

## Energia elettrica da fonte solare Solare termodinamico

### SCENARIO DI RIFERIMENTO

Le attività di ricerca, inquadrare nell'ambito più generale dello sviluppo e diffusione dell'uso delle fonti rinnovabili di energia, si riferiscono alla produzione di energia elettrica da radiazione solare mediante tecnologia a concentrazione ad alta temperatura, sinteticamente denominata "Solare termodinamico". Gli impianti a "Solare termodinamico" utilizzano opportuni sistemi ottici (concentratori) per raccogliere la radiazione solare e inviarla su un componente (ricevitore), dove questa energia, trasformata in calore ad alta temperatura, viene trasferita a un fluido.

Questo calore può essere integrato con altra fonte esterna di energia (ad es. gas o biomassa) per la produzione di energia elettrica o per essere utilizzato a più alta temperatura in processi industriali. La tecnologia disponibile consente anche l'accumulo del calore per un successivo utilizzo.

Secondo la forma dei concentratori, possiamo distinguere tre diverse tipologie di impianti: a disco parabolico, a torre centrale e a collettore lineare parabolico o Fresnel. Allo stato attuale la tecnologia più diffusa è quella dei collettori parabolici lineari. In quest'ambito l'ENEA ha sviluppato una propria originale linea tecnologica ad alta temperatura caratterizzata dall'utilizzo di sali fusi come fluido di processo e come mezzo di accumulo termico. La collaborazione con l'industria nazionale ha permesso di sviluppare una filiera industriale, portando, tra l'altro, alla realizzazione in Sicilia (Priolo Gargallo, Siracusa), da parte di ENEL, dell'impianto da 5 MW "Archimede" integrato con un ciclo combinato a gas.



La ricerca sul solare termodinamico ha come obiettivo principale la riduzione dei costi per rendere questi impianti sempre più competitivi rispetto alla produzione elettrica con i tradizionali combustibili fossili. Questo può essere realizzato sia attraverso il miglioramento dell'efficienza dei principali componenti e sistemi che

con la semplificazione impiantistica e il miglioramento delle procedure di gestione e manutenzione.

L'attenzione deve essere posta, oltre che ai grossi impianti di produzione di energia elettrica, anche a sistemi di

piccola e media taglia per la produzione combinata di energia elettrica e termica, eventualmente ibridizzati con un'altra fonte energetica, meglio se rinnovabile.

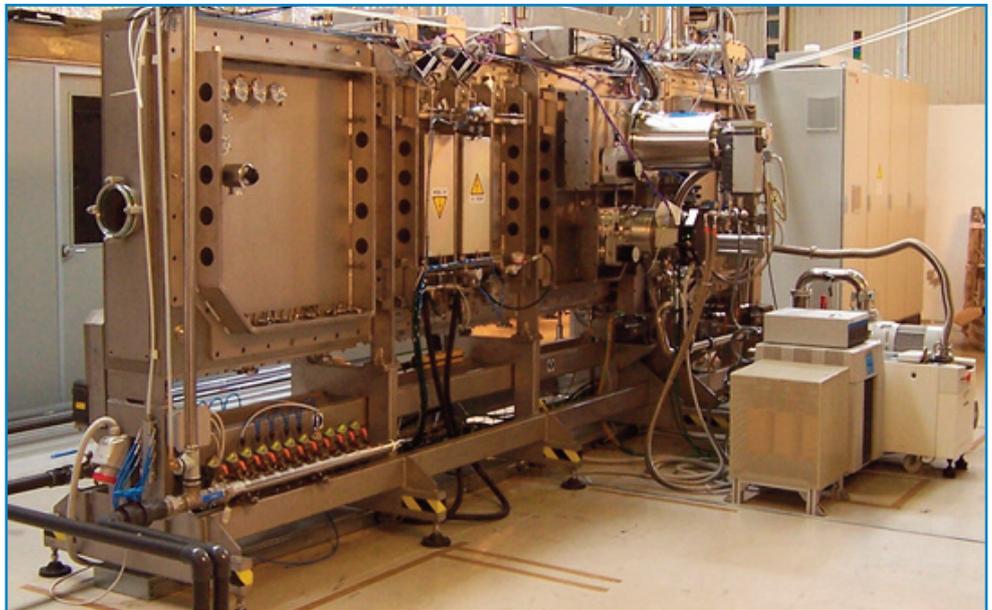
### OBIETTIVI

Gli obiettivi dell'attività riguardano:

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

gassosi e acqua) e tipologie diverse di accumulo termico (a calore sensibile o a cambiamento di fase), in funzione della taglia dell'impianto e delle temperature operative.

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



*Impianto prototipale di sputtering multicatodo installato presso il Centro Ricerche ENEA Portici*

## **RISULTATI**

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

L'attività di ricerca è stata orientata allo studio e sviluppo di materiali, processi e tecniche di fabbricazione d'innovativi coating solari per tubi ricevitori. Gli obiettivi principali sono stati non solo il miglioramento dei parametri foto-termici del coating solare (incremento dell'assorbanza e diminuzione della emissività), della sua durabilità ed affidabilità ma anche la riduzione dei costi di produzione. Questi obiettivi sono stati perseguiti attraverso l'esplorazione sperimentale di due nuovi approcci tecnologici:

- produzione di filtri ottici a funzionamento esclusivamente interferenziale, in sostituzione di quelli già consolidati del tipo CERMET, mediante tecnica IBAD ovvero altre tecniche energizzanti il processo di deposizione degli strati metallici (co-sputtering);
- produzione di strati di ossidi e nitruri attraverso processi ad alta velocità di deposito, quali quelli cosiddetti METAMODE (Sputtering + Oxidation Glow), in sostituzione dei processi consolidati del tipo sputtering reattivo.

Nell'ambito delle attività assume particolare rilievo la realizzazione in ENEA di un impianto prototipale di sputtering multicatodo per condurre processi di deposizione di tipo IBAD (Ion Beam Assisted Deposition), sul quale sono state effettuate gran parte delle attività sperimentali.

Sono stati sviluppati e messi a punto processi di deposizione speciali per la fabbricazione di film metallici in forma molto sottile (7-9 nm), di argento e molibdeno con proprietà metalliche simili ed in alcuni casi migliori del materiale in forma di film spesso.

Sono stati progettati (mediante simulazione ottica), fabbricati (sull'impianto prototipale di sputtering), e caratterizzati 3 tipologie di filtri solari interferenziali. I risultati ottenuti hanno dimostrato la grande potenzialità dei filtri interferometrici rispetto ai filtri a base di strati CERMET. Questa tecnica inoltre può essere utilizzata anche per la realizzazione di altre tipologie di filtri interferometrici di grande interesse commerciale come ad esempio la realizzazione di vetri basso emissivi per l'edilizia.

### **Studio di sistemi alternativi di accumulo termico**

L'attività di ricerca è stata orientata allo studio, nell'ambito della tecnologia dei collettori parabolici lineari, di nuove soluzioni di accumulo termico, più compatte a calore sensibile e/o latente che utilizzano come mezzo di accumulo un materiale inerte (es. cementi speciali o materiale ceramico) e/o un materiale a cambiamento di fase (Phase Change Material). L'obiettivo è quello di ridurre i costi e gli ingombri dell'accumulo termico rendendolo particolarmente adatto negli impianti di piccola/media taglia. Il concetto può essere, inoltre, estrapolabile ad impianti solari di grande taglia e con alte temperature, oltre che al settore convenzionale (recupero di calore industriale, condizionamento solare ecc.).

La soluzione con materiali a cambiamento di fase utilizza materiali a basso costo ed alta densità di energia, è però condizionata dalla loro ridotta capacità di trasporto del calore (diffusività termica). L'attività di ricerca, condotta in stretta collaborazione con l'Università di Perugia, ha evidenziato come sia possibile incrementare alcune caratteristiche dei PCM base come la capacità termica (20-50%) che la conducibilità termica (15-20%) miscelando con una piccola quantità di nanoparticelle (1-2%wt) di opportuno tipo e dimensioni. È stato utilizzato come PCM di base una miscela di nitrato di sodio e potassio (sali solari,  $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$ , 54-46wt%), a cui viene aggiunto l'1%wt di nanoparticelle di silica ed allumina. Sono state sperimentate altri tipi di nanoparticelle (placchette di grafene e nanotubi di carbonio), l'utilizzo di nanotubi di carbonio sembra attualmente essere quello che permette di avere le migliori prestazioni.). Oltre alle fasi di caratterizzazione del nanofluido-PCM è stata posta particolare attenzione ai metodi di miscelamento utilizzati, da cui dipende anche l'entità degli incrementi delle caratteristiche del mezzo, in modo da selezionare quelli che potessero essere utilizzati in un processo di produzione "industriale". Sono stati realizzati moduli elementari di accumulo che sono stati sottoposti a sperimentazione nell'impianto ATES.

L'utilizzo del calcestruzzo come mezzo di accumulo termico è nato dall'esperienza che l'ENEA ha maturato negli anni in attività di ricerca sul comportamento strutturale del calcestruzzo sottoposto ad elevate temperature in condizioni incidentali sia in ambito nucleare che civile. La scelta di questo materiale per l'accumulo termico nasce inoltre da una somma di considerazioni: è un materiale a basso costo, facilmente reperibile, facile da produrre, durevole, i suoi ingredienti principali sono disponibili ovunque, e i suoi componenti non pongono problemi critici dal punto di vista ambientale. In collaborazione con l'Università di Trento è stata sviluppata una innovativa miscela di calcestruzzo con caratteristiche adatte all'utilizzo come mezzo di accumulo termico, utilizzando materiali di riciclo per abbattere i costi. Si sono utilizzate cariche metalliche, consistenti in trucioli metallici provenienti da scarti di officina meccanica e fibre di poliammide (Nylon 66), dallo smaltimento dei rifiuti dell'industria delle moquette. In particolare l'utilizzo delle cariche metalliche ha determinato non solo gli attesi incrementi di



*Impianto ATES per il test di elementi di accumulo a calore latente*



*Moduli di accumulo termico in calcestruzzo*

conducibilità termica (fino a valori di 2,74 W/m K) e capacità termica (0,80 J/g K), ma anche il miglioramento delle proprietà meccaniche ed in particolare del modulo elastico. L'utilizzo delle fibre di nylon ha invece confermato l'effetto di limitare il ritiro igrometrico nella fase post-produzione e di eliminare lo spalling ad alta temperatura.

Sono stati realizzati dei moduli elementari di accumulo per testare sperimentalmente le prestazioni sia termiche che meccaniche durante ripetuti cicli di riscaldamento/raffreddamento per simulare il caricamento e lo scaricamento di un sistema di accumulo termico inserito in un impianto solare a concentrazione. A seguito dei positivi risultati ottenuti, è stata effettuata una ulteriore campagna sperimentale su moduli di accumulo di maggiori dimensioni portando il grado di complessità più vicino ad un prototipo industriale. A questo scopo è

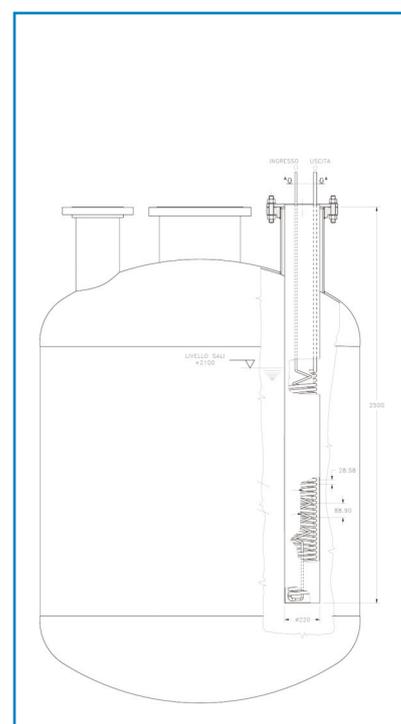
stato realizzato un nuovo impianto sperimentale per il test dei nuovi moduli di accumulo con temperature fino a 300 °C.

### **Sviluppo di sistemi integrati per applicazioni in impianti di piccola taglia**

Le attività riguardano, nel caso di applicazioni del solare termodinamico a impianti cogenerativi di piccola taglia (<1 MWe), lo studio e la progettazione di sistemi per generazione di energia elettrica di piccole dimensioni basati sull'esclusivo uso di energia termica da prelevare dal sistema di accumulo. Per le analisi sperimentali è stato utilizzato come sistema di accumulo il serbatoio a sali fusi dell'impianto PCS (Prova Collettori Solari) dell'ENEA. È stata effettuata la progettazione preliminare di un impianto cogenerativo con microturbina a vapore da 1,5 kWe. È stato progettato e realizzato un generatore di vapore di nuova concezione del tipo "once through", facilmente integrabile nel serbatoio di accumulo a sali fusi, e caratterizzato da bassi costi di realizzazione ed elevata affidabilità di esercizio. Verrà completata l'installazione dell'impianto cogenerativo con l'effettuazione delle prove sperimentali di caratterizzazione.



*Impianto per il test di elementi di accumulo in calcestruzzo*



*Serbatoio di accumulo con generatore di vapore*



*Dettaglio dello scambiatore di calore*

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