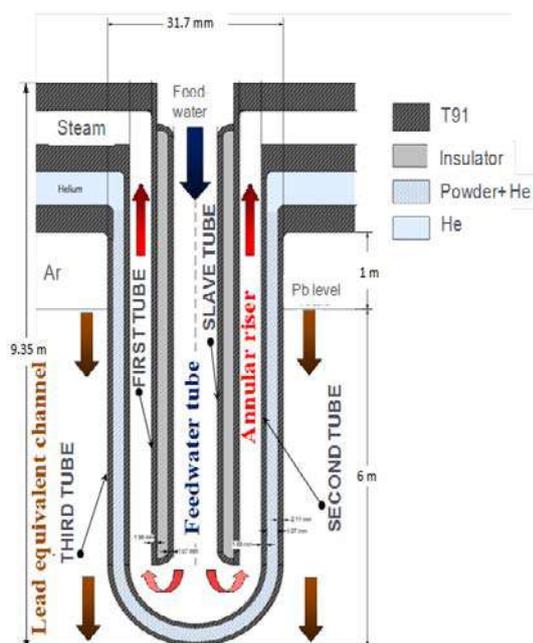
Nell'ambito delle attività di progettazione di elementi di combustibile innovativi per sistemi LFR si è reso necessario associare alle attività progettuali anche studi approfonditi di fabbricabilità delle soluzioni proposte. A tale scopo si è elaborata una specifica tecnica relativa allo studio di fattibilità di alcuni dettagli di elementi di combustibile. Considerando un fascio di barrette di tipo "vented" (ovvero liberate dalla presenza di "gas di fissione" interno) su reticolo quadrato con griglie spaziatrici e senza scatola esterna, si è studiata la connessione delle singole barrette alla griglia di piede che necessita di una verifica preliminare della sua fattibilità con capacità di tenuta.



Concettualizzazione elemento di combustibile "vented" per sistemi LFR con reticolo quadrato

Termoidraulica del refrigerante

Sono state condotte attività di caratterizzazione di generatori di vapore (GV) prototipici per sistemi LFR. Considerando la soluzione proposta per l'impianto DEMO-LFR ALFRED, che prevede l'utilizzo di tubi a baionetta a doppia parete con interposta intercapedine conduttiva, si è realizzata una serie di analisi parametriche sulle prestazioni del sistema. Le simulazioni realizzate hanno supportato la progettazione della facility HERO (Heavy liquid metal - pressurized water cooled tube facility), impianto sperimentale che ospiterà il tubo a baionetta del GV di ALFRED per le fasi di sperimentazione in piombo.

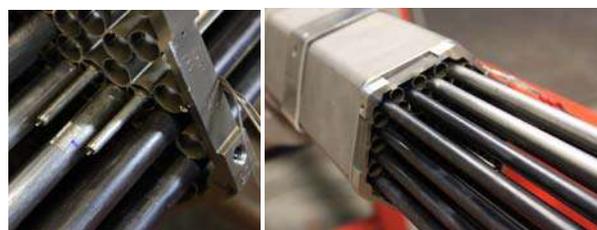


Schema concettuale del tubo a baionetta del GV del DEMO-LFR ALFRED

Nell'ambito delle attività di caratterizzazione del prototipo di DHR da 800 kW installato sull'impianto CIRCE in configurazione ICE (Centro Ricerche ENEA Brasimone), sono state realizzate diverse sessioni sperimentali. Sono state realizzate prove a piena potenza con lo scopo di ottenere informazioni utili in termini di portata di refrigerante, accoppiamento termico fra sorgente termica e pozzo di calore, prestazioni di componenti prototipici. Si sono poi realizzate simulazioni sperimentali di alcuni scenari incidentali relativi ai sistemi LFR, ottenendo utili informazioni e dati per la comprensione e l'analisi del comportamento

incidentale di tali sistemi. È stata realizzata una analisi numerica che ha supportato la re-definizione e il miglioramento della sezione di prova ICE, sviluppando un accoppiamento fra codice di sistema (RELAP5) e codice CFD (Fluent) di tipo elementare (one-way).

Per quanto concerne la realizzazione di prove di scambio termico in regime di circolazione mista, si è realizzata una serie di interventi sull'impianto NACIE, tra cui la progettazione e l'avvio della realizzazione del fuel pin bundle da 250 kW, l'installazione di un sistema di regolazione e controllo potenza, e la installazione di uno scambiatore di calore. In preparazione degli esperimenti sono state realizzate analisi numeriche di pre-test, mediante il codice di sistema RELAP5, anche accoppiato a un codice di CFD.



Particolare del fuel pin bundle installato nell'impianto CIRCE in configurazione ICE

Si è, inoltre, provveduto alla progettazione, realizzazione e installazione dell'impianto a piombo denominato HELENA. L'impianto sarà utilizzato anche per prove di scambio termico e perdite di carico in fuel pin bundle refrigerati a piombo in regime di circolazione forzata.



Pompa di circolazione centrifuga impianto HELENA e girante ricoperta in Tantalio

Analisi di sicurezza

Per il controllo della chimica del refrigerante è di fondamentale importanza disporre di un sistema di regolazione e controllo del tenore di ossigeno disciolto e quindi di sonde a ossigeno che ne permettano il monitoraggio nel metallo liquido.

Si è quindi provveduto a progettare e realizzare sonde per piombo basate sulla tecnologia delle celle elettrolitiche a ossido di zirconio, da qualificare presso gli impianti sperimentali del Centro Ricerche ENEA del Brasimone.

Ai fini della valutazione degli incidenti severi che portano al danneggiamento del combustibile, si sono realizzati studi analitici relativi all'interazione tra il combustibile e il refrigerante.

Relativamente al rilascio e migrazione dei prodotti di fissione si è identificata una apposita metodologia per la valutazione del tasso di rilascio dei prodotti di fissione dal combustibile irraggiato (termine sorgente) di un sistema LFR, che prevede l'utilizzo di un metodo di analisi statistico basato su codici Monte Carlo, accoppiato con codici di fuel-pin-performance basati su modelli semi-empirici.

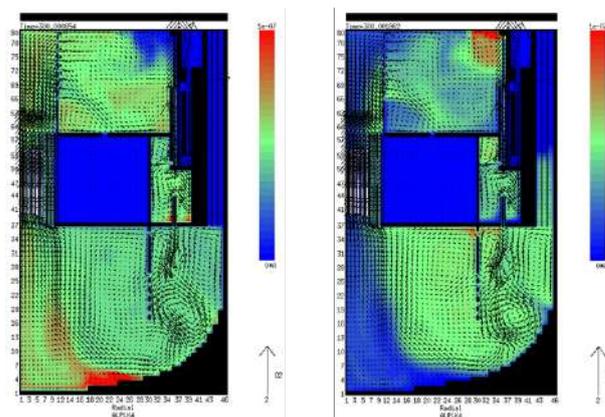
Si sono inoltre analizzati numericamente possibili scenari incidentali sui sistemi LFR, con l'obiettivo di identificare e supportare future attività di ricerca e sviluppo. A tale scopo si sono individuati preliminarmente i seguenti scenari incidentali:

Perdita di integrità del nocciolo - L'attività ha avuto come obiettivo la verifica di sicurezza di un sistema nucleare veloce refrigerato a piombo a seguito di un evento incidentale che comporti la parziale o completa distruzione del nocciolo. Mediante il codice SIMMER-III, si è modellato il reattore MYRRHA simulando un transitorio di "fuel dispersion". I risultati prodotti hanno messo in evidenza l'importanza di una corretta e accurata valutazione delle forze di galleggiamento e di trascinamento che agiscono sul combustibile disperso, sottolineando il ruolo predominante della porosità del combustibile.

Area di ricerca: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto 1.3.1 - LP3: Nuovo nucleare da fissione – Reattori di quarta generazione

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



Distribuzione delle particelle di combustibile a seguito di un evento di core degradation (porosità fuel 5% e 10%)

Perdita di refrigerazione - Si è creato e validato un dominio di calcolo semplificato per codici CFD che ha come obiettivo l'analisi della mutua interazione fra diversi elementi di combustibile a seguito della parziale o completa perdita di portata di refrigerazione. Si è evidenziato come gli elementi di combustibile aperti mostrino una minore sensibilità al fenomeno.

Parziale congelamento del sistema primario

- Si è creato e validato un dominio di calcolo semplificato per codici CFD che permetta di investigare il comportamento termoidraulico del sistema primario a seguito di un repentino ed esteso congelamento del metallo liquido fluente attraverso il generatore di vapore.

Valutazione delle interazioni fluido-struttura nei sistemi LFR - Scopo dello studio è stata la valutazione preliminare degli effetti strutturali (in termini di risposta globale del sistema) indotti da un terremoto di riferimento sui componenti "safety relevant" di un sistema nucleare LFR.

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Fusione nucleare

Attività di fisica 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. L'accordo, regolato da specifici Agreement of Collaboration con l'Agenzia Europea Fusion For Energy, vede impegnati Francia, Italia, Spagna, Germania e Belgio con forniture 'in kind' importanti e strategiche per il sistema industriale nazionale.

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.

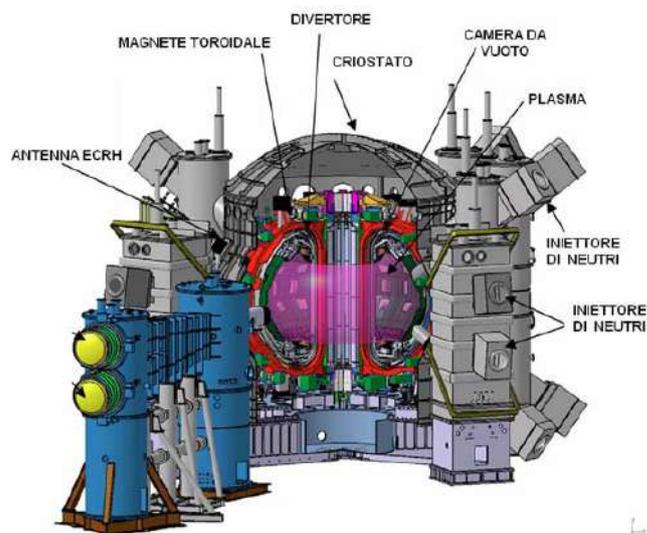
Viene anche avviata una attività di ricerca finalizzata alla realizzazione di un esperimento di fusione denominato FAST che ha lo scopo di preparare scenari operativi di ITER

permettendo di studiare un plasma che brucia senza ricorrere all'uso del trizio.

Obiettivi

Costruzione Tokamak JT-60SA

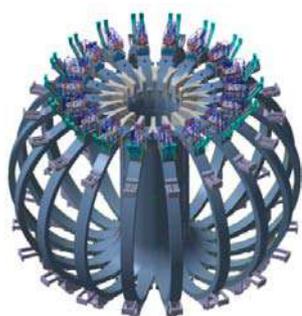
JT-60SA è un Tokamak superconduttore di raggio maggiore pari a circa 3 m, in grado di confinare plasma di deuterio con una corrente massima di 5,5 MA, con singolo o doppio nullo. Il Tokamak JT-60SA sarà installato a Naka nella Torus Hall che attualmente ospita il Tokamak JT-60U.



Macchina Tokamak Superconduttrice JT-60SA

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; le 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, raffreddato da un flusso forzato di elio supercritico alla temperatura di 4,4 gradi Kelvin.



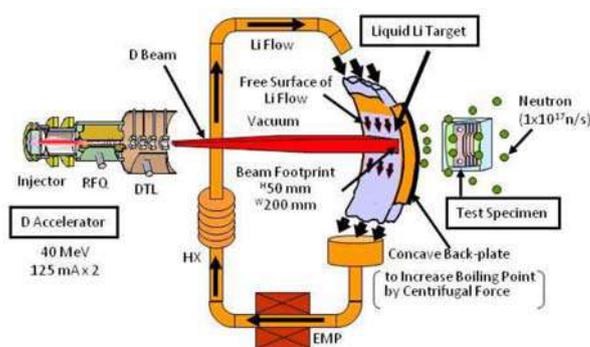
Sistema magnetico toroidale

Ciascun avvolgimento della bobina è formato da 6 doppi pancake collegati in serie da giunti elettrici interni per assicurare la continuità elettrica; Ogni pancake è formato da sei spire, con un isolamento di spira dello spessore di 1 mm. L'isolamento elettrico è realizzato con tele di vetro e resina epossidica impregnata sotto vuoto. 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 con spessore nell'intervallo 15-80 mm e sarà il supporto meccanico per tutto il sistema magnetico di JT-60SA.

IFMIF e IFERC

La fusione termonucleare richiede resistenza ad alte temperature (fino a 800 °C) e ad alti 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) costituita

da una sorgente di ioni di deuterio e due acceleratori lineari continui da 40 MeV per depositare due fasci da 125 mA di deutoni su un target di litio fuso in circolazione forzata ad alta velocità su cui gli ioni di deuterio, impattando, sviluppano, mediante opportune reazioni nucleari, neutroni di elevata energia, con uno spettro energetico tipico di un reattore a fusione (picco di 14 MeV). L'ENEA partecipa al programma provvedendo allo sviluppo del target per la produzione dei neutroni ad alta energia, 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 per il litio.



Concept of neutron generation in IFMIF Lithium Target

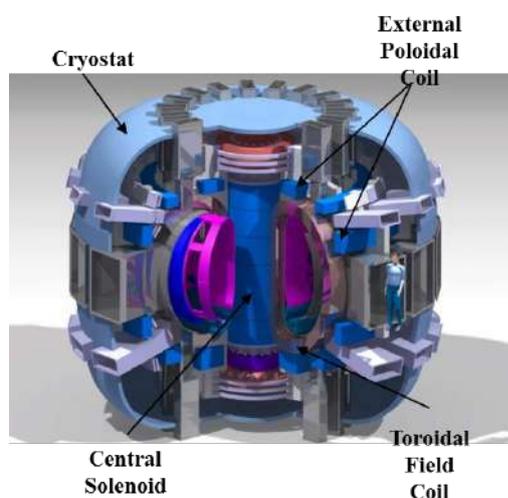
Lo studio di compositi di SiC/SiC è una delle attività di ricerca e sviluppo di DEMO condotte nell'ambito del progetto IFERC. L'ENEA ha il compito di studiare le proprietà meccaniche e chimico-fisiche di tali compositi e di sviluppare un'analisi di modello in grado di simulare e interpretare le prove meccaniche su campioni. Nel campo dei compositi ceramici, grazie anche alla collaborazione con la società partecipata FN Nuove Tecnologie e Servizi Avanzati, si hanno dotazioni impiantistiche di rilievo come il sistema di Chemical Vacuum Infiltration per la realizzazione di componenti di SiC/SiC



2D Textile Architecture (SiC/SiC)

FAST

Si intende realizzare un esperimento di fusione denominato FAST, tokamak compatto, in grado di realizzare scenari di elevate prestazioni con 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.



Macchina FAST

Risultati

Tokamak JT-60SA

Sono state avviate le azioni preparatorie alla costruzione delle 9 bobine di campo toroidali, tra cui l'acquisizione dei materiali costituenti la bobina e la qualifica dei processi speciali realizzativi con lo sviluppo di mock-up e di prototipi a piena scala. Con riferimento ai processi speciali, si è lavorato su: impregnazione di un tratto lineare di bobina e misura elettrica dell'isolamento; resistenza alla sollecitazione di taglio dell'isolante dopo impregnazione; giunzioni elettriche realizzate con superconduttore e provate a temperatura criogenica; boccaglio di ingresso di elio (la qualifica della saldatura richiede anche il controllo della temperatura dei fili del superconduttore); saldatura di giunzione fra i

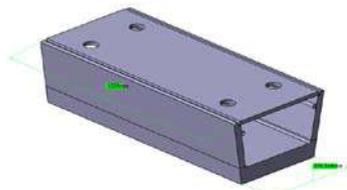
sottoinsiemi della cassa e del coperchio della cassa; doppio pancake prototipo realizzato con superconduttore. La qualifica del processo di impregnazione ha richiesto la realizzazione di un tratto lineare di bobina lungo un metro, con sezione a piena scala; lo stampo di impregnazione è stato sottoposto a prove di pressione e da vuoto e nella fase di impregnazione sono stati registrati i parametri di temperatura, pressione e tempo. I risultati delle prove elettriche (tensione di isolamento interspira e tensione di isolamento verso massa) sono stati ampiamente positivi rispetto alle prescrizioni delle specifiche. La saldatura dell'ingresso di elio supercritico a 4 K è stata qualificata alla presenza dell'Istituto Italiano di Saldatura. I laboratori dell'ENEA non hanno rilevato nessun danneggiamento sulle caratteristiche superconduttrici a seguito di sovratemperature prodotte nella fase di saldatura.



Stampo di impregnazione per la bobina toroidale per JT-60SA

Per la progettazione delle strutture di contenimento delle bobine toroidali sono stati costruiti dei mock-up a piena scala per la validazione della tecnologia di saldatura. La progettazione degli 'Switching Network Unit' ha richiesto frequenti interazioni con F4E e JAEA per la finalizzazione delle specifiche tecniche e l'integrazione dei sistemi. La progettazione degli alimentatori dei magneti poloidali è stata eseguita sulla base di scenari di corrente continuamente aggiornati dai fisici del JAEA. Un parametro critico per il progetto degli alimentatori è il dimensionamento termico di alcuni apparati. A questo scopo, in collaborazione con F4E è stato sviluppato un programma per il calcolo delle grandezze elettriche e termiche degli alimentatori (in

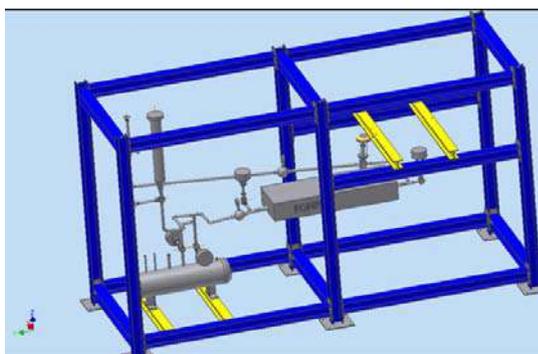
particolare, per la stima delle temperature di giunzione dei tiristori nei diversi casi e configurazioni).



Mock-up per qualificare la procedura di saldatura sulla cassa (per le bobine per JT-60SA)

IFMIF

L'ENEA ha sviluppato competenze e applicazioni innovative relative alla purificazione e alla corrosione/erosione del litio liquido. La qualifica sperimentale del sistema di purificazione del litio per IFMIF richiede l'aggiornamento dell'impianto a litio del Brasimone (LiFus). L'impianto verrà modificato con soluzioni meccaniche, costituite da una trappola fredda, una trappola calda e il misuratore di resistività, in grado di abbattere il più possibile il contenuto di elementi non metallici (C,O,H,N). L'ENEA ha ultimato il progetto di tutti gli elementi necessari per la purificazione e ha definito e acquisito le forniture prototipali necessarie alla modifica dell'impianto ed è stata avviata la loro installazione.



Nuovo impianto LiFus VI

Nell'ambito dello sviluppo della manipolazione remotizzata del target è stato progettato il sistema di connessione rapida per tubazioni. Il target a litio ha richiesto l'integrazione del Target Assembly con Backplate a baionetta con la sua struttura di contenimento progettata dal KIT (Europa) e con il circuito a litio progettato dal JAEA. In parallelo sono state condotte anche alcune attività di modellazione numerica in supporto sia al progetto sia all'analisi di sicurezza del circuito di litio di IFMIF.

IFERC

Il materiale composito ceramico SiC/SiC rappresenta un interessante materiale per un possibile utilizzo come prima parete nei reattori a fusione o come materiale funzionale da utilizzare nel ciclo del combustibile. Per lo sviluppo e la caratterizzazione di materiali compositi ceramici SiC/SiC in matrice e fibra di silicio è stata effettuata l'integrazione, in un codice commerciale agli elementi finiti, di programmi in grado di definire il comportamento meccanico dei materiali compositi partendo dalle caratteristiche meccaniche dei loro componenti. Per la caratterizzazione ad alta temperatura della corrosione ed erosione del composito SiC/SiC in litio liquido sono stati realizzati tutti i componenti principali del forno.

FAST

Sono stati effettuati i calcoli strutturali del sistema magnetico, la camera da vuoto e il criostato, l'analisi del sistema di raffreddamento della macchina e del sistema di remote handling.

Area di ricerca: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto 1.3.2: Fusione nucleare - Attività di fisica della fusione complementari a ITER

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

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

AREA

**PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E
PROTEZIONE DELL'AMBIENTE**

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studi sulla produzione di energia elettrica locale da biomasse e scarti

Scenario di riferimento

Le biomasse, una risorsa energetica ben distribuita e spesso ampiamente disponibile a livello locale, possono essere trasformate in energia e/o combustibili mediante 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 come combustibili o gassificate per ottenere syngas.

Il biogas e il syngas possono essere poi utilizzati in sistemi cogenerativi di piccola taglia (potenza massima di qualche centinaio di kW), per la produzione distribuita di energia elettrica e calore. Il biogas, se sottoposto a opportuni trattamenti di purificazione (clean-up) e rimozione della CO₂ (upgrading), può anche essere immesso nella rete di distribuzione del gas naturale. Anche il syngas, dopo adeguati processi di pulizia, può essere utilizzato per la produzione di biocombustibili liquidi (BTL) o gassosi (SNG) a elevato contenuto energetico mediante specifici processi di conversioni chimiche catalitiche.

I sistemi cogenerativi devono basarsi su impianti affidabili, di facile gestione e competitivi, e il loro sviluppo richiede 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, mentre la produzione di biometano richiede l'ottimizzazione dei processi di DA e lo sviluppo di sistemi di trattamento che consentano di ottenere un gas combustibile della qualità necessaria per l'immissione in rete.

Nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico, l'ENEA ha condotto numerose attività di ricerca e sviluppo tecnologico nel campo dei processi di produzione del biogas 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 generale del progetto riguarda lo sviluppo e la messa a punto di sistemi di conversione energetica di biomasse di diversa natura mediante la produzione di biogas o syngas da utilizzare in sistemi cogenerativi di piccola-media taglia, produrre biocombustibili o biocarburanti alternativi e ridurre l'impatto ambientale conseguente ad una ampia produzione decentralizzata.

Risultati

Le attività del progetto, iniziate nel triennio precedente per ottenere gas di qualità idonea ad alimentare sistemi di cogenerazione basati su celle a combustibile, sono state focalizzate sull'ampliamento/efficienza dei sistemi di conversione e sui trattamenti dei gas prodotti per migliorarne le caratteristiche qualitative e quantitative, in modo da renderne più agevole e ambientalmente meno impattante il loro uso nella cogenerazione distribuita.

Ottimizzazione del processo di digestione anaerobica

Lo studio del processo di DA ha consentito il potenziamento della produzione di metano dal liquame, valutando gli effetti della separazione delle fasi di idrogenogenesi e metanogenesi, e l'individuazione di pool microbici funzionali alla produzione di idrogeno, già presenti nel liquame. Sono state svolte indagini per definire la composizione dei pool microbici utilizzati negli esperimenti che hanno portato al completamento della caratterizzazione delle comunità microbiche degli inoculi utilizzati per

la produzione di idrogeno, e sui pretrattamenti biologici di biomasse legnose, studiando la degradazione che in natura è dovuta a funghi - denominati 'white rot' - per ottenere substrati fermentescibili.

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

Sono proseguiti gli studi e le attività sperimentali sul clean up con la messa a punto di nuovi materiali sia per i processi di semplice assorbimento che per quelli di conversione chimica (catalizzatori strutturati), e di sistemi biologici di abbattimento dell'idrogeno solforato nel biogas tramite il processo di fotosintesi anossigenica operato da solfobatteri.

Parallelamente, sono state affrontate le problematiche aperte per la separazione della CO₂, approfondendo lo studio sui sistemi di separazione della CO₂ basati sull'impiego delle membrane, sia polimeriche che ceramiche, al fine di disporre di dati sperimentali che consentano di effettuare un'analisi costi-benefici delle possibili soluzioni, individuando anche i margini di miglioramento delle stesse.

Infine, è stata avviata una specifica linea sul trattamento dei fumi di combustione delle biomasse lignocellulosiche al fine di migliorare l'impatto ambientale della loro valorizzazione energetica in impianti termici e/o cogenerativi di piccola-media taglia, con particolare riferimento alle emissioni di particolato, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e composti organici volatili (COV).

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

I risultati conseguiti hanno permesso di valutare la capacità di rimozione di alcuni carboni attivi commerciali (RGM3 e ROZ3) dell'H₂S in miscele simulate umidificate, evidenziando che la presenza di umidità riduce le ottime prestazioni ottenute con gas secchi per RGM3, mentre ROZ3 ha mostrato buone affinità anche con umidità elevate.

Lo studio della purificazione del biogas con sistemi biologici è stato svolto con due ceppi di *Chlorobium limicola*, DSM 245T e 248, in un prototipo di fotobioreattore per il trattamento del biogas dotato di LED monocromatici. La coltivazione in batch di *C. limicola* ha dato buoni risultati in termini di volumi di coltura

realizzati e capacità di abbattimento dell'inquinante da parte dei microrganismi, anche se su tempi decisamente lunghi.



Fotobioreattore con illuminatore a LED

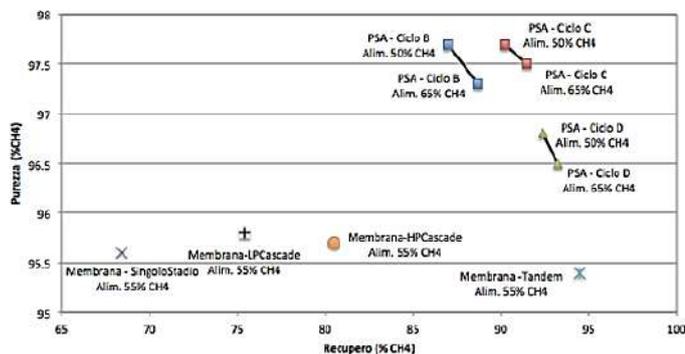
L'attività di modellizzazione del processo di desolfurazione, eseguita per disporre di uno strumento per l'analisi dei dati sperimentali raccolti e per la corretta progettazione di un'unità di desolfurazione, ha permesso di individuare il modello con le migliori prestazioni, tenendo conto della capacità del modello di descrivere in modo soddisfacente i vari meccanismi di desolfurazione.

La sperimentazione sui carboni attivi ha evidenziato una buona capacità di rimozione dei silossani. I test hanno, tra l'altro, mostrato che l'adsorbimento è di tipo fisico e non varia con il trattamento chimico subito dal carbone, e che la rigenerazione termica a 300 °C è efficace. Lo studio della rimozione di H₂S mediante ossidazione parziale selettiva con catalizzatori V₂O₅/CeO₂ ha evidenziato che il supporto non ha alcuna attività catalitica, mentre buone prestazioni sono state ottenute per due campioni di catalizzatori strutturati a base di vanadio, con una conversione di H₂S superiore al 90% e un'elevata stabilità.

Rimozione della CO₂ da biogas per upgrading a biometano

Per poter valutare meglio le effettive potenzialità della Pressure Swing Adsorption (PSA) è stato implementato un modello di simulazione dinamica, a partire dalla conoscenza dell'equilibrio e della cinetica di adsorbimento dei due componenti da separare (anidride carbonica e metano) sul materiale adsorbente utilizzato, in grado di valutare parametri di performance quali la purezza del biometano prodotto, il recupero di metano, la produttività, i consumi energetici. È stata inoltre confrontata la prestazione di unità di

upgrading con tecnologia PSA con quelle di processi a membrana.



Confronto fra le performance ottenute con processi di upgrading PSA e a membrane con diverse configurazioni di impianto

Test di membrane polimeriche commerciali e sviluppo di membrane innovative

L'impianto pilota è dotato di moduli equipaggiati con membrane polimeriche in PEEK, al fine di ricavare i parametri caratteristici di processo. I test hanno consentito di valutare l'influenza della pressione di alimentazione sul livello di purezza e di recupero del CH₄ presente nella miscela in ingresso.



Cartridge di contenimento del modulo a membrane

È stata studiata una membrana polimerica commerciale, la Matrimid®, che ha discrete potenzialità per la separazione CO₂/CH₄ alle basse e medie pressioni, ma che non è risultata particolarmente interessante per applicazioni nel campo dell'upgrading del biogas a biometano, avendo proprietà simili se non inferiori ad altri materiali utilizzati allo scopo. Membrane polimeriche nano composite, appositamente sviluppate, a base di film polimerici densi isotropici e nanofiller inorganici, sottoposte a test di permeazione dei gas puri e loro miscele hanno mostrato

selettività, fattori di separazione e stabilità soddisfacenti.



Campione di membrana polimerica nanocomposita

Emissioni di inquinanti da impianti di combustione alimentati a biomasse solide

Lo studio condotto sui dispositivi filtranti e catalitici disponibili in commercio per l'applicazione su impianti cogenerativi di combustione a biomasse lignocellulosiche, utilizzabili a valle di sistemi di abbattimento tradizionali, ha evidenziato la possibilità di ridurre ulteriormente gli inquinanti usando specifici catalizzatori su supporti ceramici a nido d'ape, meno costosi di quelli metallici e più idonei a essere catalizzati.

Si è inoltre proceduto a realizzare e provare supporti ceramici utilizzabili per dispositivi catalitici di abbattimento degli inquinanti dai fumi, per evidenziare i possibili effetti di ritenzione del particolato da parte degli stessi supporti e gli eventuali fenomeni di intasamento e investigare la loro capacità di abbattimento delle sostanze inquinanti a temperature inferiori a 200 °C.

Analisi di sistemi di generazione-cogenerazione basati su biomasse

È stata perfezionata la piattaforma web A.I.D.A. il cui fine è valutare la prefattibilità tecnico-economica di impianti di digestione anaerobica e di gassificazione. A.I.D.A offre un supporto nel valutare, per diverse tipologie di utenti, il pre-dimensionamento di un impianto per la produzione di biogas o syngas e le sue prestazioni energetiche ed economiche in relazione agli incentivi attualmente in essere. È stato completato il database di riferimento, ampliando e collaudando tutte le funzionalità implementate, aggiornandola alle recenti modifiche legislative sugli incentivi per la produzione di elettricità da biomasse.

Gassificazione con acqua in condizioni supercritiche (SCWG)

I risultati ottenuti hanno permesso di verificare una buona corrispondenza sui bilanci di materia rispetto a quanto alimentato nell'intero processo. Sono state condotte prove alimentando il sistema con gusci di mandorle, consentendo di verificare le ripartizioni relative tra le fasi ottenute dall'upgrading idrotermico, la qualità e la composizione del syngas. Sono state valutate le principali caratteristiche dei catalizzatori utili per i processi di gassificazione in condizioni vicine a quelle critiche e supercritiche. Si è infine validato il modello termodinamico ricavato nel corso della precedente annualità, valutando gli effetti della conduzione del processo di gassificazione in condizioni supercritiche dei gusci di mandorle e dei fanghi di depurazione.



Apparato sperimentale per trattamenti idrotermici

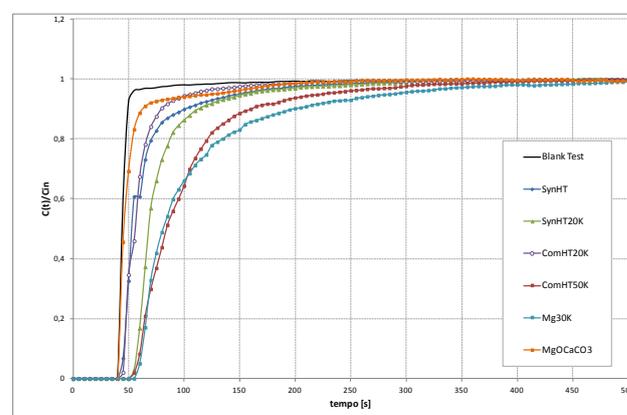
Produzione di gas naturale sintetico SNG mediante processo di gassificazione di biomasse

Sono stati studiati i catalizzatori che contengono, oltre all'elemento tradizionale Ni, anche del Fe, valutando le cinetiche ottenute nei diversi laboratori che attualmente lavorano nell'ambito della catalisi eterogena. È stato

sviluppato un dispositivo per la metanazione del syngas mediante la reazione in fase eterogena tra miscele di gas e un catalizzatore commerciale a base di Ni. Il sistema sarà in grado di operare sia con gas simulati che con gas reali, e consentirà di valutare le prestazioni dei diversi catalizzatori.

Si è focalizzato l'interesse sui processi di Sorption Enhanced Reaction Processes, che migliorano le rese di reazioni come quella di reforming e di water gas shift.

È stato realizzato un micro-reattore a letto fisso per effettuare prove di adsorbimento-desorbimento di CO₂ a media pressione e una temperatura di 400 °C, utilizzando ossidi basici, carbonati e idrotalciti. Particolarmente interessanti sono i risultati delle idrotalciti (HT) impregnate con il carbonato di potassio.



Curve di risposta in test di adsorbimento

Diffusione dei risultati

I risultati delle attività sono stati diffusi in occasione di congressi, workshop e seminari sulle tematiche specifiche, mediante la pubblicazione su articoli sulle riviste nazionali e internazionali del settore e in 20 rapporti tecnici editi dall'ENEA.

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

Progetto 2.1.2: Studi sulla produzione di energia elettrica locale da biomasse e scarti

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

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Ricerca su celle fotovoltaiche innovative

Scenario di riferimento

Le attuali modalità di produzione di energia elettrica sono inappropriate dal punto di vista economico, ambientale e sociale, anche in considerazione dei ritmi crescenti di richiesta di energia. Senza un'azione decisa le emissioni di CO₂ legate alla produzione di energia raddoppieranno entro il 2050 e la crescente domanda di petrolio aumenterà le preoccupazioni riguardo alla sicurezza delle forniture. C'è quindi la necessità di diversificare le fonti di produzione di energia elettrica, privilegiando le sorgenti rinnovabili e a basso impatto ambientale. In questo contesto si può comprendere l'importanza della tecnologia fotovoltaica (FV) e la necessità di promuoverne lo sviluppo mediante attività di ricerca e politiche di incentivi. Il mercato del fotovoltaico è cresciuto in maniera esponenziale nonostante la crisi economica e finanziaria. Nel 2011 la produzione di celle e moduli fotovoltaici ha raggiunto i 30 GW, registrando un incremento della produzione pari al 25% rispetto all'anno precedente. Il GSE ha stimato che nel 2011 in Italia è stata connessa alla rete nuova capacità fotovoltaica per circa 9 GW; l'Italia si posiziona al primo posto in Europa per capacità installata nell'ultimo anno e al secondo posto per capacità totale installata. In questa situazione è auspicabile un ulteriore impulso allo sviluppo di nuove tecnologie fotovoltaiche che consentano di innovare a livello nazionale le competenze, generando vantaggi nel lungo termine per gli utenti del sistema elettrico nazionale.

Le attività di ricerca puntano al miglioramento delle prestazioni degli attuali moduli a film sottile, superando le difficoltà di alcune tecnologie legate all'utilizzo di materiali scarsamente disponibili, e allo sviluppo di nuovi moduli basati su materiali organici. L'ENEA può vantare un'esperienza unica in Italia nella ricerca su materiali e dispositivi

fotovoltaici. In particolare da diversi anni vengono condotte ricerche su celle a film sottile di materiali inorganici e su celle a eterogiunzione (a-Si/c-Si) mentre, più recentemente, è stata avviata un'attività sulle celle solari organiche. In tutti i casi gli studi hanno la finalità di migliorare le prestazioni dei dispositivi, mirando all'individuazione di processi interessanti per l'applicazione industriale.

Obiettivi

Il programma punta allo sviluppo di tecnologie avanzate nel campo del fotovoltaico a film sottile basato su materiali semiconduttori organici e inorganici.

I moduli a film sottile di silicio hanno acquistato un rilievo crescente grazie ad una nuova generazione di dispositivi, le cosiddette celle solari "micromorfe", a base di silicio, che consentono di ottenere prodotti più efficienti. Questo tipo di architettura di dispositivo ha una struttura piuttosto complessa nella quale la geometria del substrato e ciascuno degli strati attivi che la compongono hanno un impatto sull'intero dispositivo. Il miglioramento delle prestazioni e la riduzione dei costi possono essere ottenuti migliorando l'intrappolamento della radiazione solare all'interno del dispositivo, grazie allo sviluppo di nuove architetture di dispositivo e di materiali innovativi che consentano di semplificare il processo di fabbricazione. Sempre nell'ottica di utilizzare piccole quantità di materiale semiconduttore e processi a bassa temperatura, appare interessante indagare la possibilità di 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 nel CuInSe_2 (CIS) con coppie di elementi II-IV della tavola periodica, conservando alti valori di efficienza del dispositivo. Questo favorirebbe un'espansione di massa di tale tecnologia per il fotovoltaico a film sottile, risolvendo i potenziali problemi dovuti alla scarsità dell'Indio. Nei prossimi anni, infatti, i moduli basati su leghe CIGC (Copper Indium-Gallium Selenide) raggiungeranno costi nettamente inferiori a 1 \$/W ed efficienza >14%, ma l'intera produzione mondiale di Indio potrebbe dare un massimo di 10 GW/anno di moduli FV in CIGS. Da ciò si può comprendere l'importanza degli studi volti all'eliminazione dell'indio. L'argomento proposto presenta però anche altre possibilità visto che la famiglia dei composti $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$ è ancora poco studiata e presenta un intervallo di variabilità delle gap molto ampio. È quindi anche possibile, in linea di principio, utilizzare questi materiali per la fabbricazione di celle a multigiunzione a basso costo.

Lo sviluppo di celle organiche è auspicabile per ottenere dispositivi di bassissimo costo, considerata l'economicità e abbondanza dei materiali precursori. Al momento l'ingresso nel mercato della tecnologia FV organica è legato ad applicazioni di nicchia quali caricabatterie, alimentatori portatili per applicazioni militari ecc. Per dimostrare, invece, il potenziale di tale tecnologia per la produzione di energia in applicazioni di potenza è necessario ottenere celle solari con adeguate efficienze di conversione stabili nel tempo. Le attività proposte su tale tema punteranno a migliorare le attuali prestazioni dei dispositivi, utilizzando nuovi materiali polimerici che assorbano la radiazione solare in modo più efficiente e modificando l'architettura di cella per ottenere un efficiente trasferimento di carica tra i materiali costituenti lo strato attivo.

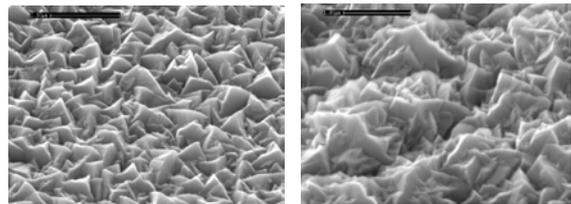
Risultati

Celle solari a film sottile di silicio

Le attività sul fotovoltaico a film sottile di silicio sono state finalizzate al miglioramento delle prestazioni di celle tandem micromorfe realizzate con una cella posteriore di silicio microcristallino e una frontale di silicio amorfo. Le attività hanno riguardato lo studio di materiali assorbitori e drogati alternativi a quelli utilizzati generalmente. È stato inoltre

avviato lo sviluppo di materiali e architetture di dispositivo per migliorare l'intrappolamento della radiazione solare all'interno della cella. Sono stati sviluppati film di ossido di silicio di tipo n, da impiegare come materiali drogati alternativi per i dispositivi. Questi strati sono stati adottati con successo sia nelle singole giunzioni p-i-n amorfe che nelle giunzioni tandem micromorfe. In particolare, per le celle tandem è stato dimostrato che i nuovi materiali drogati consentono di ottenere delle buone correnti di corto circuito, impiegando un semplice strato di argento come contatto posteriore delle celle (generalmente viene utilizzato un doppio strato ZnO/Ag) e senza l'utilizzo di alcuno strato intermedio tra le due celle componenti. Adottando lo strato n innovativo, con un processo di fabbricazione semplificato, sono state fabbricate celle micromorfe molto sottili (spessore totale degli strati inferiore al micron), che significa dimezzare i tempi di fabbricazione del dispositivo, ottenendo valori di efficienza superiori al 9%.

Parallelamente alla sperimentazione sulla parte attiva del dispositivo, è continuato lo sviluppo di elettrodi frontali di ZnO caratterizzati da una rugosità superficiale tale da determinare un efficace intrappolamento della radiazione solare. Grazie al lavoro svolto sull'ottimizzazione della morfologia superficiale, i dispositivi fabbricati sugli strati trasparenti e conduttivi (TCO) sviluppati in ENEA hanno mostrato nella regione infrarossa della radiazione una risposta spettrale migliore di quella ottenuta utilizzando substrati di tipo commerciale. In tal modo è stata ottenuta una cella micromorfa con un'efficienza pari a 11,6%. Sono stati inoltre sviluppati TCO 'Full Haze' a base di ZnO prodotti mediante MOCVD e modificati con l'ausilio della tecnica del wet etching che consente di modulare e controllare la rugosità superficiale.



Immagini SEM della morfologia superficiale di film di ZnO



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

Questo tipo di substrato, caratterizzato da una doppia testurizzazione, ha mostrato elevate proprietà di scattering in tutto l'intervallo spettrale di interesse nella tecnologia delle celle micromorfe. Per quanto riguarda lo sviluppo di strati assorbitori alternativi a quelli attuali, sono proseguite le attività sullo studio di film nanostrutturati di silicio in matrice di ossido di silicio da utilizzare come strati assorbitori innovativi nella cella anteriore e di film sottili microcristallini di silicio germanio da utilizzare nella cella posteriore in sostituzione del silicio microcristallino. I materiali sono stati caratterizzati e inseriti in celle pin per verificarne il potenziale utilizzo. Parallelamente alle attività sulle celle micromorfe è stato avviato lo sviluppo di celle sottili in silicio cristallino (cSiTF) su wafer di c-Si sottili di spessore 50-100 μm . L'attività ha previsto lo studio di due architetture diverse: dispositivo con emitter ottenuto per diffusione termica e dispositivo a eterogiunzione con emitter innovativo in ossido di silicio drogato ottenuto con tecnologia PECVD. Entrambe le architetture sono basate su cSiTF e quindi comportano alcune problematiche comuni, quale ad esempio quella relativa al confinamento ottico della radiazione incidente mediante opportuno trattamento delle superfici della cella fotovoltaica. Si è quindi realizzato un primo dispositivo a eterogiunzione, basato su di un wafer quasi monocristallino di tipo p e spessore di 180 μm sul quale si è depositato un emitter innovativo in SiOx drogato n, ottenendo un'efficienza iniziale del 15,8%.

L'attività di ricerca sulle celle in cSiTF con emitter a diffusione termica è stata volta principalmente alla messa a punto dei processi di diffusione di drogante e di crescita di ossido di silicio, entrambi realizzati ad alta temperatura ($> 850\text{ }^\circ\text{C}$) con forno a tubo aperto. È stato condotto inoltre uno studio su Bragg reflectors in silicio poroso, realizzando multistrati da circa 40 layers con diversi profili di riflettanza. Il processo è in fase di ottimizzazione, soprattutto per quanto riguarda la riproducibilità, ma i risultati preliminari mostrano come sia possibile modulare il profilo di riflettanza in modo da adattare il riflettore alle particolari esigenze di un dispositivo.

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

L'attività sui film sottili policristallini è stata incentrata sulla realizzazione di celle fotovoltaiche basate sul semiconduttore quaternario $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS). La crescita dei film di CZTS avviene a partire da precursori composti da un multilayer di ZnS, Sn e Cu che subiscono poi un annealing in presenza di zolfo in un forno di solforizzazione a tubo aperto. È stata valutata la possibilità di sostituire il forno a tubo con un forno di processo rapido (RTP), precedentemente utilizzato per altri scopi. Il forno è stato rimesso in funzione, ma il controllo della temperatura si è rivelato abbastanza difficile, viste le proprietà altamente corrosive dei vapori di zolfo. Sono stati comunque realizzati alcuni campioni che non hanno mostrato alcun miglioramento rispetto a quelli fatti con il forno a tubo standard. È stata poi studiata l'influenza di variazioni fini di composizione del precursore sulle proprietà optoelettroniche dei film e sull'efficienza dei dispositivi finali. Si è evidenziato che la gap del materiale aumenta sensibilmente (da 1,45 a 1,62 eV) all'aumentare del contenuto di Sn nel film. Queste variazioni di gap sono correlate con cambiamenti drastici della concentrazione di difetti dei film e hanno perciò anche un influsso rilevante sui parametri fotovoltaici dei dispositivi. Il lavoro svolto sui vari step di processo di fabbricazione delle celle ha consentito di ottenere un'efficienza massima di conversione del 2,5%.

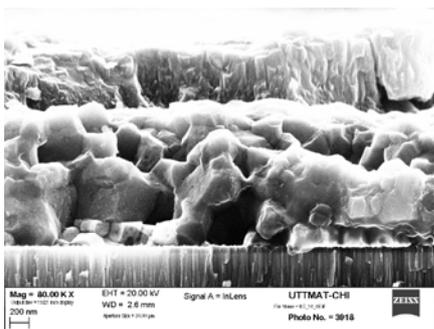


Immagine SEM in sezione di una cella in $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Misure di tipo composizionale eseguite lungo lo spessore dei film hanno evidenziato una tendenza alla segregazione dello Zn sul retro del materiale derivante probabilmente dai differenti coefficienti di diffusione di Cu, Sn e Zn. L'unica soluzione a questo problema sembra essere la crescita di film in cui i metalli sono solforizzati fin dall'inizio e per questo motivo è stato effettuato un up-grade del sistema di sputtering confocale per poter passare al co-sputtering da solfuri. Contemporaneamente si è acquisito un nuovo sistema di sputtering per la deposizione dei contatti di Mo e ZnO.

Celle organiche a base di materiali polimerici

Nel corso delle annualità precedenti è stato predisposto un laboratorio per la realizzazione di celle fotovoltaiche polimeriche su piccola scala. Il cuore del laboratorio è costituito da un sistema glove-box con evaporatore termico integrato che consente di condurre tutti gli step di processo in atmosfera controllata e permette quindi di realizzare dispositivi evitando il degrado dei materiali. L'attività ha avuto l'obiettivo di migliorare le efficienze di conversione dei dispositivi ottenute utilizzando come polimero semiconduttore il poli-3-esiltiofene (largamente usato in letteratura) in modo da renderli appetibili da un punto di vista industriale. Per ottenere questo risultato

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

Progetto 2.1.4: Ricerca su celle fotovoltaiche innovative

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

è stato necessario utilizzare altri materiali polimerici attivi che avessero una struttura elettronica più favorevole sia per incrementare la corrente di uscita delle celle (migliore assorbimento della radiazione solare), che per migliorare la tensione di circuito aperto.

Sono state pertanto sviluppate celle fotovoltaiche polimeriche aventi come materiale attivo una blend di un copolimero benzoditiofene-tienotiofene e un derivato del fullerene C70.



Glove Box per lo sviluppo di celle solari polimeriche

Sono state affrontate le varie problematiche connesse con la deposizione dei materiali polimerici, il controllo della loro morfologia, la realizzazione dei contatti e la caratterizzazione dei dispositivi. I migliori dispositivi (non incapsulati) hanno raggiunto un'efficienza di conversione del 4,5%, ma si prospettano margini di miglioramento, caratterizzando gli stessi in un ambiente controllato.

Sono state inoltre investigate tecnologie di stampa (inkjet printing) per la deposizione dello strato attivo allo scopo di valutare se le caratteristiche di tali materiali sono idonee alla processabilità degli stessi tramite tecniche industrializzabili, che possano operare su larga area con un'elevata velocità.

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine

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 ad 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 rilevante. 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 sue coste sono bagnate da onde di piccola altezza e minor periodo. È quindi necessario cercare di sviluppare dispositivi che siano in grado di sfruttare al massimo 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

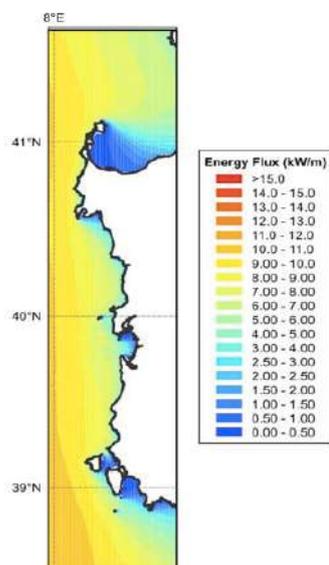
Le attività di ricerca del presente progetto mirano a quantificare l'energia che può essere immessa nella rete elettrica, ricavabile da appositi convertitori del moto ondoso e delle correnti marine in siti specifici della costa italiana. In particolare le attività hanno riguardato la stima del potenziale energetico del moto ondoso in tali siti. L'analisi è stata finalizzata alla valutazione dell'energia associata al clima ondoso e alla valutazione dell'intensità e della frequenza degli eventi estremi (dati determinanti durante la fase di progettazione e installazione dei dispositivi di conversione). L'attività di ricerca si è concentrata inoltre sulla valutazione del potenziale energetico delle correnti di marea presenti nello Stretto di Messina attraverso simulazioni numeriche e dati osservati.

Nel progetto si è proceduto inoltre a valutare le potenzialità di alcuni sistemi di conversione dell'energia del moto ondoso e delle correnti di marea. In particolare sono state valutate le prestazioni, l'efficienza e la quantità di energia che produrrebbero alcuni dispositivi di

conversione nel caso venissero installati in alcuni punti della costa italiana.

Risultati

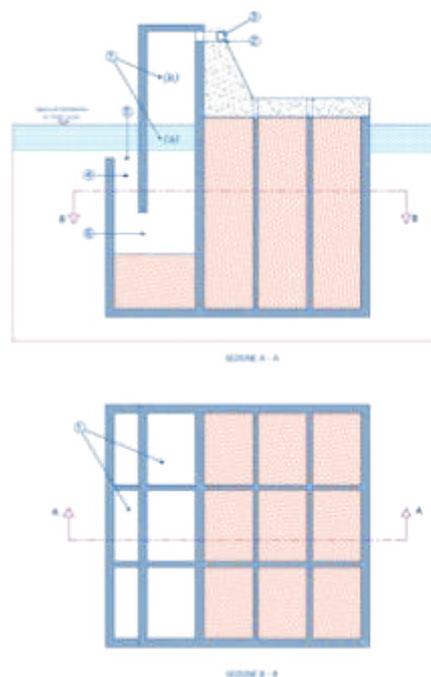
La stima del potenziale energetico associato al moto ondoso è stata realizzata attraverso l'implementazione di una serie di modelli numerici capaci di stabilire con sufficiente precisione il potenziale a pochi metri di distanza dalla costa. La tecnica modellistica utilizzata è stata quella del 'dynamical downscaling' che consiste nell'eseguire una sequenza di simulazioni via via sempre più definite nello spazio e nel tempo. I modelli utilizzati in cascata sono stati nell'ordine: il WAM (WAve Model) implementato per l'intero bacino del Mediterraneo ad una risoluzione di 7 km, lo SWAN (Simulating WAves Nearshore), che a differenza di WAM include algoritmi per la rappresentazione dei fenomeni specifici delle acque basse, implementato ad una risoluzione di 800 m, e il MIKE21 ad una risoluzione di poche decine di metri. A differenza di WAM, gli altri due modelli sono stati implementati solo per le aree di maggiore interesse della costa Italiana (Sardegna occidentale e canale di Sicilia).



Potenziale energetico associato al moto ondoso su scala climatologica di 10 anni per la costa occidentale della Sardegna

Nel corso del progetto sono state valutate le prestazioni di due convertitori di energia ondosa sviluppati di recente in Italia: REWEC3 e ISWEC.

REWEC3 (REsonant Wave Energy Converter) è stato sviluppato presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria. È fondamentalmente un cassone portuale tradizionale, opportunamente modificato per trasformare l'energia delle onde che impattano contro di esso in energia elettrica.



Schema costruttivo di un cassone REWEC3 a celle indipendenti

La prima fase di attività è stata dedicata allo studio del dimensionamento del cassone per una ipotetica installazione nei siti di Porto Pischera in Sardegna, Pantelleria e Genova. Per ognuno di questi siti è stato valutato il periodo proprio di oscillazione dell'impianto, le sue condizioni di risonanza, e l'idrodinamica del moto dell'acqua e dell'aria all'interno dell'impianto in configurazione a celle indipendenti. I dati relativi agli eventi estremi di moto ondoso che caratterizzano i tre siti prescelti sono stati successivamente utilizzati per valutare le dimensioni necessarie a garantire la necessaria stabilità globale ai cassoni REWEC3. In particolare per tutte e tre le località oggetto di studio è stata considerata una configurazione standard della porzione attiva della struttura, avente larghezza del condotto verticale di 2 m, larghezza della camera di assorbimento di 4 m, altezza della luce di collegamento condotto verticale-camera di assorbimento di 3 m, affondamento della quota superiore del condotto verticale di 2 m.

Per tutte e tre le località è risultato che la struttura considerata è, in definitiva, ben verificata a stabilità globale. Sempre per i tre siti considerati è stata poi stimata la produzione elettrica nel caso in cui il REWEC3 sia dotato di una turbina monoplana di tipo Wells di 1,5 m di diametro e velocità angolare 3.000 giri/minuto. I risultati hanno evidenziato che il sito di Porto Pischera e quello di Pantelleria garantiscono una sufficiente produzione di energia (210 e 149 kWh/anno/turbina, rispettivamente); Genova, al contrario, fornisce valori di produzione più bassi (41 kWh/anno/turbina).

Il secondo sistema di conversione analizzato è stato ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter), il cui prototipo è stato realizzato dal Politecnico di Torino. Il suo principio di funzionamento è basato sull'utilizzo di un sistema giroscopico installato su uno scafo galleggiante in grado di oscillare su un grado di libertà rispetto allo scafo. Lo scafo è caratterizzato da una forma che garantisce l'auto-allineamento con la direzione di incidenza delle onde. In questo modo il moto ondoso incidente induce sullo scafo un movimento prevalentemente di beccheggio. All'interno dello scafo è alloggiato il convertitore giroscopico che è soggetto al moto di beccheggio. Il moto del galleggiante perturba lo stato di moto del giroscopio che reagendo con un moto relativo di precessione aziona l'albero di un generatore elettrico che produce energia elettrica. Rispetto ad altri dispositivi di conversione ISWEC presenta un maggiore campo di funzionamento grazie alla sua possibilità di essere "sintonizzato" sulle diverse lunghezze d'onda. La regolazione di ISWEC avviene per mezzo di tre parametri di controllo: lo smorzamento torsionale e la rigidità torsionale imposti all'albero del generatore e la velocità di rotazione del giroscopio.



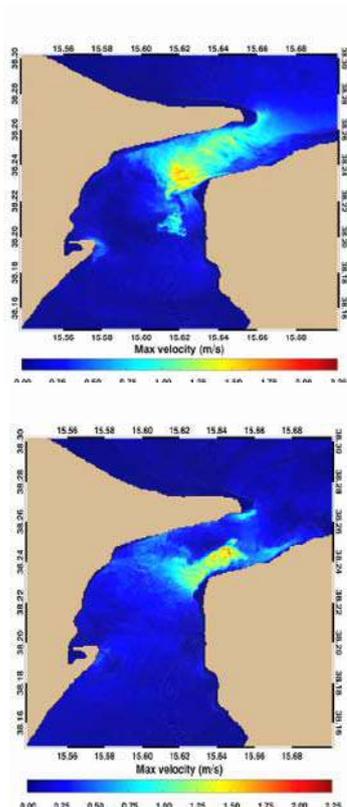
Dispositivo di conversione del moto ondoso ISWEC

In questo progetto sono stati individuati i parametri di controllo che per ogni stato di mare massimizzano la quantità di energia prodotta. Definita quindi la potenza associata al moto ondoso attraverso i modelli numerici precedentemente descritti è stato possibile stimare la produttività annuale di ISWEC. In particolare è stata calcolata l'energia che un sistema ISWEC della potenza nominale di 60 kW produrrebbe se fosse installato a pochi metri di distanza dal porto di Pantelleria. I risultati hanno mostrato che ISWEC produrrebbe una potenza media annuale di 31,5 kW corrispondenti ad un'energia annua prodotta di 276,3 MWh.

Nel progetto è stato inoltre stimato il potenziale associato alle correnti di marea nello stretto di Messina attraverso due modalità differenti: l'analisi dei dati forniti da un modello numerico sviluppato appositamente e le tavole di marea relative all'anno 2004 (fonte: Istituto Idrografico della Marina). Al fine di ottenere la migliore rappresentazione possibile delle maree nello stretto di Messina è stato sviluppato un modello tridimensionale non-idrostatico dello Stretto forzato dalle principali componenti armoniche di marea. Il modello utilizzato è stato il MITgcm implementato ad una risoluzione orizzontale di circa 50 m. Per descrivere nel modo più accurato possibile la dinamica verticale delle correnti di marea sono stati utilizzati 72 livelli verticali che garantiscono una risoluzione verticale di pochi metri in superficie e poche decine di metri alla profondità di 500 metri. Dall'analisi combinata delle correnti di marea ottenute attraverso la simulazione e dalle tavole di marea è stato possibile descrivere in maniera particolareggiata la struttura delle correnti di marea nello Stretto di Messina.

Successivamente è stata valutata l'energia che si riuscirebbe a produrre dalla conversione delle correnti di marea presenti nello stretto di Messina da parte dei seguenti dispositivi: Sistema MCT SeaGen; Sistema KOBOLD; Sistema GEM; Sistema Fri-El; Sistema Verdant Power.

Allo scopo di effettuare stime confrontabili e di avere ingombri paragonabili dei diversi sistemi, si è assunto che le singole unità installate avessero tutte la stessa potenza massima pari a circa 1 MW.



Campo di velocità a 5 metri simulato dal MITgcm durante due istanti di tempo del ciclo di marea nello Stretto di Messina

Le dimensioni delle strutture sono state in prima approssimazione scalate proporzionalmente ai diametri delle turbine. Si è proceduto quindi ad un confronto tra i diversi sistemi di conversione considerati.

In particolare, si è valutato, per le diverse tecnologie considerate, gli aspetti relativi alla efficienza del sistema, alle difficoltà di installazione e all'impatto sull'ambiente marino.

Da tali analisi è risultato che uno dei sistemi di conversione più promettenti è il GEM. Il GEM è un dispositivo di conversione delle correnti marine progettato nell'ambito di un progetto di ricerca congiunto tra il Dipartimento di

Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Napoli "Federico II" e il Parco Scientifico e Tecnologico del Molise. Il sistema GEM, denominato anche "aquilone del mare", consiste in una struttura galleggiante che supporta due turbine idrauliche, intubate in alcune configurazioni, per incrementare l'efficienza della conversione energetica.



Dispositivo di conversione delle correnti di marea GEM

La struttura è collegata attraverso un cavo di ormeggio ad un ancoraggio al fondo marino, costituito anche da un semplice corpo morto. Il sistema può orientarsi autonomamente nella direzione della corrente, consentendo l'utilizzo del sistema anche in regimi di correnti alternanti. Le dimensioni di GEM in configurazione da 1 MW sono le seguenti: diametro turbina: 15,7 m; larghezza massima: 52,3 m; lunghezza massima: 52 m.

Adottando tali dimensioni, una ipotetica unità del sistema GEM produrrebbe una potenza massima di 1000 kW alla velocità di 2,02 m/s. In base alle sue dimensioni sarebbe possibile installare nelle adiacenze di Punta Pezzo (il sito più energetico dello stretto) fino a 19 GEM della potenza di 1 MW ognuno ed estrarre annualmente circa 46.000 MWh.

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

Progetto 2.1.8: Studi e valutazioni sul potenziale energetico delle correnti marine

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

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili, la cattura e il sequestro della CO₂

Scenario di riferimento

È unanime la consapevolezza che sarà impossibile sostituire, almeno per qualche decennio, quote significative di combustibili fossili con fonti alternative a basse o nulle emissioni di CO₂, e che quindi è sempre più necessaria 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 che di processo, e di essere testate su scala dimostrativa, al fine di 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), una adeguata attività di R&S svolta dall'ENEA e dal sistema della ricerca pubblica, consentirà di conseguire alcuni obiettivi di interesse strategico che si concretizzano nel contribuire efficacemente alla riduzione delle emissioni italiane di CO₂, nel consentire al sistema nazionale di limitare i costi della produzione di energia elettrica nel prossimo futuro e di porre l'industria nazionale in grado 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 prestazionali, in termini di efficienza e di costo, sempre più prossimi a quelli delle tecnologie convenzionali attuali.

Un altro settore in espansione è quello relativo alle tecnologie di "riutilizzo" della CO₂ una volta separata, al fine di produrre nuovi combustibili o "chemicals", in contesti ove la disponibilità di energia (leggi surplus da fonti rinnovabili), o la disponibilità ad esempio di idrogeno, rendono la cosa economicamente sostenibile. In tale ottica si preferisce parlare di tecnologie CCUS ossia "Carbon Capture Utilization and Storage".

Obiettivi

Il Progetto ha per finalità lo sviluppo, la validazione teorico/sperimentale e la dimostrazione, 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 sviluppate nelle precedenti annualità.

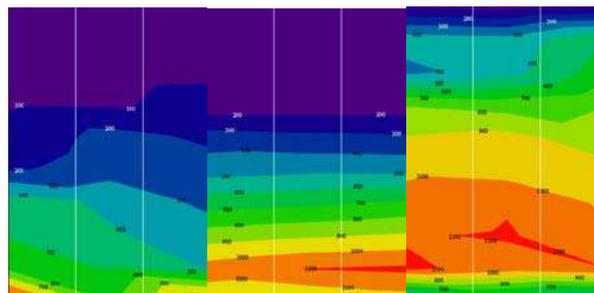
Il grado di maturità delle tecnologie proposte è assai differente: a fianco a soluzioni tecnologiche più mature, applicabili nel breve-medio termine, per le quali lo sforzo è principalmente rivolto alla riduzione degli extra-costi, vengono studiate metodologie più avanzate che consentano, sul lungo termine, soluzioni tecnologiche caratterizzate da 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 della successiva sequestrazione geologica. 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. Di recente sono state 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 di un carbone estratto dalle miniere del Sulcis, consenta la separazione e il sequestro geologico della CO₂ nel locale bacino carbonifero.

Risultati

Sperimentazione e ottimizzazione del processo di gassificazione

È stata condotta una vasta attività sperimentale sulla gassificazione del carbone, in relazione a "rango", pezzatura, agente gasificante, e sulla co-gassificazione di carbone e biomassa. Sono state realizzate importanti facility sperimentali presso Sotacarbo ed ENEA per la messa a punto della tecnologia e lo sviluppo di componenti innovativi, metodi di controllo, diagnostica.



Mappatura termica della parete del gassificatore Sotacarbo: fasi di avviamento, stazionario, pre-spegnimento

Pulizia del syngas

Rappresenta uno degli aspetti più delicati relativi all'utilizzo di un syngas a fini energetici. Sono state sviluppate tecnologie di pulizia del syngas per l'abbattimento delle polveri (a umido), la desolforazione (con sorbenti solidi a base di Zn e Fe), l'abbattimento del TAR (con cracking catalitico).

Processi avanzati di gassificazione/pirolisi e pulizia di syngas integrati, per l'utilizzo di carboni ad alto contenuto di Zolfo

È stato sviluppato un innovativo processo di gassificazione, basato su pirolisi preventiva e separata dalla fase di gassificazione, rivolto in particolare all'utilizzo di carboni di basso rango. È stato realizzato un impianto pilota per la messa a punto del processo.

Produzione di combustibili liquidi (CtL) e gassosi (H₂) con cattura della CO₂

Attraverso processi detti di "Coal to Liquid" può essere prodotto a partire da carboni di basso rango un combustibile liquido, privo di zolfo, a costi paragonabili con quelli commerciali. È stato realizzato un impianto pilota per la messa a punto della tecnologia Coal to Liquid, basata su sintesi Fischer-

Tropsch (sono stati selezionati i catalizzatori e determinati i parametri ottimi di funzionamento). È stato anche condotto uno studio di fattibilità tecnico-economica relativa ad un impianto di taglia industriale.



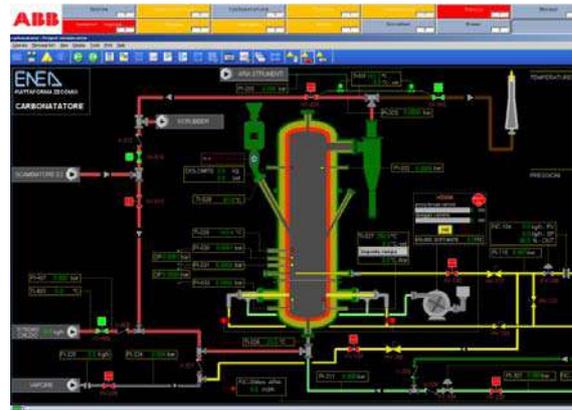
Impianto Ctl (Politecnico Milano)

Cattura della CO₂ ad alta temperatura mediante sorbenti solidi a base di ossido di calcio

Le tecnologie pre-combustione operano la “decarbonizzazione” del combustibile fossile a monte della combustione rilasciando un syngas ad alto contenuto di idrogeno utilizzabile come combustibile in impianti di produzione elettrica. Sono stati sviluppati sorbenti solidi ad alta temperatura, a base di CaO, altamente performanti, per la cattura della CO₂. È stato realizzato il primo esercizio di un Dimostrativo del ciclo ZECOMIX (Zero Emission Coal MIXed technology) che integra gassificazione, pulizia syngas e cattura della CO₂ con sorbenti e combustione di idrogeno per la produzione di energia elettrica.



Piattaforma sperimentale ZECOMIX



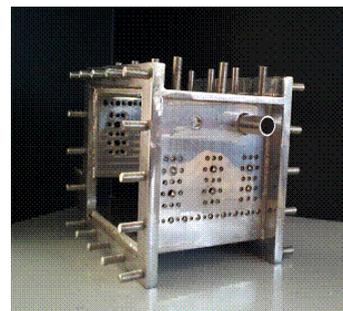
Sistema di controllo della piattaforma ZECOMIX: sinottico del Carbonatore

Studi modellistico/sperimentali sui processi di cattura della CO₂ con solventi

Sono stati realizzati presso Sotacarbo un impianto pilota (e laboratori di caratterizzazione a supporto) per il miglioramento di efficienza energetica, durabilità, efficienza di rigenerazione di solventi liquidi a base di ammine. È stata sviluppata una soluzione innovativa, sempre a base di ammine, ma “water-free”, caratterizzata da minor consumo energetico e tossicità, elevata durabilità e capacità rigenerativa. È stato brevettato (ENEA) un nuovo solvente (soluzione basica di resorcinolo) caratterizzato da alta efficienza energetica e di cattura, e minore tossicità.

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

Lo sfruttamento energetico, in turbine a gas, del syngas prodotto in processi di “decarbonizzazione pre-combustion” impone lo sviluppo di bruciatori innovativi. A tal fine è stato progettato e realizzato un bruciatore avanzato per turbine a gas, in grado di operare con syngas molto ricchi di idrogeno provenienti da processi di cattura pre-combustion, ed è stata realizzata una facility sperimentale per la sua validazione.



Bruciatore Trapped Vortex ENEA

Sviluppo di strumenti numerici per l'ottimizzazione di componenti

Sono stati sviluppati strumenti numerici e modelli per la simulazione stazionaria e non di flussi reattivi multifase (combustione di polverini di carbone, slurry, gas e syngas, in aria o ossigeno) e per la progettazione dei componenti. È stato completato lo sviluppo di un modello di cinetica chimica per la combustione di carbone, di tipo innovativo, a carattere predittivo, che richiede informazioni solamente sulla composizione elementare del carbone di partenza e sulle condizioni operative del processo.

Studi su tecnologie di utilizzo e fissaggio della CO₂

Sono state sviluppate tecnologie alternative al sequestro geologico della CO₂, finalizzate alla produzione di combustibili gassosi (metanazione) e alla fissazione chimica dell'anidride carbonica (carbonatazione dei residui solidi di gassificazione).

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

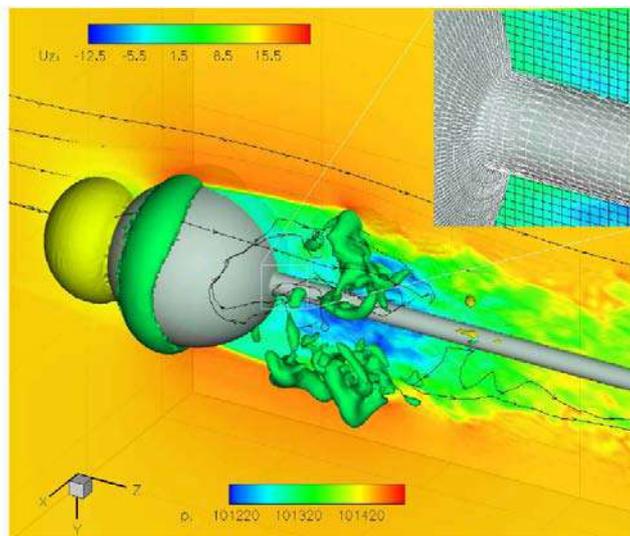
È stata effettuata la definizione preliminare di progetto di un Dimostrativo a carbone, di scala industriale, provvisto di cattura e confinamento geologico della CO₂ nel bacino carbonifero del Sulcis. Sono state comparate differenti configurazioni alternative sulla base di valutazioni tecnico-economiche. Sono state sviluppate metodologie innovative di valutazione dei costi della cattura.

Storage CO₂

È stata realizzata e utilizzata una rete di monitoraggio geochimico nel sito carbonifero del Sulcis, al fine di acquisire esperienza "sul campo" nella gestione della rete e caratterizzare il background naturale in relazione alle sue oscillazioni stagionali. Sono state prodotte Linee Guida per il monitoraggio geochimico dei siti.

Partecipazione a organismi internazionali

ENEA ha assicurato la presenza italiana in importanti contesti internazionali.



Simulazione con tecnica "Immersed Volume Method" – ENEA di geometrie complesse

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

Progetto 2.2: Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO₂

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

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

AREA

**RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO
NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA**

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi

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. In quest'ambito si collocano le attività di adeguamento della normativa nazionale alla legislazione europea in merito a requisiti minimi (Eco-Design) ed etichettatura energetica.

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

L'obiettivo finale dell'attività consiste nella realizzazione di strumenti e metodi finalizzati alla promozione di tecnologie ad alta efficienza energetica - allo scopo di favorire il mercato di prodotti più performanti sia a livello di componenti che consumano energia, sia a

livello di sistemi che la producono - all'integrazione di tali tecnologie e all'ottimizzazione della loro gestione in un contesto territoriale circoscritto per mezzo di una configurazione di rete secondo il modello di generazione distribuita orientata al settore dei servizi.

Tale obiettivo è stato conseguito attraverso una serie di azioni articolate in quattro linee di attività, che riguardano: lo sviluppo di specifiche, l'implementazione e il controllo di mercato per quanto attiene Etichettatura Energetica ed Ecodesign; la promozione della micro cogenerazione in un contesto di micro-rete attiva per applicazioni nel settore civile; lo sviluppo di strategie ottimali di gestione delle reti termiche; lo sviluppo di modelli per il contenimento dei consumi energetici nel sistema edifici-impianti connesso ad una rete complessa.

Risultati

Etichettatura Energetica ed Ecodesign: sviluppo di specifiche, implementazione e controllo di mercato

L'attività si è focalizzata sullo sviluppo e controllo della legislazione europea sull'etichettatura energetica e i requisiti minimi di efficienza energetica per i nuovi prodotti (cioè beni e servizi che consumano energia nella fase d'uso o che hanno influenza sul consumo di energia quando installati), con particolare riferimento allo schema di etichettatura delle asciugatrici per uso domestico, di forni e piani cottura elettrici, per gli apparecchi e gli impianti per la produzione di acqua calda sanitaria e la climatizzazione invernale.

Per i piccoli apparecchi sono state modificate le proposte di etichettatura preparate dalla Commissione nel 2011 e per gli apparecchi del settore non domestico sono in discussione

varie proposte, in particolare per le pompe di circolazione dell'acqua.

L'ENEA ha supportato sin dal 2010 la creazione di una rete di laboratori sul territorio nazionale per le verifiche di conformità previste dalla legislazione comunitaria; a tale scopo è stato realizzato e diffuso un questionario per raccogliere le informazioni sulla capacità di prova e le caratteristiche dei laboratori per i test sulle lavatrici.

Sono state inoltre analizzate le problematiche inerenti la diffusione della micro-cogenerazione nell'attuale contesto energetico, sia come composizione del parco di generazione elettrica, sia come operatività delle facilitazioni fiscali, sia come ruolo dell'industria manifatturiera nazionale.

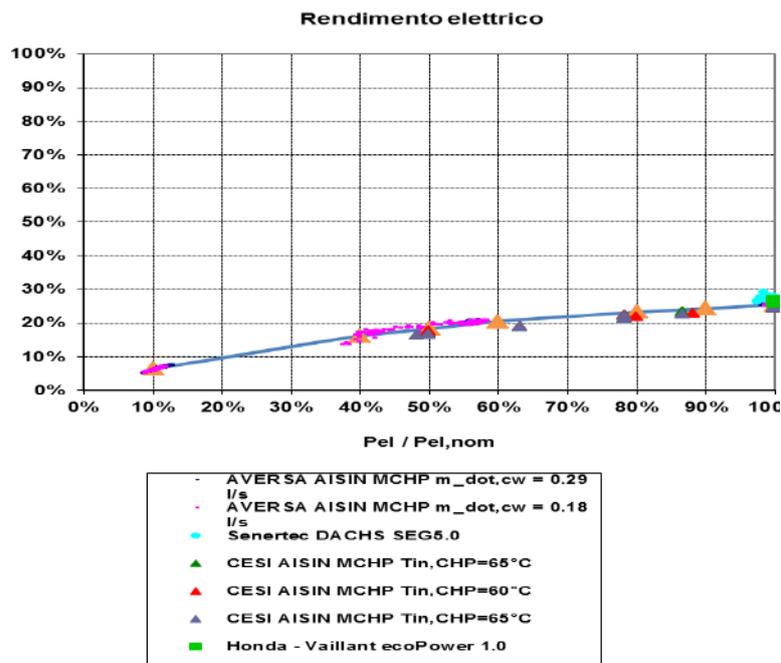
Il settore dei piccolissimi impianti, molto interessante in Europa, non mostra invece in Italia molte prospettive perché la complessità dei processi per formalizzare l'impianto e per accedere alla defiscalizzazione e agli incentivi richiede risorse di livello non congruo per apparati che si vorrebbe diffondere come elettrodomestici familiari. Per una soluzione positiva sarebbe comunque utile una forte iniziativa di semplificazione, oltre al formarsi di un interesse produttivo industriale che possa fare massa critica e superare le barriere esistenti.

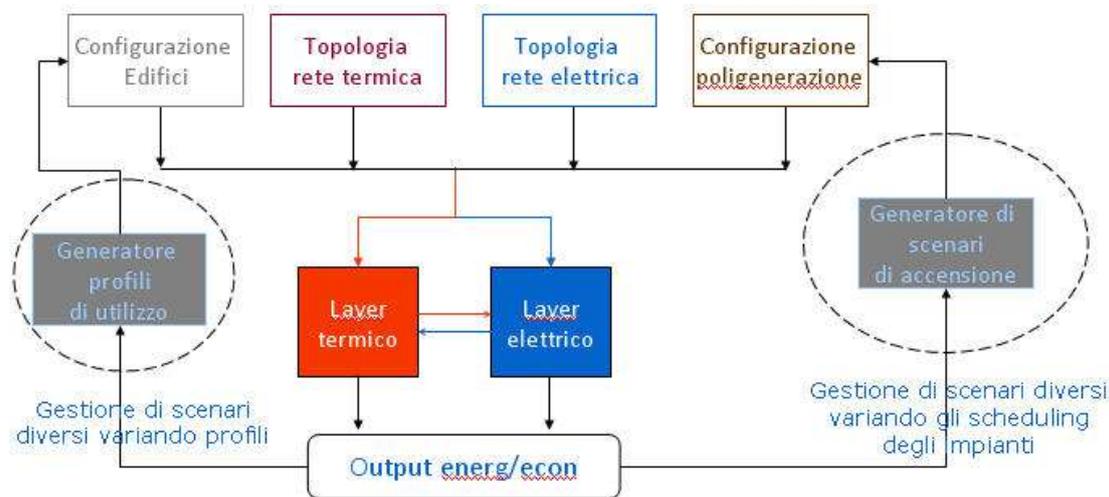
Sempre in tema di micro-cogenerazione è stato svolto un lavoro di modellazione focalizzato sulle unità di potenza elettrica inferiore ai 10

kW. Tale modello è stato ottenuto attraverso l'elaborazione dei principali parametri energetici di sistemi di microgenerazione con motore a combustione interna di piccolissima taglia (1-6 kW elettrici), sia relativamente ad apparecchi installati sul territorio nazionale opportunamente strumentate, sia attraverso le specifiche tecniche fornite dai costruttori. Il modello di unità di microgenerazione così sviluppato è stato adattato per simulare una pompa di calore a gas di piccolissima taglia. Tali studi sono la base fondamentale per avvalorare, o meno, le opportunità che una diffusione capillare di sistemi di micro-poligenerazione può offrire sul territorio nazionale e per valutare quali siano oggi gli ostacoli che tali tecnologie incontrano per potersi affermare come valide e sostenibili alternative ai grandi impianti di generazione termoelettrica.



Immagine promozionale della microcogenerazione in un contesto di micro-rete attiva per applicazioni nel settore civile





Schema funzionale della piattaforma di simulazione delle reti energetiche

Sviluppo di strategie ottimali di gestione delle reti termiche

Sono state studiate le potenzialità di riduzione dei consumi energetici dei sistemi di poligenerazione e delle reti energetiche locali. Si è considerato il mix dei due sottosistemi elettrici e termici, a servizio di un agglomerato urbano, al quale possono essere connessi sistemi di poligenerazione distribuita di piccola taglia, combinando fonti rinnovabili elettriche (FV, piccolo eolico) e termiche (collettori solari) con tecnologie per la cogenerazione diffusa.

Partendo dai risultati ottenuti con lo sviluppo della piattaforma di simulazione ODESSE (descritta nei report delle precedenti annualità) si è implementato un modello capace di riprodurre la richiesta energetica oraria di un sistema multi-edificio connesso, tramite appositi modelli di rete elettrica e termica locale, agli impianti di generazione in assetto generazione distribuita. Il simulatore integra i modelli dei principali componenti che costituiscono una rete energetica locale: rete termica per la fornitura del servizio riscaldamento e ACS (acqua calda sanitaria) a un agglomerato di utenze (scala quartiere), rete elettrica urbana in MT e BT, sistema multi-

edificio in cui l'edificio è in grado di prevenire il carico termico ed elettrico orario.

Al fine di evidenziare la potenzialità della piattaforma software realizzata in termini di pianificazione di sistemi energetici complessi, sono stati simulati diversi scenari che hanno evidenziato il beneficio in termini energetici e ambientali indotto dal passaggio dal sistema autonomo alla rete termica.

Sono stati, inoltre, sviluppati algoritmi per la gestione telematica e remota di dispositivi di poligenerazione per applicazioni distribuite in utenze residenziali e del piccolo terziario (distretto energetico). Tali algoritmi di controllo sono stati valutati in base a parametri:

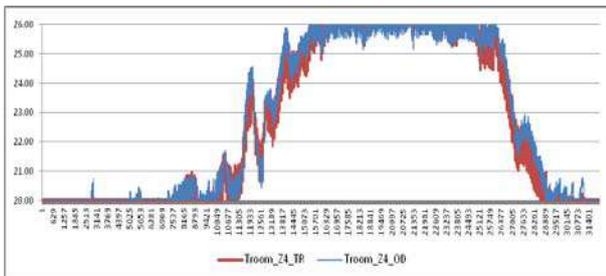
- energetici e di impatto ambientale: di massimizzazione dei risparmi di energia primaria e delle emissioni evitate di anidride carbonica equivalente;
- tecnici: di riduzione dei cicli di ON-OFF del microgeneratore;
- economici: di riduzione dei costi di esercizio (strategie commerciali della ESCo).

Infine, sempre nell'ottica di validare sistemi di poligenerazione in configurazione di micro-grid, è stato implementato un ambiente di gestione e controllo attraverso la definizione di KPI (Key Performance Indicators) e l'analisi

della loro significatività per un caso studio degli impianti presso il CUS di Roma.

Sviluppo di modelli per il contenimento dei consumi energetici nel sistema edificio-impianti connesso ad una rete complessa

Nell'ambito delle attività volte a simulare una rete termica si è reso necessario sviluppare ulteriormente il modello di edificio per tener conto della possibilità (molto frequente nella realtà) di valutare le prestazioni e i consumi energetici di edifici che presentano delle zone in cui i carichi sono notevolmente differenti fra loro o per destinazione d'uso o per orientamento. È stato sviluppato il modello multizona del solo edificio senza impianti ed è stata effettuata una serie di valutazioni comparate con uno software commerciale (Trnsys).



Confronto dell'andamento della temperatura interna di una zona dell'edificio, valutata con Trnsys e la nuova piattaforma

Tenendo conto dell'analisi effettuata e dei risultati ottenuti si può affermare che l'ipotesi di considerare un modello di edificio multizona dove le diverse zone in cui è suddiviso l'edificio non interagiscono termicamente fra di loro può essere ritenuta accettabile in quanto introduce un'approssimazione che rientra nella classe di

errore che in genere commettono i software di simulazione dinamica.

Infine, è stata svolta un'attività concentrata sul tema della climatizzazione dei centri di calcolo; infatti, i costi degli impianti di raffreddamento e del trattamento dell'aria sono una quota importante dei costi di gestione che le imprese operanti nell'ambito delle telecomunicazioni devono sostenere.

In tal senso sono state elaborate le valutazioni tecnico-economiche di alcune tecnologie alternative (*free cooling* integrato nei gruppi frigo e processo di raffreddamento evaporativo indiretto) nel caso di specifici casi studio in zone climatiche diverse.

Comunicazione e diffusione dei risultati

Questa attività si è concretizzata nella produzione di materiale informativo e nella partecipazione ad incontri e seminari tematici organizzati sia da ENEA che da altri soggetti. Nell'ambito della campagna di comunicazione e diffusione della nuova etichetta energetica al grande pubblico, sono state realizzate numerose iniziative, un video dal titolo "Certificazione dei frigoriferi" con attenzione rivolta anche alla necessità di un'azione di *market surveillance* (trasmesso dal programma "Le Iene" nell'aprile 2012 e alla data di pubblicazione di questa brochure disponibile online all'indirizzo <http://www.video.mediaset.it/video/iene/puntata/296987/pelazza-certificazione-dei-frigoriferi.html>) e articoli su riviste specializzate e giornali on-line. Inoltre, su specifica richiesta delle Associazioni di categoria, l'ENEA ha partecipato ad incontri informativi per la discussione sia delle proposte di misure di etichettatura ed ecodesign per i diversi prodotti che dei contenuti delle misure approvate e delle loro ricadute a livello nazionale.

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

Progetto 3.1: Strumenti e tecnologie per l'efficienza energetica nel settore dei servizi

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

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile

Scenario di riferimento

L'evoluzione dei consumi energetici degli edifici italiani mostra un evidente aumento dei consumi elettrici, prevalentemente imputabile alla maggior richiesta di condizionamento estivo. Le recenti normative europee sull'efficienza energetica degli edifici, in particolare le direttive 2002/91/CE, 32/2006/CE, 31/2010/CE e i Dlgs di recepimento 192/05 e s.m.i., 115/08 e 28/11, richiedono, per la loro attuazione, un'approfondita analisi del sistema edificio-impianto. Diventa pertanto necessario disporre di dati e informazioni per indirizzare la governance verso scelte mirate al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei consumi e delle emissioni di gas climalteranti. La recente pubblicazione delle normative UNI TS 11300, parte 1, 2, 3 e 4, offre ai progettisti italiani un quadro normativo certo per quanto riguarda la determinazione dei fabbisogni energetici invernali e estivi; permangono ancora difficoltà nello stabilire regole adeguate per una norma atta alla certificazione e alla limitazione dei consumi energetici estivi. Oltre alla difficoltà di determinare benchmark accettabili per le diverse categorie di edifici, mancano la definizione di zone climatiche nel territorio nazionale in analogia a quanto in essere per la climatizzazione invernale e un decreto nazionale che disciplini la materia.



Infine è ancora poco conosciuta la situazione dei consumi energetici per l'illuminazione, in particolare nel settore terziario, e poiché l'impiego di sistemi di illuminazione artificiale poco efficienti ha un considerevole impatto sui consumi energetici e influenza quelli per il condizionamento estivo, è necessario sviluppare strumenti tecnici e progettuali che consentano un più largo uso di sistemi di illuminazione naturale e artificiale ad alta efficienza.

Obiettivi

L'obiettivo principale di questo tema di ricerca è quello di colmare alcune delle lacune suddette, al fine di supportare il legislatore, sia nazionale sia regionale, nell'emanare gli opportuni disposti di legge e norme che consentano un pieno recepimento delle direttive europee, in tema di efficienza energetica degli edifici, e fornire, ai professionisti e tecnici del settore, adeguati metodi, strumenti e parametri prestazionali, in particolare per la climatizzazione estiva, per ottenere i risultati di efficienza che si vogliono raggiungere.

Gli obiettivi specifici sono:

Aggiornamento dell'Archivio dei Dati Climatici

Lo studio è volto a colmare alcune delle lacune esistenti nella normativa tecnica e nei documenti tecnici pre-normativi, con la costruzione dell'anno tipo e l'aggiornamento della norma UNI 10349. L'elaborazione degli anni tipo climatici, per tutte le Province del territorio nazionale, permette di fornire una base armonizzata di dati climatici, ottenuta per tutte le località con medesima procedura (norma UNI EN ISO 15927-4). Tra le attività rientra anche l'applicazione del modello matematico dell'Indice di Severità Climatica (ICS) per la classificazione del territorio nazionale per il periodo estivo e l'attribuzione dell'ICS ai singoli Comuni.

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

Le attività sono state volte a continuare l'indagine statistica per la definizione di indici e livelli di consumo di edifici del residenziale per diversi servizi energetici quali: riscaldamento, raffrescamento, consumi elettrici, a integrazione di quanto prodotto nelle precedenti annualità in cui si sono definite le destinazioni d'uso di scuole, alberghi, uffici, grandi magazzini ed edifici residenziali. L'obiettivo è quello di ampliare il quadro di riferimento e disporre di dati necessari per intraprendere successivi raffinamenti. Attraverso studi mirati all'ottimizzazione del sistema edificio-impianto, ci si è posti anche l'obiettivo di fornire al legislatore elementi di valutazione oggettivi in sede di redazione delle norme che implementino le direttive europee, in tema di usi finali dell'energia (quale la 31/2010/CE) e indirizzino le scelte programmatiche e strategiche per il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico e riduzione delle emissioni dei gas serra.

Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile

La ricerca è focalizzata sulla valutazione dei consumi energetici, elettrici e termici, di un grande centro polifunzionale. Sono stati analizzati gli impianti e le destinazioni d'uso dei singoli complessi in cui è articolato il centro, e definiti i profili di utenza in modo da poter individuare soluzioni per il miglioramento dell'efficienza energetica.

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

Lo scopo è proseguire l'attività sperimentale e di calcolo atta a caratterizzare i materiali semitrasparenti di facciata, per una accurata valutazione delle prestazioni energetiche e illuminotecniche degli edifici includendo anche i componenti opachi, in particolare attraverso la valutazione dei benefici energetici e ambientali derivanti dall'utilizzo di rivestimenti a elevata riflessione solare.

Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali

L'obiettivo è consentire una partecipazione coordinata e razionalizzata ai gruppi di lavoro (Implementing Agreements) della IEA (Agenzia Internazionale dell'Energia) impegnati sui temi della Efficienza Energetica negli edifici (ECBCS, Energy Conservation in Buildings and Community Systems), delle applicazioni del Solare per il Riscaldamento e Raffrescamento degli edifici (SHC, Solar Heating and Cooling).

Risultati

Acquisizione ed elaborazione dei dati climatici per le Province italiane e aggiornamento della UNI 10349

L'attività ha raggiunto l'obiettivo della creazione dell'anno tipo per le Province italiane e l'aggiornamento dei dati climatici della UNI 10349. La metodologia sviluppata è stata applicata ai dati climatici aggiornati delle Regioni del centro e del nord.

Nonostante la metodologia di calcolo sia stata la medesima, la qualità del prodotto finale dipende dalla quantità di dati orari grezzi disponibili per la costruzione degli anni tipo, come pure dalla qualità del dato fornito e dal numero di record orari validi, differenti da Provincia a Provincia.

Altro prodotto di quest'attività è l'applicazione del metodo di calcolo dell'Indice di Severità Climatica. Sono stati sviluppati, sulla base dell'algoritmo definito nei precedenti studi, gli indici di severità climatica per i Comuni italiani prendendo a riferimento i dati climatici contenuti nella norma UNI 10349.

Questa attività ha consentito la definizione delle zone climatiche e, in analogia a quanto fatto per il periodo invernale, la zonizzazione del territorio nazionale per il periodo estivo.

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

L'attività ha raggiunto l'obiettivo di definire gli indici e livelli di consumo di edifici del residenziale per diversi servizi energetici quali: riscaldamento, raffrescamento, consumi elettrici. Questa attività si inserisce in quelle sviluppate nelle precedenti annualità in cui sono state definite le destinazioni d'uso scuole, alberghi, uffici, grandi magazzini. Lo studio ha

consentito di ampliare il quadro di riferimento e di disporre di dati necessari per la redazione del prossimo PAEE.

È stata definita e sviluppata una metodologia per l'audit energetico degli edifici del civile ed è stato sviluppato un software applicativo semplificato per le audit energetiche degli edifici esistenti.

In vista del prossimo recepimento della 31/2010/CE sono state sviluppate attività di ricerca mirate alla definizione di criteri per una metodologia di valutazione dell'efficienza energetica degli edifici e per la definizione di criteri e standard per il Nearly Zero Energy Building

I prodotti dell'attività sono stati: un inquadramento sulla situazione legislativa, in tema di efficienza energetica, a livello europeo e nazionale; la definizione di indici e livelli di consumo (benchmark) attuali, e la caratterizzazione del parco edilizio distinti per:

- diversi servizi energetici
- le varie tipologie edilizie
- le diverse condizioni climatiche,
- le caratterizzazioni tipologiche e impiantistiche del sistema edificio-impianto.

È stata inoltre condotta un'indagine sul settore del civile al fine di caratterizzare sia le tipologie edilizie più comuni che i principali profili di consumo. Sono stati prodotti i seguenti rapporti tecnici basati sul confronto fra le metodologie di calcolo: "Analisi e valutazioni energetico-ambientali di un edificio-tipo riqualificato secondo il target NZEB", Politecnico di Milano; "Sviluppo di un Software applicativo per l'audit energetico negli edifici a uso residenziale e terziario", Università di Pisa Dip. DESE; "Definizione degli indici di consumo energetici, elettrici e termici, e indicazioni di soluzioni tecnologiche da adottare per ridurre i consumi energetici per grandi complessi sportivi", Università La Sapienza Dip. DIAEE; "Procedura di esposizione in esterno, caratterizzazione del comportamento radiativo nel tempo di materiali per l'involucro edilizio", Politecnico di Milano BEST; "Potenzialità e limiti applicativi dei modelli statistici e predittivi inversi per lo studio dei usi energetici totali negli edifici", Politecnico di Torino Dip. Energia; "Design di edifici a energia netta zero alla luce della direttiva europea 2010/31/CE (EPBD RECAST) sulla prestazione energetica nell'edilizia", Università di Palermo Dip. Energia.

Sviluppo e sperimentazione di tecnologie e sistemi integrati intelligenti, per il controllo e la gestione dell'energia negli edifici del settore civile

È stata svolta un'analisi sull'impianto sportivo polifunzionale "Giulio Onesti" di cui sono stati presi in esame e analizzati i consumi energetici, elettrici e termici, delle singole zone di cui è composto il centro che è stato suddiviso per zone omogenee di destinazione d'uso e servizi.

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

Le attività di ricerca si sono focalizzate sulla valutazione delle tecniche di mitigazione delle temperature a scala urbana e l'impatto sulle prestazioni dell'ambiente costruito. Particolare attenzione è stata posta ai fenomeni di invecchiamento dei materiali a elevata riflessione solare e alla riduzione delle prestazioni in opera, rispetto agli standard previsti.

Sono state implementate metodologie atte a valutare l'intensità dell'isola di calore urbana, l'impatto energetico a larga scala, nonché tecniche di previsione del fenomeno, anche al fine di minimizzare i rischi per l'approvvigionamento energetico. Sono state approfondite, in particolare, due tematiche:

1. la determinazione delle potenzialità di materiali riflettenti
2. l'analisi e lo sviluppo di metodologie di predizione del decadimento delle proprietà radiative dei materiali da costruzione per effetto dello sporco e dell'invecchiamento una volta in opera.

È stata condotta un'analisi della letteratura scientifica che ha messo in evidenza come lo sporco di coperture aventi alta riflettanza possa comportare una sensibile riduzione del risparmio conseguito con l'utilizzo di *cool materials* (per gli anni successivi al primo anno di installazione si è osservata una riduzione addirittura del 20%). Anche se esistono efficaci tecniche per ripristinare la riflettanza iniziale, interventi di pulizia della copertura non sono economicamente sostenibili al solo fine del risparmio energetico. Si è visto che la causa principale del decremento di riflettanza di *cool materials* sono i depositi carboniosi dovuti a prodotti della combustione presenti nel particolato atmosferico.

Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali

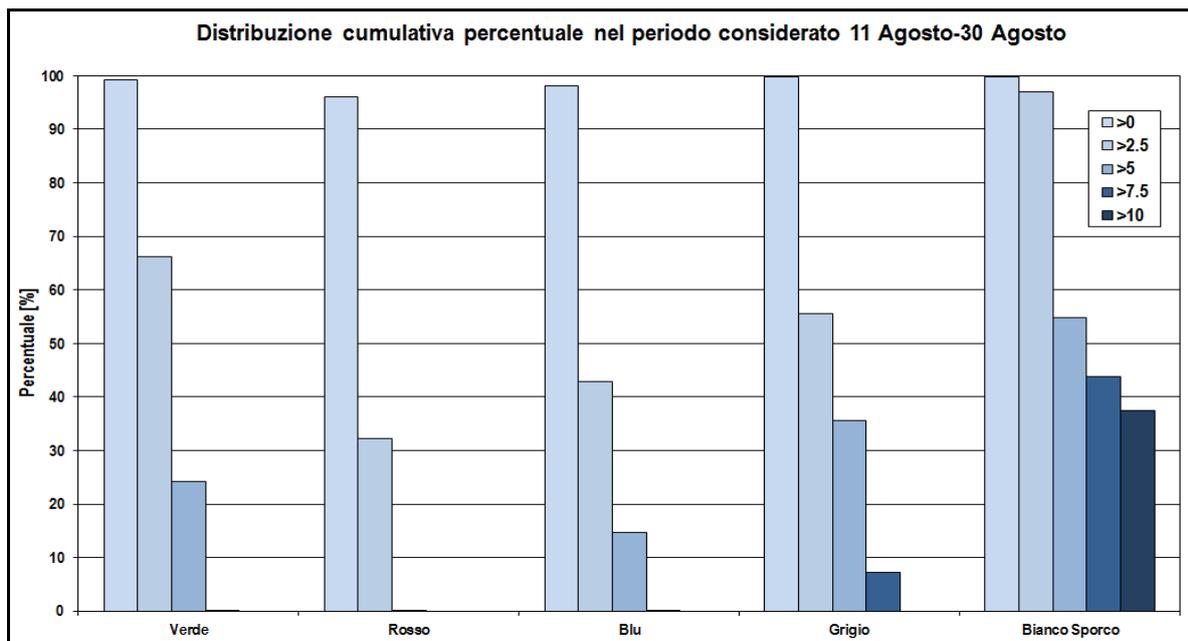
Le attività svolte nell'ambito dei gruppi di lavoro IEA permettono la realizzazione di studi mirati ai temi afferenti ai singoli Implementing Agreements dell'Energy Conservation in Building and Community Systems Programme. Nel dettaglio, i temi affrontati dai gruppi di lavoro italiani sono stati:

- Annex 46 "Energy Efficient Retrofit Measures for Government Buildings (EnERGo)" (Politecnico di Milano Dipartimento BEST)
- Annex 56 "Cost Effective Energy and GHG Optimization In Building Renovation" (Politecnico di Torino Dipartimento Energia)
- Annex 53 "Heat pumping and reversible air conditioning": (Politecnico di Torino Dipartimento Energia)
- Annex 52 dell'Implementing Agreement "Energy Conservation in Building Communities Systems" e il Task 40

dell'Implementing Agreement "Solar Heating and Cooling" (Università di Palermo Dipartimento DREAM).

- Annex 59 High Temperature Cooling & Low temperature heating in Buildings (Politecnico di Torino Dipartimento Energia)
- Annex 49 "Low exergy systems for high-performance built environments": (Politecnico di Milano Dipartimento BEST)
- Photovoltaic Power Systems Programme:
- "National Survey Report on PV Power Application in Italy" - IEA - PVPS (ENEA)
- "Trends in Photovoltaic Applications". - IEA - PVPS (ENEA)

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



Distribuzione cumulativa percentuale nel periodo 11-30 agosto delle differenze di temperatura tra asfalto convenzionale e "cool"

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

Progetto 3.3: Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile

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

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva

Scenario di riferimento

Negli ultimi anni diverse attività di ricerca e sviluppo tecnologico hanno avuto come oggetto processi innovativi per il condizionamento degli edifici basati su tecnologie che utilizzano l'energia solare per la produzione di acqua refrigerata (*solar cooling*). Le tecnologie di *solar heating and cooling* rappresentano soluzioni molto interessanti per il contenimento della spesa energetica da fonti fossili nei settori civile (climatizzazione degli ambienti) e industriale (produzione di calore di processo a media temperatura).

Considerato che nel settore residenziale le tecnologie di *solar heating and cooling* abbinate anche a interventi di retrofit energetico sugli edifici hanno già evidenziato la loro validità dal punto di vista energetico-ambientale, risulta importante sperimentare nuovi sistemi di regolazione in grado di massimizzare la frazione di energia gratuita fornita dal sole al fine di ridurre in maniera importante i tempi di ritorno dell'investimento. Oggi anche la pompa di calore è divenuta una tecnologia matura e più efficiente consentendo un abbattimento dei costi di esercizio anche del 50% rispetto a impianti tradizionali.

Obiettivi

Il progetto ha lo scopo di definire e sviluppare un sistema integrato robusto, competitivo e di riferimento per il "sistema Italia", in grado di assolvere l'intero compito della climatizzazione, sia estiva che invernale.

Per il raggiungimento di tali obiettivi, si è proceduto nello sviluppo di:

- componenti innovativi in grado di fornire adeguate prestazioni a costi competitivi;
- tecnologie di climatizzazione che consentano la selezione della migliore soluzione tecnico-economica in relazione alle diverse condizioni climatiche presenti nel territorio nazionale.

Risultati

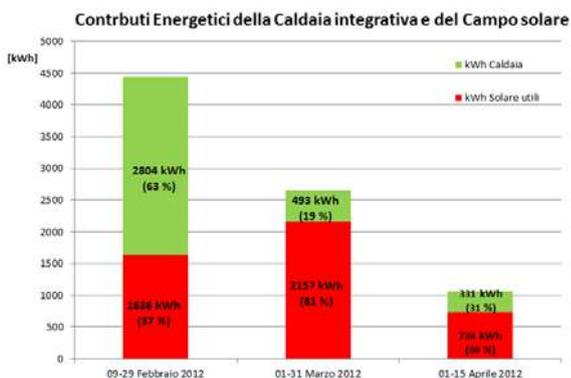
Messa in funzione, analisi sperimentale e caratterizzazione dell'innovativo impianto di solar heating and cooling realizzato a servizio di un edificio

L'impianto di *solar heating and cooling* è stato realizzato allo scopo di riscaldare durante il periodo invernale e di climatizzare durante il periodo estivo l'Edificio F92 del Centro Ricerche ENEA della Casaccia. L'edificio (circa 230 m²) si sviluppa su tre livelli, ciascuno dotato di gestione autonoma del sistema di climatizzazione. L'impianto ha sempre permesso durante il periodo di monitoraggio il mantenimento delle condizioni di comfort termoigrometrico all'interno degli ambienti dell'edificio, grazie alla logica di regolazione gestita da un avanzato sistema BMS (Building Management System).



Campo solare impianto "solar cooling" F92 (Centro Ricerche ENEA Casaccia)

È stato riscontrato un consistente risparmio dei consumi di energia primaria di natura fossile grazie allo sfruttamento della radiazione solare: la frazione solare invernale è stata pari al 56% dei consumi per il riscaldamento degli ambienti mentre quella estiva ha raggiunto il 66% dell'energia termica richiesta dal gruppo frigo ad assorbimento per la produzione di acqua refrigerata.

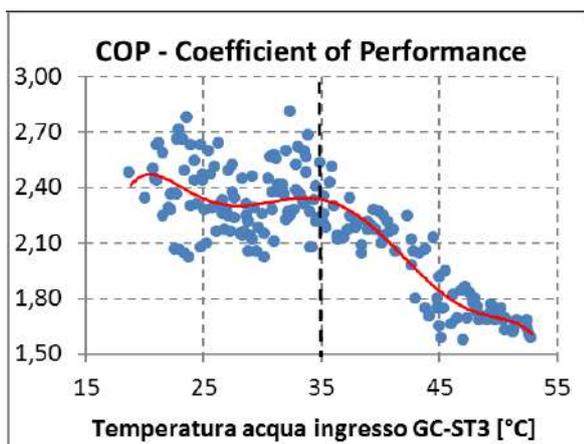


Contributi energetici della caldaia integrativa e del campo solare al fabbisogno energetico dell'edificio nel periodo invernale di monitoraggio

Messa in funzione, analisi sperimentale e caratterizzazione della pompa di calore acqua-acqua a CO₂

La pompa di calore utilizza come fluido refrigerante la CO₂ (R744), è del tipo acqua-acqua polivalente e produce contemporaneamente acqua calda e acqua refrigerata (Pt = 30 kW, Pf = 27 kW) per alimentare un impianto ad aria primaria e fan coil installato a servizio di un edificio altamente strumentato presente all'interno del C.R. ENEA di Casaccia.

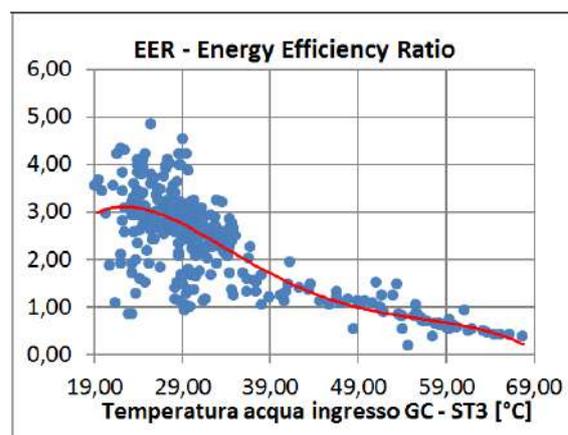
L'analisi congiunta dei dati invernali ed estivi ha permesso di individuare nella temperatura dell'acqua in ingresso alla macchina lato Gas Cooler (ST3) il parametro che condiziona globalmente il funzionamento della macchina. La pompa di calore è dotata di un circuito principale e di un circuito secondario che si attiva per minimizzare la diminuzione del COP quando ST3 è maggiore di 35 °C.



Andamento del COP in funzione della temperatura dell'acqua in ingresso al GC (Funzionamento invernale)

La macchina raggiunge il COP invernale massimo di 2,80 per ST3 pari a 32,5 °C. La sperimentazione nel periodo invernale evidenzia l'importanza della scelta dei terminali d'impianto da abbinare alla macchina: essi devono essere in grado di assicurare una bassa temperatura di ritorno dall'impianto in modo da massimizzare il COP della macchina.

L'EER presenta un valore massimo di 4,81 per ST3 prossima a 25,7 °C.



Andamento dell'EER in funzione della temperatura dell'acqua in ingresso al GC (Funzionamento Estivo)

Progettazione costruttiva di un prototipo di pompa di calore a CO₂ (R744) invertibile del tipo aria-aria e realizzazione della facility di prova

La climatizzazione di grandi locali commerciali e grossi edifici del terziario può essere realizzata con sistemi roof-top installati sulla copertura dell'edificio e collegati alla rete di distribuzione dell'aria condizionata, prevedendo solo l'allaccio alla rete di distribuzione dell'energia elettrica. Oltre alla progettazione del roof top a R744 (Pt = 36 kW, Pf = 38 kW), è stata progettata anche la facility di prova che consentirà di valutare le performance prestazionali della macchina. L'impianto realizzato avrà il compito di garantire la climatizzazione sia estiva che invernale all'Edificio F76 (circa 215 m²) avente destinazione d'uso "uffici" (C. R. Casaccia).

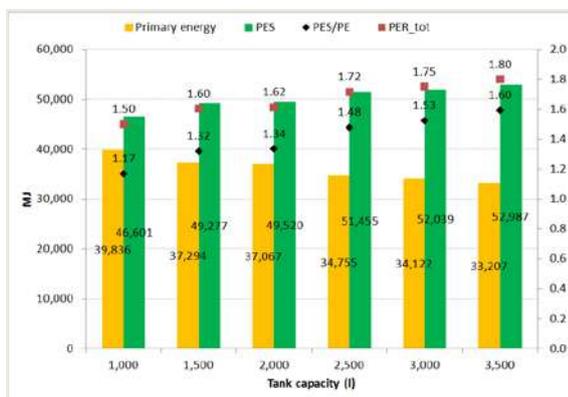
Il funzionamento del roof top sarà costantemente monitorato da un sistema BMS al fine di valutarne COP ed EER.

Al sistema BMS è affidata la gestione delle corrette condizioni termoigrometriche nei vari ambienti variando la portata e la temperatura d'immissione dell'aria nei vari locali. L'analisi sperimentale sul funzionamento invernale del

roof top si pone anche l'obiettivo di individuare la circuitazione frigorifera che, in funzione delle condizioni di temperatura e umidità esterna, riduce al minimo la durata e la frequenza della procedura di sbrinamento della batteria esterna. Le elevate temperature raggiungibili con la CO₂ eviteranno il ricorso a batterie integrative ad acqua alimentate da caldaie a gas, necessarie a garantire il riscaldamento degli ambienti quando i roof top di tipo tradizionale effettuano continui cicli di sbrinamento.

Progettazione di un serbatoio di accumulo a cambiamento di fase

Sono stati effettuati progettazione costruttiva e dimensionamento di un serbatoio di accumulo a cambiamento di fase (PCM, *Phase Change Material*) da inserire nell'impianto di *solar heating and cooling* realizzato a servizio dell'Edificio F92 (C.R. ENEA Casaccia). L'impianto è dotato sia di un accumulo caldo che di un accumulo freddo della capacità di 1500 e 1000 litri rispettivamente, è stato quindi necessario valutare l'eventuale sostituzione di entrambi gli accumuli con uno di tipo PCM. Il comportamento dell'impianto è stato simulato in ambiente TRNSYS al variare della capacità dei due accumuli.



Simulazioni invernali: consumo totale di energia primaria (PE), risparmio di energia primaria (PES), rapporto tra le due grandezze (PES/PE) e rapporto di energia primaria totale (PER_tot)

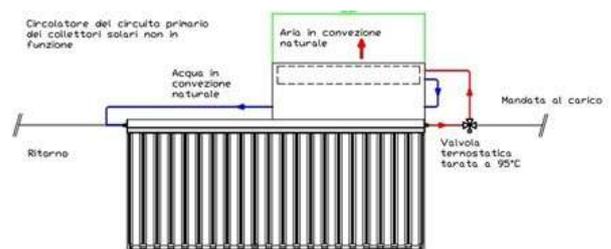
La soluzione energeticamente più conveniente risulta quella relativa a un accumulo solare di 3500 litri e un accumulo freddo di 1000 litri. La capacità di accumulo di energia termica con un serbatoio di 3500 l è di circa 73 MJ (ipotizzando un ΔT tra acqua in ingresso e in uscita pari a 5 °C). Una volta individuata la capacità ottimale

si è passati alla valutazione del materiale PCM, scegliendo dei sali idrati che presentano la possibilità di incapsulamento in pratici tubi.

Studio e progettazione di un sistema di smaltimento statico del calore

Il sistema d'emergenza di dissipazione del calore prodotto in eccesso da impianti solari termici è generalmente costituito da un dry-cooler alimentato elettricamente. L'attività di ricerca ha consentito la progettazione costruttiva e il dimensionamento di un sistema passivo di smaltimento del calore, funzionante anche in caso di assenza di energia elettrica.

Il dimensionamento dell'intero sistema di dissipazione, in particolare il dimensionamento della superficie di scambio della batteria alettata e l'ottimizzazione del passo, dell'altezza delle alette e del posizionamento rispetto al collettore solare, è stato sviluppato attraverso delle simulazioni in ambiente TRNSYS.



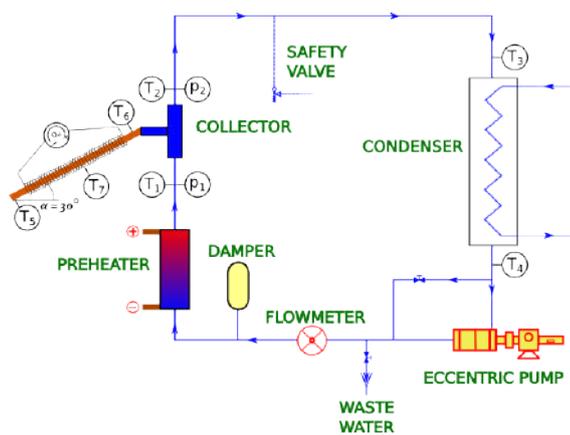
Schema di montaggio del dissipatore passivo

Analisi sperimentale collettori solari termici a heat-pipe

Sono state eseguite prove sperimentali sull'impianto TOSCA (Thermalfluid-dynamics Of Solar Cooling Apparatus) al fine di valutare l'influenza sul funzionamento dell'heat-pipe di tre parametri operativi: inclinazione dell'heat-pipe rispetto l'orizzontale, grado di vuoto e temperatura fluido lato secondario.

Per quanto riguarda l'inclinazione, il massimo rendimento si ha per un'inclinazione di 30° e per un riempimento dell'8,6%: bisognerà comunque tenere conto della radiazione solare disponibile.

Si è inoltre verificato che all'aumento della temperatura nel circuito secondario corrisponde una diminuzione del calore trasferito da parte dell'heat-pipe: aumentando la temperatura operativa si ha infatti un incremento delle dispersioni verso l'esterno.



Impianto T.O.S.C.A.

Realizzazione di un prototipo di macchina frigorifera caldo/freddo dedicata al settore alimentare

Sono stati studiati il dimensionamento e la realizzazione di un prototipo di macchina a CO₂ acqua-acqua a inversione di ciclo istantaneo per la messa a punto di un processo termico completo (caldo-freddo) sui prodotti alimentari. L'impianto sperimentale Pa.CO₂ è stato realizzato "accoppiando" tra di loro una pompa di calore a CO₂ per la produzione di acqua calda sanitaria e un pastorizzatore di tipo commerciale. Dal confronto con il processo di riscaldamento realizzato elettricamente dalle macchine in commercio, la pompa di calore ha evidenziato consumi elettrici sempre considerevolmente minori, specie in seguito alle modifiche introdotte da ENEA sulla regolazione elettronica della macchina.

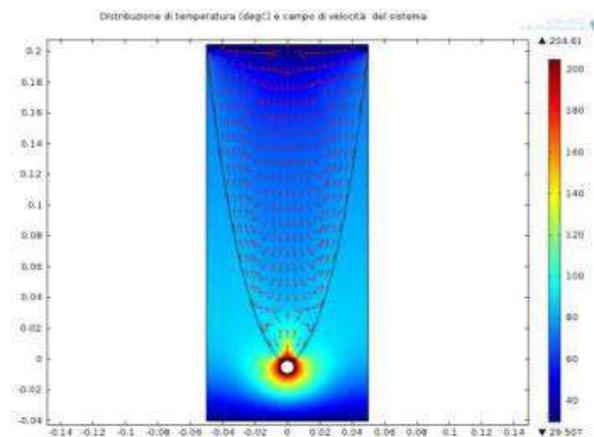
Realizzazione di un impianto di solar cooling a servizio di una serra per culture intensive

L'attività è stata incentrata sullo sviluppo di una facility per la caratterizzazione di sistemi solar cooling integrati in una serra sperimentale a contenimento, utilizzata per le attività di ricerca su piante transgeniche. Tale

sistema è stato realizzato con un gruppo frigo ad assorbimento installato a servizio della "Serra Transgenica" (S=210 m² circa e h=4.5 m) presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia. La serra è suddivisa in otto moduli indipendenti ciascuno dotato di impianti automatizzati in modo da realizzare differenti microclimi e gradi di illuminazione all'interno di ciascun modulo.

Sviluppo di componenti solari a concentrazione per applicazioni di climatizzazione

Le attività hanno riguardato la modellazione ottica e termo-fluidodinamica di un collettore solare a concentrazione basato su un sistema ottico del tipo CPC (Compound Parabolic Collectors) e lo sviluppo di un prototipo di concentratore solare che utilizza materiali e tecniche costruttive di tipo innovativo.



Risultati delle analisi termo-fluidodinamiche effettuate sul modello di concentratore considerato

La documentazione delle attività di ricerca è disponibile e liberamente scaricabile anche sul sito <http://climatizzazioneconfontirinnovabili.enea.it/>

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

Progetto 3.4: Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva

Referente: Andrea Calabrese, andrea.calabrese@enea.it

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

Scenario di riferimento

Il settore dei trasporti assorbe una quota parte notevole dei consumi finali di energia che si assesta al 31% dell'energia primaria. Nel 2009, la domanda finale d'energia nel settore dei trasporti è stata di 42,5 Mtep, di questi, circa i 2/3 sono dovuti al trasporto passeggeri, la restante parte al trasporto merci, e sono entrambi dominati dalla modalità stradale (l'89% del trasporto passeggeri e il 93% di quello merci). La Direttiva 32/2006/CE sull'efficienza energetica negli usi finali richiede l'adozione di un obiettivo nazionale indicativo di risparmio energetico al 2016 pari al 9% del consumo di riferimento all'entrata in vigore della stessa.

Qualsiasi sia il tipo di propulsione e il tipo di vettore per il trasporto, l'incremento di efficienza nello sfruttamento dell'energia primaria, sintetizzato spesso con l'acronimo anglosassone WTW (Well To Whell) ovvero efficienza dal pozzo alla ruota, passa dal miglioramento del rendimento di conversione, ottenibile anche attraverso un maggiore impiego di veicoli elettrici, e dall'alleggerimento dei vettori per il trasporto. Considerando che il minor impatto ambientale della trazione elettrica rispetto a quella termica, in termini di CO₂/kWh alla ruota, favorisce l'estensione dell'elettrificazione dei trasporti, acquistano rilevanza in questo settore i risparmi in termini di energia elettrica e di costi di investimento e gestione.

Nel campo dell'elettrificazione del trasporto uno dei problemi è la scarsa disponibilità commerciale di batterie Li-Io modulari standard. Infatti, pur in presenza di molti produttori di celle, pochi sono i produttori di moduli e sistemi. I grandi gruppi automobilistici sono in grado di superare tali difficoltà stipulando accordi specifici ma ciò non può essere fatto dalle PMI. La disponibilità di

elementi modulari consentirebbe ai vari operatori di soddisfare le esigenze applicative a prezzi più contenuti.

I sistemi di accumulo basati sui supercondensatori trovano sempre più applicazione nel settore energetico (eolico) ma soffrono la concorrenza delle batterie nel settore dei trasporti, pur essendo i due sistemi complementari.

Lo sviluppo dei sistemi di ricarica rapida è indispensabile per garantire la diffusione delle micro vetture, nuovo segmento "sub A" e quadricicli, che porterà a ridurre in modo considerevole la taglia delle batterie per l'uso urbano dell'auto, abbattendone i costi.

La riduzione del peso è il metodo più diretto per ridurre il consumo di carburante e le emissioni dei mezzi di trasporto. Si stima che una riduzione del 10% di peso porti a una riduzione di carburante di circa il 7% e questo comporta che per ogni kg di peso risparmiato si riduca di circa 20 kg l'emissione annua di CO₂.

L'alleggerimento del veicolo può essere perseguito tramite l'uso di nuovi materiali (polimerici e metallici cellulari) e con lo sviluppo di nuovi processi tecnologici di produzione e assemblaggio.

Riguardo i materiali polimerici, in Europa e negli Stati Uniti, due sono le aree di principale interesse: la sostituzione delle matrici termoindurenti con quelle termoplastiche e l'utilizzo di resine e fibre da fonti naturali.

Nel campo dei materiali metallici cellulari l'attività in Europa e nel mondo sulle schiume metalliche è volta da un lato allo sviluppo di tecnologie che consentano una riduzione dei costi delle schiume di alluminio e al miglioramento dell'omogeneità dei prodotti, dall'altro a innovazioni quali lo sviluppo di procedimenti per la produzione di schiume di acciaio per usi strutturali e l'ibridizzazione con materiali polimerici per componenti economici a elevato assorbimento di energia. Molto

interessanti sono le nuove applicazioni, oltre che nel settore della produzione di componenti per automobili di alta fascia, anche nel settore ferroviario (ITINO Bombardier).

Obiettivi

Il progetto mira a sviluppare nuove tecnologie e componenti per perseguire il risparmio energetico nel settore dei trasporti e l'estensione della elettrificazione dei trasporti su gomma e a sviluppare materiali, componenti e tecnologie per la riduzione del peso dei vettori per il trasporto.

Il progetto è suddiviso sostanzialmente in tre linee di ricerca: la prima è dedicata allo sviluppo di componenti a maggiore efficienza energetica per il veicolo elettrico; la seconda ai nuovi materiali e tecnologie per l'alleggerimento dei veicoli e la terza all'analisi del Life Cycle Assessment energetico ambientale e del Risk Assessment dei sistemi di accumulo.

Risultati

Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (Battery Management System)

A valle di studi svolti in collaborazione con l'Università di Pisa, che avevano identificato il litio-ferro-fosfato come la tipologia di chimica più adatta per realizzare con batterie al litio l'alternativa alle batterie al piombo per avviamento e trazione di veicoli elettrici off-road, sono state eseguite prove su campioni di dette batterie, ne è stato studiato il comportamento termico e progettato il sistema di raffreddamento ad aria e il sistema elettronico di controllo (Battery Management System BMS).



Moduli Li-Io 12V/100-60-30 Ah

Come risultato finale sono stati realizzati, completi di sistema di raffreddamento individuale e BMS con bilanciamento attivo delle batterie (cioè idealmente senza dissipazione energetica):

- due moduli di avviamento: da 30Ah e 60Ah;
- tre moduli di trazione: da 30Ah, 60Ah, e 100Ah, rispettivamente piccola, media e grande taglia;
- un dimostratore consistente in un sistema batterie 48V – 100Ah (per un piccolo mezzo da giardinaggio) costituito da 4 moduli da 100 Ah.



Sistema dimostratore 48V – 100Ah

Studio di sistemi avanzati di accumulo quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie+supercondensatori)

L'attività, sviluppata negli anni precedenti in collaborazione con l'Università di Padova, è stata completata con "prove vita" di confronto tra due pacchi batterie piombo-acido, uno impiegato da solo, l'altro "assistito" da supercondensatori. Il pacco "non assistito" subisce un progressivo degrado delle prestazioni, l'altro, dopo una perdita iniziale minima, conserva inalterate le sue prestazioni "in potenza". L'incremento di durata della batteria (circa 3 volte) più che compensa il costo di supercondensatori e elettronica.

Tecnologia e applicazioni della ricarica rapida al trasporto pubblico locale

La ricarica rapida è il modo più efficiente per ridurre pesi, ingombri e costi del pacco batteria, contribuendo inoltre ad avvicinare le modalità d'uso del veicolo elettrico a quelle del veicolo tradizionale. Una soluzione molto interessante è utilizzare in modalità "reverse" l'elettronica di potenza del motore di trazione, intervenendo solo sul software di controllo.

L'alternativa "caricabatteria a terra" consente l'impiego di un accumulo stazionario, possibile elemento in comune tra due reti, quella della mobilità e quella dell'energia. Lo studio ha dimostrato come entrambe le soluzioni rendano possibile una sostanziale riduzione dei costi, con minor costo di investimento nel caso del caricabatteria a bordo, maggiore flessibilità d'esercizio e migliore adattabilità al parco veicoli attuale del sistema "tutto a terra".

Life-Cycle Assessment energetico ambientale

Sono stati condotti studi sia sulle batterie a litio che sui materiali strutturali Aluminium Foam Sandwich (AFS). Per quanto riguarda le batterie, è la fase di produzione ad avere il maggiore impatto. Riguardo l'Ecodesign del case e del BMS dei moduli da 30, 60 e 90 Ah, ipotizzando l'uso di differenti materiali per il case dei moduli (acciaio, alluminio e polipropilene) gli studi hanno mostrato che il polipropilene offre la soluzione a minor impatto, segue l'acciaio; l'impatto è maggiore in generale per le taglie inferiori. Uno studio analogo è stato effettuato sui materiali leggeri strutturali prendendo come caso di studio la produzione di un elemento di AFS. È stato verificato come sia l'alluminio delle pelli e delle polveri ad aver e il maggiore impatto ambientale in particolare se si considera l'impiego di alluminio primario. L'impiego di alluminio riciclato permette di ridurre notevolmente gli impatti senza riduzioni di caratteristiche rilevanti.

Upscaling dei processi di produzione: schiume di alluminio, estrusi rinforzati e pannelli sandwich con core in schiuma di alluminio

In collaborazione con l'Università Tor Vergata si è proceduto alla qualificazione chimico fisica dei prodotti commerciali, allo sviluppo di procedure di fabbricazione di nuove miscele con adeguati sistemi di predizione delle caratteristiche (reti neurali e Design of Experiment) e alla progettazione di un laboratorio per l'upscaling del processo di produzione di precursori e componenti in schiuma metallica di alluminio. È stata allestita una pressa di compattazione ed estrusione di polveri di alluminio fino a 100 cm³ ed è stato sviluppato un forno di schiumatura che permette di manipolare, con cicli automatici, campioni con volume fino a 2500 cm³.

L'obiettivo finale è dimostrare la fattibilità industriale del processo per la realizzazione di estrusi di alluminio rinforzati.



Laboratorio compattazione precursori e schiumatura di componenti in schiuma metallica (cilindro di alluminio rinforzato con schiuma eutettica di alluminio)

Fabbricazione, progettazione e simulazione di componenti per l'alleggerimento strutturale di vettori per trasporto

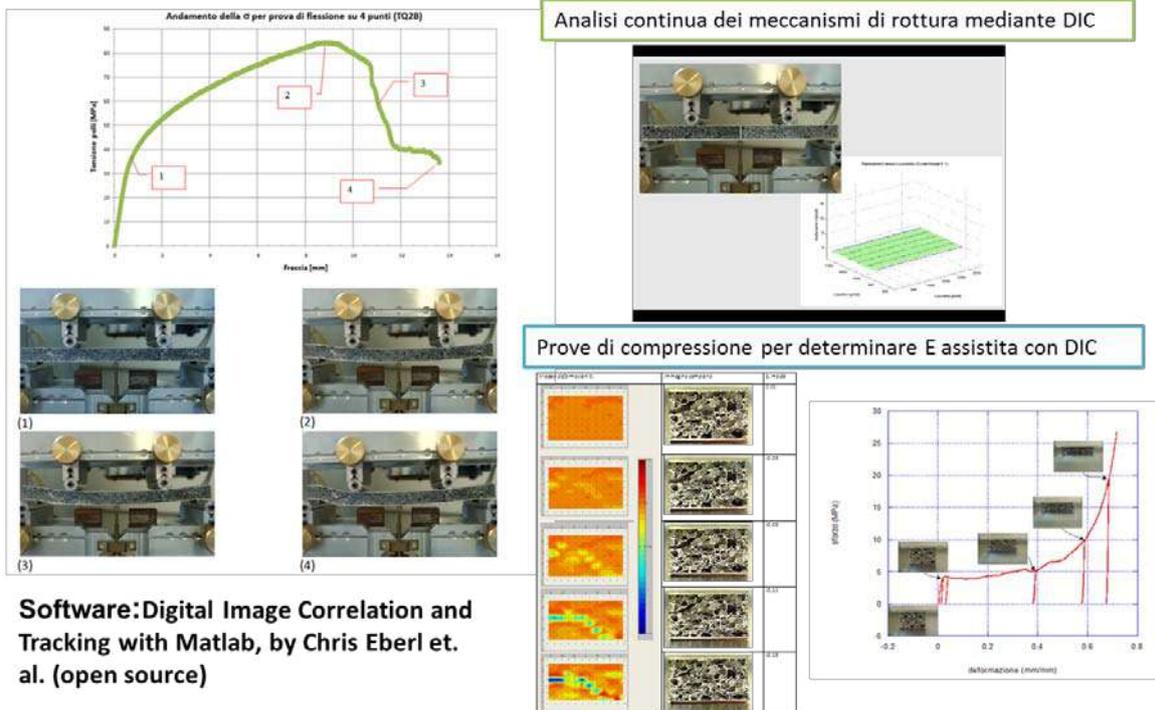
La caratterizzazione meccanica, a flessione e a compressione, è stata condotta da ENEA con l'implementazione di tecniche di analisi assistite DIC in collaborazione con l'università Roma Tre che ha sviluppato anche un sistema di analisi per la rilevazione degli stress residui nelle pareti dei pori delle schiume metalliche a livello sub micrometrico. Tali tecniche sono particolarmente adatte al tipo di materiale in quanto permettono di individuare precocemente le zone di innesco della rottura. Le prove di caratterizzazione, condotte sul materiale base e sui giunti saldati (Laser e Electron Beam),

hanno evidenziato una correlazione fra resistenza meccanica e densità media dei campioni misurata con analisi radiografiche. Uno studio per l'impiego di questi materiali nel settore ferroviario, con la riprogettazione del pavimento flottante delle carrozze passeggeri dei treni, ha dimostrato un possibile risparmio di peso del componente superiore al 60%. A questo va aggiunto il miglioramento del confort per il maggiore smorzamento acustico e vibrazionale caratteristico dei materiali cellulari.

Ibridizzazione di microsfere metalliche con polimeri termoplastici e impiego di fibre naturali in compositi termoplastici

Il DIMP dell'Università Napoli Federico II° ha sviluppato un processo di produzione (Rubber Forming) per la realizzazione di compositi in polietilene ad alta densità rinforzato con polpa

di legno (WPC) e fibre naturali di canapa lunghe e corte. È stata testata la resistenza a trazione del materiale e quella di uno specifico componente con esso realizzato (una mensola), e valutata anche la riciclabilità. L'incremento di resistenza varia da circa il 50% con il rinforzo in solo WPC a oltre il 125% con il rinforzo a fibra lunga di canapa. L'ENEA ha studiato come i parametri di processo di stampaggio (pressione, tempo e temperatura) influenzino le caratteristiche di compositi polimerici a base di PLA (Acido Polilattico) e bio tessuti a elevata riciclabilità (commingled). È stato infine migliorato, in termini di porosità e produzione giornaliera, il processo di realizzazione di granuli metallici di alluminio mediante l'impiego di resine epossidiche e pirolisi.



Caratterizzazione meccanica degli AFS e dei giunti saldati mediante prove di flessione e prove di compressione assistita da DIC

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

Progetto 3.5: Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

Referente: Giuseppe Barbieri, giuseppe.barbieri@enea.it

Novembre 2012

Documenti tecnici e aggiornamenti disponibili sul sito ENEA: www.enea.it



ENEA

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



Ministero dello Sviluppo Economico