

# SVILUPPO DI CONCENTRATORI SOLARI DI TIPO PTC A MEDIA TEMPERATURA

Chiara Cinelli<sup>1</sup>, Maurizio De Lucia<sup>1</sup>, Paolo Giovannetti<sup>1</sup>, Christian Paolo Mengoni<sup>1</sup>, P. Sansoni<sup>2</sup>, Stefano Toccafondi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Energetica "S.Stecco" Università degli Studi di Firenze  
<sup>2</sup>INOA- CNR Istituto Nazionale di Ottica Applicata

## SOMMARIO

Alla luce della situazione energetica mondiale, della continua escalation del prezzo dei combustibili fossili e dell'esigenza dei paesi europei di ridurre del 20% le emissioni di CO<sub>2</sub> (Protocollo di Kyoto), diventa sempre più stringente l'esigenza di sviluppare sistemi capaci di sfruttare le fonti rinnovabili in maniera tecnicamente realistica e soprattutto sostenibile. La notevole diffusione degli impianti fotovoltaici e termici vista negli ultimi anni ha permesso uno sviluppo che ha ridotto il costo per kWh dell'energia prodotta anche se per rendere questi sistemi competitivi con i tradizionali a combustibile fossile sono necessari ulteriori miglioramenti tecnologici e riduzioni dei costi. Il fatto che i captatori solari rappresentano ad oggi la voce di costo più importante dei sistemi solari anima ricerche stimolando la fantasia dei ricercatori del settore.

All'interno del Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco" dell'Università di Firenze, il gruppo di lavoro appartenente al CREAR-UNIFI sta seguendo una linea di sviluppo di applicazioni solari basata su sistemi a concentrazione.

Di seguito si riportano i dettagli di un'attività incentrata nello studio e la realizzazione di sistemi a concentrazione parabolici lineari (PTC) e relative applicazioni, finalizzato a produrre energia utile dal sole, adottando soluzioni innovative e sostenibili da un punto di vista tecnologico ed economico.

Questa attività di ricerca è supportata da realtà italiane ed europee, che vedono il CREAR partecipare a diversi progetti di ricerca europei, nazionali e regionali. Ad oggi l'attività svolta si concretizza in diversi progetti di ricerca finalizzati allo sviluppo ed alla realizzazione di prototipi di impianti solar-cooling, SHC, CHPV, in linea con quanto individuato dalle direttive europee 20-20-20 si prevede un contributo significativo alla riduzione delle emissioni di gas serra grazie alla generazione diffusa di energia pulita ed ecosostenibile.

## NOMENCLATURA

- PTC: "Parabolic Trough Collector" (concentratore parabolico lineare)  
SC: "Solarcooling" (produzione di energia frigorifera da energia solare)  
SHC: "Solar heating and cooling" (produzione combinata di energia termica e frigorifera da energia solare)  
PV: "Photovoltaic" (fotovoltaico)  
CHPV: "Concentrated Heat and Photovoltaic" (concentratore per produzione combinata di energia termica e fotovoltaica)  
CSP: "Concentrated Solar Power" (concentratore solare per produzione di energia elettrica)

## INTRODUZIONE

La razionalizzazione energetica e lo sfruttamento delle energie rinnovabili assumerà nei prossimi anni una importanza vitale per lo sviluppo della società al punto che, solo chi saprà trovare il miglior equilibrio tra le impellenti esigenze energetiche e il corretto utilizzo delle fonti primarie, potrà sostenere adeguatamente lo sviluppo e l'attuale livello di comfort.

Nell'ambito delle energie rinnovabili, candidate ad assolvere questo importantissimo compito, un ruolo fondamentale sarà giocato dallo sfruttamento dell'energia solare. Dato per certo che attualmente i sistemi termici a bassa

temperatura rappresentano uno standard consolidato, relativo allo sfruttamento termico della radiazione solare, oggi la ricerca vede come obiettivo, importante quanto indispensabile, lo sviluppo dei sistemi a concentrazione. In tale ambito, applicazioni CSP (operanti attualmente a temperature che variano tra i 450 e 550 °C), rappresentano le soluzioni più avanzate nelle quali si ricorre al meglio della tecnologia. Allo stato dell'arte non si è ancora trovato il giusto equilibrio tra efficienza, durata, affidabilità e costi affinché tali sistemi possano proficuamente sostituire gli attuali sistemi termodinamici tradizionali.

Appare altrettanto importante sottolineare che gli attuali stili di vita richiedono importanti quantità di energia pro-capite e tra queste sta crescendo rapidamente la quota di energia frigorifera (non solo per condizionamento) per lo più ottenuta a mezzo di sistemi a compressione utilizzando energia elettrica. Infatti i sistemi energetici dei paesi più sviluppati sono messi in seria difficoltà proprio nei periodi estivi.

In tale contesto si inserisce il presente lavoro che propone lo sviluppo di sistemi solari a concentrazione a media temperatura capaci di offrire una concreta possibilità di riduzione dei picchi elettrici estivi in maniera non meno sostenibile dei diffusi sistemi PV.

Ciò premesso se ne deduce che sistemi a concentrazione per SC e SHC possono ottenere risultati altrettanto significativi rispetto ai più tecnologici CSP operando a temperature meno critiche. Ad oggi appare quindi molto più semplice e tecnologicamente proponibile la sostituzione di carichi elettrici (corrispondenti al condizionamento e alla refrigerazione) con

sistemi termici a media-bassa temperatura piuttosto che implementare sistemi termici ad alta temperatura per ottenere di fatto lo stesso risultato con due o più trasformazioni energetiche.

Il presente lavoro riporta il risultato di vari progetti in cui lo sforzo dei ricercatori è stato finalizzato alla dimostrazione della fattibilità di sistemi SC e SHC.

Stante il basso valore economico dell'energia prodotta da combustibile fossile, tali ambiti dovranno rispondere a stringenti requisiti in termini di costi e di prestazioni.

Le analisi di tipo tecnico-economico svolte da diversi autori nonché le varie IEA-Task hanno evidenziato che la diffusione su larga scala di queste tecnologie e la loro proficua sfruttabilità economica è essenzialmente legata al costo del campo solare che ad oggi rappresenta sempre la voce di spesa più importante [1], [2]. Diventa quindi fondamentale il corretto dimensionamento del campo solare la cui estensione può condizionare pesantemente la profittabilità di investimenti fino a rendere non convenienti anche i sistemi meno rischiosi.

Da precedenti studi condotti [2] si è potuto dimostrare che ad oggi, ipotizzando un costo del petrolio al di sotto dei 50\$/barile, senza incentivi di sorta il costo del campo solare (capace di lavorare a medie temperature con efficienze del 50%) dovrebbe attestarsi intorno ai 300€/m<sup>2</sup> affinché, in ambiti nazionale, si possano avere tempi di rientro del capitale al di sotto dei 10 anni.

Altri studi [3] hanno confrontato energeticamente i collettori solari:

- a) "Single glazed flat-plate with AR,
- b) "Evacuated tube collector of the Sydney type",
- c) "CPC flat-plate with Teflon foil",
- d) "Flat-plate with double AR-glazing and inert gas filling",
- e) PTC - "small parabolic trough"

dimostrando che già a temperature prossime a 100°C i sistemi PTC, grazie al miglior rendimento, sono energeticamente comparabili ai d) e più performanti dei sistemi a) e c) sebbene utilizzino solo la radiazione diretta (25-30% meno di quella utilizzata dagli altri). Intorno ai 140-150°C i PTC diventano equivalenti anche ai pannelli sottovuoto nei confronti dei quali possono vantare una proiezione di costi molto più interessante.

Sulla base di queste considerazioni, presso l'Università di Firenze, sono stati avviati diversi programmi di ricerca mirati allo sviluppo di tali sistemi e alla loro ottimizzazione.

## ATTIVITÀ DI RICERCHE PRESSO L'UNIVERSITÀ DI FIRENZE

Presso il Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco" negli ultimi anni si è cercato di concretizzare, attraverso impianti dimostrativi, le molteplici possibilità di sfruttamento dell'energia solare come fonte rinnovabile nell'intento di rispondere alle esigenze di una maggiore varietà di utenze rispetto a quella che attualmente caratterizza il panorama dei sistemi termici e fotovoltaici. Sono in corso ricerche mirate ad approfondire problematiche specifiche connesse alla fattibilità tecnico-economica di sistemi solari per applicazioni di SC e SHC:

- Nel progetto FP6 REACt (Self-sufficient Renewable Energy Air-Conditioning system for Mediterranean countries), CREAR-UNIFI, con la collaborazione di DLR, Solitem e di centri di ricerca CDER (Marocco), NERC (Giodania) e ALMEE (Libano), ha sviluppato e realizzato impianti dimostrativi di Solar Cooling in paesi mediterranei dove sono state implementate soluzioni basate su PTC accoppiati

a chiller H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub>.

- Nel progetto FP7 Alone (small scale solar cooling device), il CREAR-UNIFI coordina un gruppo di lavoro composto da RIELLO, EURAC, CLIMATEWELL, DLR, SOLITEM, SONNENKLIMA e AOSOL per lo studio e realizzazione di sistemi SC-SHC basati su diverse tecnologie al fine di dimostrarne la fattibilità e ottenere un confronto in termini di sostenibilità economica. È prevista la realizzazione e il monitoraggio di 4 impianti dimostrativi con chiller a NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O-LiBr e H<sub>2</sub>O-LiCl, accoppiati con diverse tecnologie di campi solari. Impianti in realizzazione in Italia (Firenze e Bolzano), in Portogallo ed in Germania.
- Il progetto SALVE (Assisted Solar Cooling - Università di Firenze), prevede la realizzazione un impianto di Solar Cooling pilota basato sulle migliori tecnologie commerciali per costituire un riferimento per le attuali ricerche e favorirne lo sviluppo.
- Il progetto S.A.L.T.O (Solar Assisted Cooling Toscana) prevede lo sviluppo di PTC per applicazioni a media temperatura. L'obiettivo è quello di rendere la tecnologia SC economicamente competitiva con le attuali soluzioni consolidate senza l'intervento di incentivi premianti. La descrizione dettagliata delle attività di questo progetto saranno oggetto di approfondimento nel presente lavoro
- Il SOLIDE è un progetto PRIN 2007, nel quale la collaborazione tra CREAR-UNIFI, Università di Bergamo e Università di Lecce si è focalizzata sul confronto tra prototipi di sistemi di Solar Cooling basati su diverse tecnologie sia per i collettori: PTC e pannelli piani, che per le macchine ad NH<sub>3</sub> e LiBr per la produzione del freddo.

Sono recentemente avviati altri 3 progetti collegati all'iniziativa nazionale "INDUSTRIA 2015" dove sono in corso attività di ricerca e supporto alla industrializzazione di prodotti basati su concentratori solari in cui il CREAR-UNIFI è coinvolto: progetti PIACE, SCOOP e FreeSun. (G.U. dal 20/05/2008 e G.U. 12/03/2009)

## SVILUPPO DI COLLETTORE TERMICO A CONCENTRAZIONE

Nell'ambito dei vari progetti internazionali il gruppo di lavoro del Dipartimento di Energetica di Firenze ha potuto acquisire competenze e maturare esperienze nel campo dei sistemi a concentrazione.

L'attività caratterizzata da un'estrema multidisciplinarietà, ha visto la partecipazione del CNR-INOA (Istituto Nazionale di Ottica Applicata) ed altri dipartimenti per le specifiche e peculiari soluzioni sviluppate ed ottimizzate in termini di rendimenti e costi.

Il progetto di ricerca è stato costantemente animato dall'esigenza di sviluppare soluzioni economicamente compatibili con i target price sopra menzionati.

Premesso che, i livelli termici indicati per un funzionamento ottimale di macchine frigorifere ad assorbimento si collocano tra i 90°C e i 200°C, è facile verificare [3] che la tecnologia sui sistemi PTC è attualmente quella che presenta le maggiori potenzialità di sviluppo tecnico ed economico rispetto a quella dei collettori basati sui tubi di vetro evacuati.

I due sistemi mostrano avere una equivalenza energetica già a 140-150°C [3] se però si considera che il costo dei collettori a tubi evacuati è notevolmente superiore (spesso quasi doppio) rispetto ai costi dei PTC, questi ultimi cominciano ad essere

competitivi anche a temperature dell'ordine di 100°C.

### Studio ottico

La ricerca è partita dallo studio ottico, che si è basato su un'estesa attività di simulazione e caratterizzazione della geometria del concentratore, in ragione dei parametri funzionali principali: focale, corda e delle caratteristiche geometriche dell'elemento ricevitore (inteso come tubo ricevitore più copertura in vetro trasparente). Tale lavoro ha permesso di definire una configurazione per "l'ottica di concentrazione" su cui lavorare per ottenere una geometria caratteristica e parametrizzata per una "famiglia di collettori parabolici" (Fig. 1).

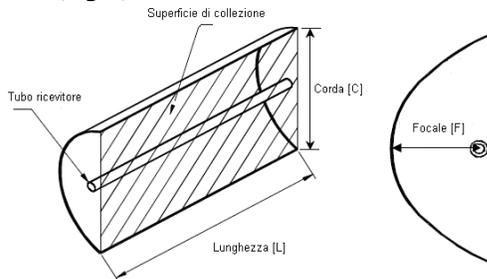


Fig. 1 : Parametri fondamentali del profilo parabolico [3]

L'analisi ha interessato studi di sensibilità delle prestazioni ed efficienza al variare della posizione dell'assorbitore rispetto al fuoco geometrico, della deviazione dell'asse focale rispetto alla direzione dei raggi solari ( $\theta_{tilt}$ ) di deriva della conicità della parabola rispetto a quella di riferimento ( $\Delta y$ )(Fig. 2).

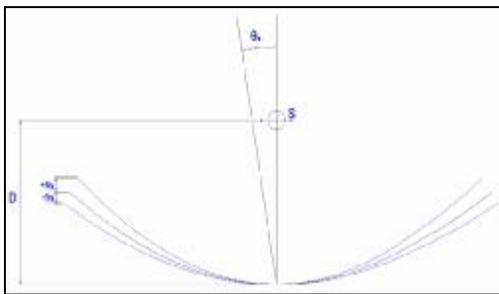


Fig. 2 : Schematizzazione sistema per analisi di sensibilità

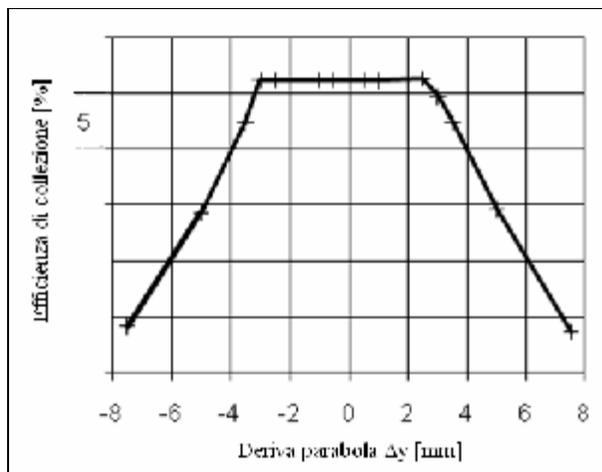


Fig. 3 : Efficienza in funzione di  $\Delta y$  [5]

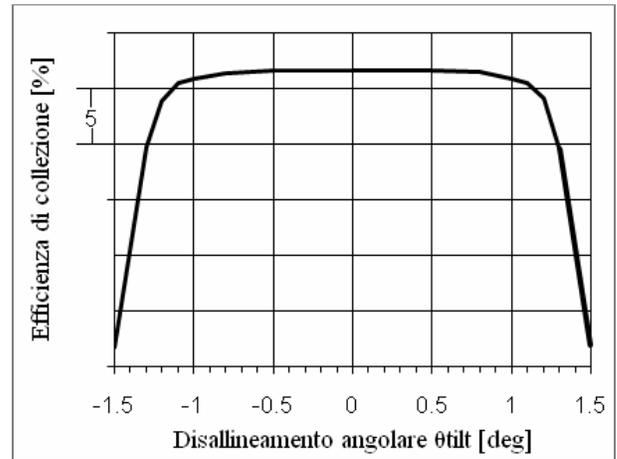


Fig. 4 : Efficienza in funzione di  $\theta_{tilt}$  [5]

I limiti di accettabilità, ottenuti da tale analisi, sono stati utilizzati per la definizione delle prestazioni di rigidità strutturale del corpo del collettore, delle prestazioni meccaniche del sistema di inseguimento solare e la definizione delle classi di tolleranza ammissibili per le tecnologie di realizzazione e assemblaggio dei componenti (in particolare il supporto parabolico della superficie riflettente e le parti di centraggio dell'assorbitore). Alla luce di quanto riportato si è assunto  $\theta_{tilt} = \pm 1^\circ$  e  $\Delta y = \pm 3$  mm

### Materiali Funzionali

Le prestazioni del collettore sono chiaramente e particolarmente legate alle proprietà ottiche dei materiali impiegati nelle parti funzionali interessate dalla radiazione solare.

I materiali riflettenti analizzati per la superficie parabolica, preposta alla concentrazione della radiazione nel fuoco del collettore, appartengono ad una selezione di alluminati superlucidi (trattati superficialmente con protezioni polimeriche trasparenti) e ad alcune tipologie di specchi vetrati ultrasottili, la cui parte riflettente è costituita da un'argenteratura.

Dalle misure di riflettanza su campioni di diversi materiali utilizzabili emergono valori generalmente superiori al 90% con prestazioni di riflessione leggermente più elevate da parte degli specchi vetrati (Fig. 5) [6].

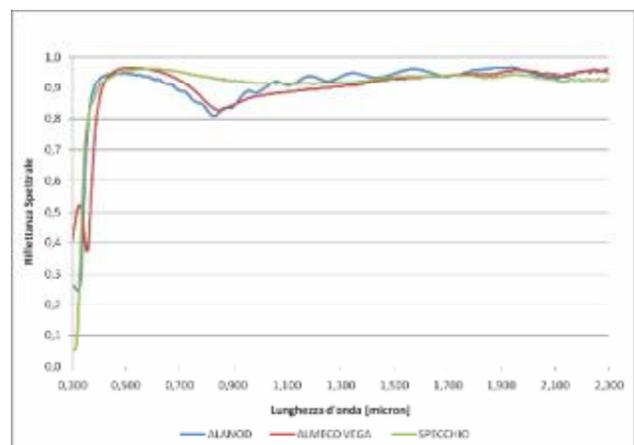


Fig. 5 : Riflettanza spettrale-materiali riflettenti

A livello di costo specifico i materiali considerati sono pressochè confrontabili come ordine di grandezza e soprattutto compatibili, con i target del progetto.

Essi sono chiaramente differenti per proprietà meccaniche e soprattutto tecnologiche, per cui considerazioni finali riguardo al rapporto prestazioni/costo sono estremamente legate all'inserimento di tali materiali in processi di assemblaggio della superficie parabolica e ad eventuali ottimizzazioni che includano compiti strutturali oltre le funzionalità di riflessione.

Attualmente sul prototipo sono installate due soluzioni, metà della superficie riflettente è armata con alluminio riflettente ALMECO mentre sulla parte restante è installato lo specchio vetrato. Dalle prove sul campo sono attesi ulteriori dati, rispetto ai valori garantiti dai fornitori, relativi al mantenimento delle prestazioni nel tempo, in reali condizioni di funzionamento e rispetto a problematiche di gestione dei due materiali in termini di manutenzione e di fatica meccanica e termica.

Per quanto riguarda le superfici dell'assorbitore, sono stati esaminati trattamenti superficiali adatti ad esaltare le capacità di conversione della radiazione solare in energia termica per livelli di temperatura massima dell'ordine dei 200°C [7].

Una serie di trattamenti, tecnologicamente applicabili su alluminio, rame e acciaio, come alcune tecniche di sabbiatura, pallinatura e corrosione chimica, e di coating superficiali, quali vernici speciali, deposizioni sputtering e trattamenti di ceramizzazione, sono stati analizzati sotto l'aspetto della selettività della radiazione solare e studiati, in collaborazione con i fornitori, sotto l'aspetto delle ottimizzazioni dei processi realizzativi [7].

Dal confronto delle misure spettrali, di assorbanza (Fig. 7) nel campo del visibile e di emittanza, nel campo IR, emergono discrete proprietà selettive per alcune anodizzazioni, e per una tipologia di smaltatura ceramica [6]. Le anodizzazioni più performanti, sebbene si siano dimostrate un trattamento interessante per sistemi ricevitori in alluminio, adatti a lavorare fino a temperature limite di 140°C, sono attualmente piuttosto costose (impiego di materiali costosi/nobili) e non sufficientemente ripetibili.

La smaltatura invece (materiale Acc\_Oz1 fig. 6), pur evidenziando livelli di selettività inferiori, manifesta ottimi valori di assorbanza e risulta un trattamento economico, più facilmente industrializzabile ed ottimizzabile su acciaio e quindi maggiormente indicate per le applicazioni pressurizzate e a temperature dell'ordine dei 200 °C.

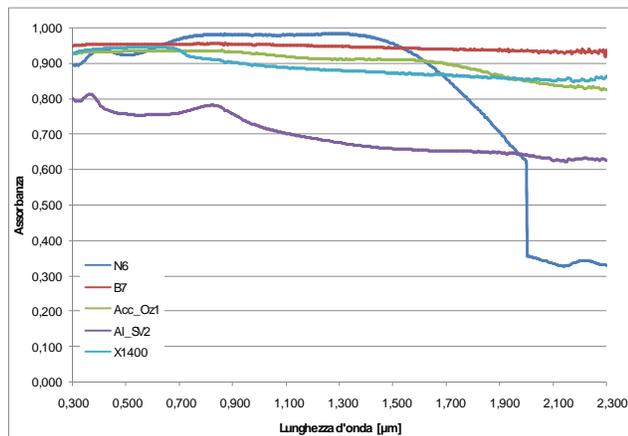


Fig. 6 : Assorbanza in campo visibile campioni per assorbitore

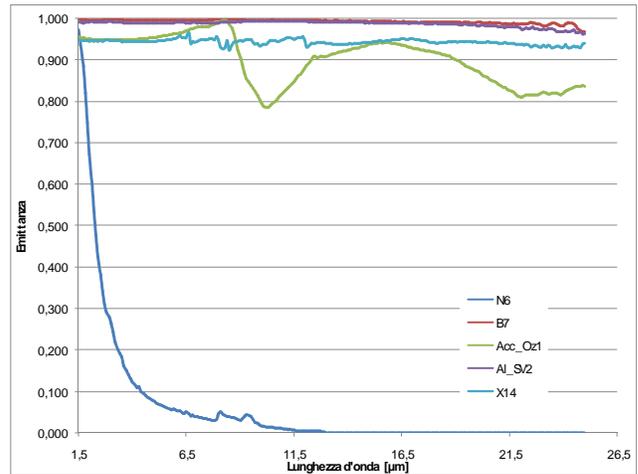


Fig. 7 : Emittanza in campo IR campioni per assorbitore

Dato che il prototipo è stato concepito per testare soluzioni diverse in termini di temperatura di esercizio e di fluido termovettore impiegato, si è scelto di utilizzare lo smalto ceramico analizzato (materiale Acc\_Oz1 fig. 6 e Fig. 7).

### Ricevitore

Il responsabile delle dispersioni termiche nel PTC è chiaramente il ricevitore. Il confronto tra varie soluzioni costruttive [7] ha messo in luce differenze prestazionali esigue alle temperature di riferimento ( $\leq 200^\circ\text{C}$ ) tra le soluzioni sottovuoto e non. Allo scopo si è ritenuto la tecnologia sottovuoto non abbastanza vantaggiosa e dai costi elevati.

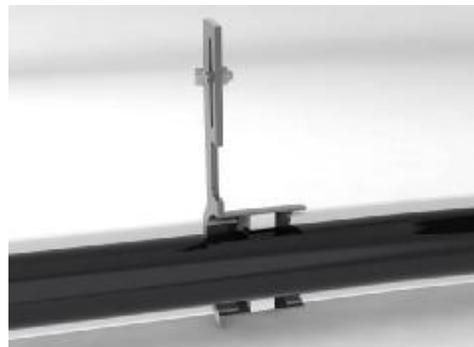


Fig. 8 : Sezione di ricevitore non evacuato

Sono state analizzate le dispersioni termiche del ricevitore [9], [10].

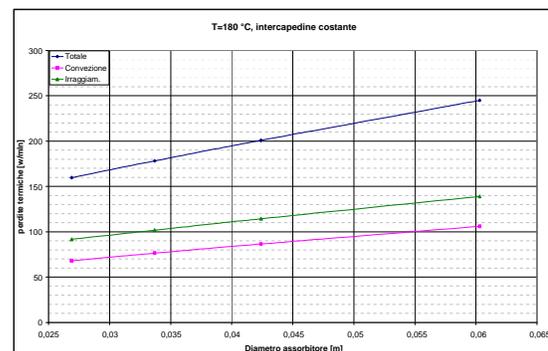


Fig. 9 : Andamento delle perdite al variare del diametro dell'assorbitore

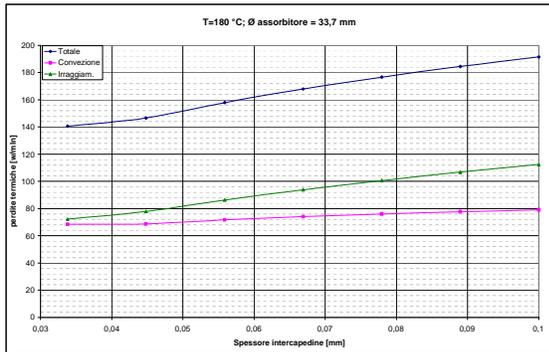


Fig. 10 : Andamento delle perdite al variare dello spessore dell'intercapedine di aria

Sono state valutate diverse configurazioni al fine di ottenere i migliori compromessi tra le prestazioni ottiche e la fattibilità economica relativa alla disponibilità di tecnologie e di componenti del ricevitore.

In accordo con queste considerazioni è stato selezionato, per l'assorbitore, un diametro pari a 60 mm, mentre la dimensione del tubo di vetro è pari a  $\varnothing=83$  mm.

### Sviluppo concentratori: strutture

Il processo di progettazione del collettore solare a partire dall'ottica di concentrazione ha richiesto la definizione di modelli di carico corrispondenti alle reali condizioni di funzionamento del collettore (azione del vento, dilatazioni termiche, ecc).

Sottoponendo ad analisi CFD schiere parallele costituite dai profili geometrici teorici, con velocità del vento conformi alle normative vigenti, sono stati stimati i profili di pressione agenti sulle superfici di concentrazione (Fig. 11).

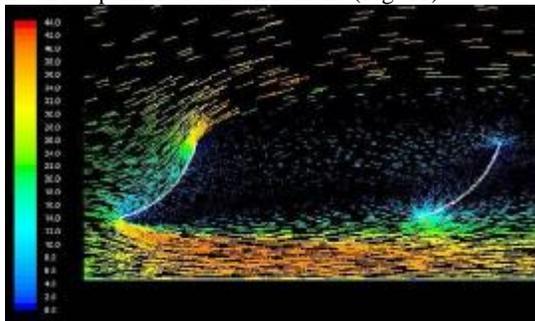


Fig. 11 : Effetti del vento su schiere di PTC

Applicando i profili di carico ottenuti con le simulazioni fluidodinamiche a diverse ipotesi costruttive, attraverso analisi FEM, sono stati ottenuti dei modelli di strutture comparabili, dal punto di vista delle prestazioni, con i limiti di rigidità ammissibili conseguenti alle analisi ottiche effettuate.

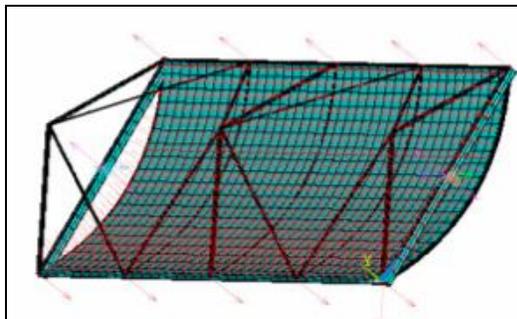


Fig. 12 : Profili di carico

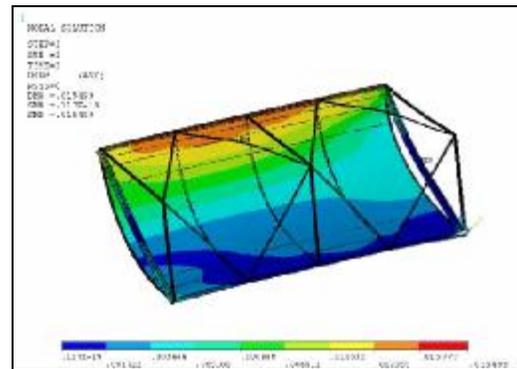


Fig. 13 : Analisi FEM del prototipo

Il progetto condotto ha seguito l'analisi di due possibili tipologie costruttive: una soluzione basata sull'impiego di pannelli riflettenti autoportanti del profilo parabolico ed un'altra basata sulla realizzazione di una superficie parabolica ricavata attraverso un processo di carpenteria metallica di precisione.

E' stata condotta un'analisi comparata con l'obiettivo di trovare la soluzione ottimale che massimizzasse la resistenza torsionale al fine di sviluppare delle strutture meccanicamente adeguate alle esigenze ottiche imposte.

In prima analisi si è optato per la soluzione basata su carpenteria metallica di precisione, anche perché potenzialmente più economica rispetto alla soluzione con pannello autoportante.

La soluzione dei pannelli autoportanti è in ogni caso oggetto di sviluppo ed indagine nonché di ottimizzazione, in quanto stabilisce un valido riferimento di confronto.

Il prototipo del campo solare attualmente installato è costituito da una stringa di 4 collettori PTC con una superficie riflettente complessiva di 42.3m<sup>2</sup>.

### Tracking: sensori , puntamento, azionamento

Per garantire un buon compromesso prestazioni-costi del sistema di inseguimento del sole (tracking) è necessario ripartire in maniera ottimale le tolleranze di puntamento angolari imposte dagli studi ottici [5] tra le specifiche di rigidità del concentratore, di posizionamento dell'attuatore e di precisione di puntamento del controllore.

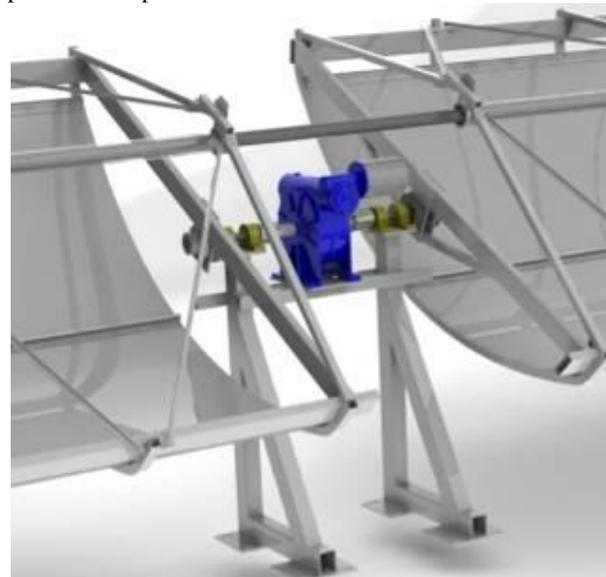


Fig. 14 : Sistema di movimentazione

La versione della movimentazione attualmente installata sul prototipo (Fig. 14) è basata sull'impiego di riduttori meccanici irreversibili, con rapporti di riduzione dell'ordine di 3000. Sono in fase di studio ottimizzazioni basate sull'aumento dei rapporti di riduzione e su un diverso meccanismo di trasmissione al fine di ridurre le velocità di puntamento.

La parte di controllo della posizione ha richiesto lo studio di un sensore ottico (Fig. 15) per un sistema di puntamento ad anello chiuso che è stato comparato ai sistemi orari [11].



Fig. 15 :Sensore ottico

I metodi orari richiedono un hardware di controllo capace di effettuare rapidamente calcoli piuttosto complessi nonché l'accurata conoscenza delle coordinate geografiche e dell'orientazione del campo solare; oltre ad un controllo della posizione angolare di elevata precisione.

Il sensore ottico invece ha evidenziato, dalle prime prove sul campo, una elevata sensibilità alle variazioni della radiazione diretta. Questo garantisce una precisione di puntamento elevata difficilmente ottenibile con sistemi orari, ma al contempo causa di ambiguità di puntamento in condizioni meteorologiche molto variabili o in presenza di eventi non prevedibili (adombramenti imprevisti e improvvisi).

Il sistema di puntamento utilizzato attualmente impiega entrambi i metodi, affidando al sensore ottico la regolazione di precisione. Al momento si vedono nei sistemi ottici a retroazione grandi potenzialità in termini di precisione e costi rispetto a metodi orari. Per questo motivo sono in fase di studio sistemi ottici ad anello chiuso indipendente da sistemi orari. Tale sistema dovrebbe ridurre pesantemente i costi di hardware necessario.

### Vettori termici

Con l'esperienza acquisita in altri progetti (in cui è coinvolta DLR) è stato riscontrato che utilizzando olio diatermico, come fluido termovettore, si incorre in sempre più stringenti vincoli ecologici. Sebbene dia la possibilità di lavorare ad alti livelli di temperatura con contenute pressioni di esercizio, l'olio diatermico potrebbe risultare in breve obsoleto, considerando che alcuni paesi hanno adottato politiche restrittive nei suoi confronti e a causa dei costi legati alla sua gestione ed al suo smaltimento già molti impianti di piccola taglia scartano questo vettore termico.

Un'alternativa all'olio diatermico è la produzione diretta di vapore saturo nei PTC proposta da DLR [12]. Questa soluzione migliora sensibilmente lo scambio termico e riduce

le portate di fluido al collettore, ma la presenza di un fluido pressurizzato in cambiamento di fase, comporta l'introduzione di alcuni componenti aggiuntivi di difficile standardizzazione che complicano il sistema e la sua gestione. La ricerca di soluzioni intermedie alle due presentate ha portato a proporre l'impiego di acqua pressurizzata. Da un punto di vista impiantistico questa soluzione è comparabile ad un sistema ad olio diatermico e, attraverso l'aggiunta di qualche elemento, può facilmente essere convertito all'impiego di vapore saturo.

### PRIMI DATI SPERIMENTALI DEL PROTOTIPO PTC

Con il progetto SALTO, è stato realizzato un prototipo (Fig. 16) di PTC termico "tutto italiano" corredato da un banco prova per la messa a punto, test dei materiali e per la valutazione delle prestazioni.



Fig. 16 : Prototipo PTC progetto "SALTO"

Il fluido termovettore utilizzato nel banco prova è acqua pressurizzata a 12 bar, corrispondenti ad una temperatura massima di esercizio pari a 180°C.

Lo schema funzionale del banco prova è quello riportato di seguito

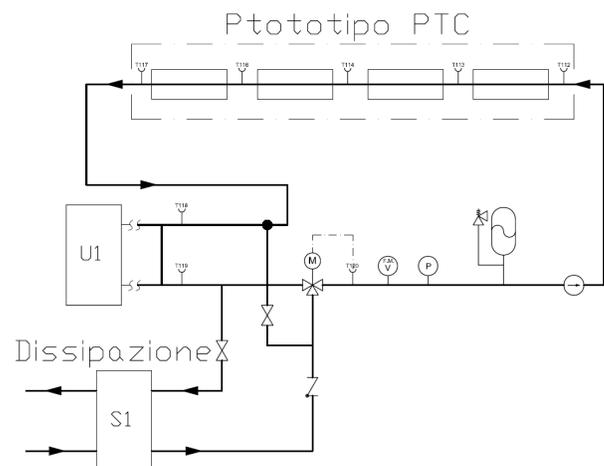


Fig. 17 : Schema funzionale del banco prova

La potenza raccolta dai collettori può essere ripartita tra il carico U1 e il dissipatore S1 per simulare varie condizioni di funzionamento e regolare la temperatura.

Sensori di temperatura (installati sui collettori), portata e pressione del fluido termovettore permettono il rilievo istantaneo delle prestazioni del prototipo.

Il banco inoltre è dotato di stazione meteo per la misura della radiazione incidente, della temperatura ambiente e dell'umidità relativa.

Da qualche mese sono in corso attività di regolazione del sistema e test finalizzati alla caratterizzazione dei collettori.

Da un'analisi della propagazione dell'errore sul calcolo della potenza termica trasmessa al fluido termovettore è emerso che l'accuratezza delle misure, in relazione ai piccoli valori di  $\Delta T$  da rilevare, hanno richiesto l'utilizzo di sensori di temperatura di elevata precisione; mentre per la misura di portata sono risultate appropriate incertezze intorno all' 1%.

L'impianto alla stesura del presente lavoro è in fase di messa a punto anche se i primi test hanno consentito di dare una prima valutazione dei punti di funzionamento. In Fig. 18 e Fig. 19, è riportato l'andamento della potenza termica, temperatura media del fluido e della radiazione diretta misurata durante una prova di alcune ore di una giornata primaverile assoluta.

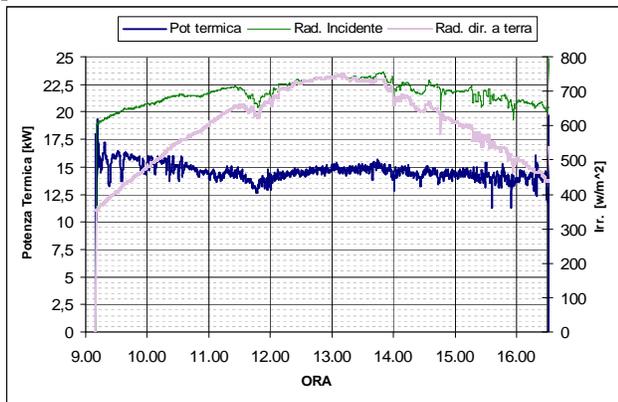


Fig. 18 : Potenza misurata e profilo di irraggiamento giornaliero 20/06/09

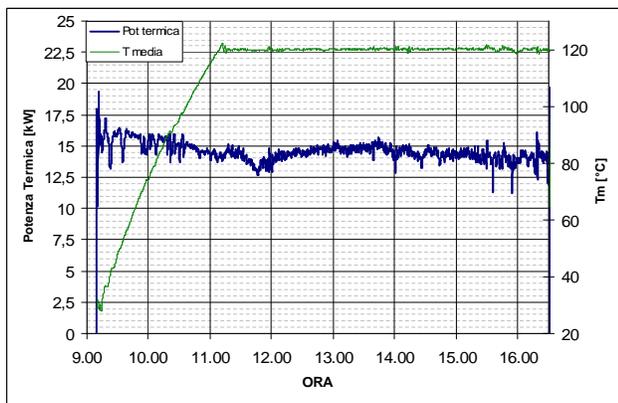


Fig. 19 : Potenza misurata e temperatura media del fluido 20/06/09

Dalle prime analisi basate sul rilievo della radiazione diretta incidente sulla superficie di collezione e della potenza termica sviluppata dal collettore, sono possibili alcune considerazioni sull'andamento della potenza termica.

Nell'arco di una giornata primaverile, alla latitudine di Firenze il prototipo ha fornito una potenza termica di  $14 \div 16$  kW termici.

Una prima comparazione con i dati reperibili relativi ai migliori sistemi attualmente in sviluppo, ma già accreditati

evidenzia per il prototipo potenzialità alquanto interessanti, infatti rispetto alle prestazioni assunte come riferimento tecnologico per tali sistemi si osservano andamenti coerenti che, considerata l'incidenza dei lavori di messa a punto e i bassi valori di altezza solare corrispondenti al periodo di prova indicato, prospettano prestazioni in linea con i valori di confronto.

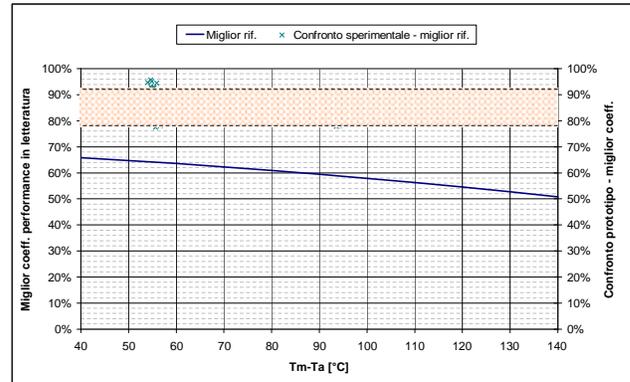


Fig. 20 : Confronto con sistema PTC di riferimento

Si può apprezzare che il PTC sviluppato, sebbene debba essere messo a punto ed ottimizzato, evidenzia prestazioni che si discostano del  $10 \div 20\%$  rispetto all'attuale performance accreditata ai sistemi di riferimento che rappresentano l'attuale limite tecnologico ma che non rispettano i limiti di costi imposti per lo sviluppo proposto.

## CONCLUSIONI

La ricerca presentata si inquadra all'interno in un organico lavoro di sviluppo di sistemi di SC e SHC in cui il concentratore solare rappresenta uno dei componenti principali dell'impianto, che incide per oltre il 70% sul costo totale.

La ricerca ha consentito di acquisire competenze multidisciplinari di rilievo. Sono stati raffinati strumenti e metodologie di analisi sia teorica, che sperimentale finalizzate allo sviluppo di sistemi a concentrazione.

Il know-how acquisito si concretizza inoltre in un laboratorio permanente attrezzato per la verifica delle prestazioni di sistemi ad energia solare in condizioni reali di funzionamento.

Parallelamente si è condotto lo sviluppo di una linea di PCT "italiana" i cui primi test, condotti in primavera, hanno mostrato prestazioni molto vicine alle performance dei migliori prodotti in sviluppo a livello mondiale.

La caratterizzazione del sistema prototipale è tuttora in corso pertanto quanto riportato in termini di prestazioni rappresenta un'analisi preliminare che necessita ulteriori convalide a seguito delle messe a punto già programmate riguardanti il prototipo ed i sistemi accessori connessi al controllo e monitoraggio.

## SVILUPPI FUTURI

Nei primi due mesi di test si sono evidenziate varie direttrici di interventi, che dovrebbero agevolmente consentire di migliorare le performance del sistema soprattutto alle temperature più elevate.

A questo scopo una prima evoluzione del prototipo andrà a raddoppiare la superficie totale di collezione con noevoli

migliorie sia a livello di apparato concentratore che assorbitore.

La maggior potenza a disposizione permetterà lo sfruttamento dell'energia termica per applicazioni di SC ed SHC consentendo l'analisi sperimentale delle problematiche legate all'accoppiamento ed alla gestione di sistemi integrati.

Le competenze maturate finora verranno parallelamente indirizzate sullo sviluppo di sistemi CHPV.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia P.Tancredi della Regione Toscana - sett. Promozione e Sostegno alla Ricerca per aver creduto e sostenuto tale ricerca, si ringrazia inoltre i signori prof. F. Martelli, prof. G.P. Manfreda, prof. A. Reatti, prof. P. Rissone, ing. F. Francini, D. Fontani, A. Baldini, F. Bellini, A. Catoni, G. Chiani, N. De Leo, L. Fiorineschi, D. Fissi, A. Giannuzzi M. Messeri, A. Romei, D. Tempesti P. Valentini, A. Giannuzzi, e le aziende FAITGroup e CEVIT per il fattivo ed impagabile contributo nello sviluppo del concentratore solare.

## BIBLIOGRAFIA

1. M. De Lucia, C. P. Mengoni, Analysis of total-energy solutions for a shopping centre – trigeneration solution, 2° International Conference Solar Air Conditioning, pp 419-425, 2007
2. M. De Lucia, C. P. Mengoni, Analysis of total-energy solutions for a shopping centre – solar assisted cooling solutions, 2° International Conference Solar Air Conditioning, pp 426-432, 2007
3. S. Heb, Application of medium temperature collectors for solar air-conditioning, 2° International Conference Solar Air Conditioning, pp 118-123, 2007
4. D. Yogi Goswami; Frank Kreith, Frank Kreith, Energy Conversion, CRC Press, Florida, July 06
5. Fontani et al, Efficiency of a linear parabolic mirror for geometrical deformations, s.c.t. 98 EuroSun2008, Lisbona
6. G. Chiani, L. Mercatelli, P. Sansoni, D. Fontani, D. Jafrancesco, M. De Lucia, Strumentazione spettrometrica per la misura delle caratteristiche di assorbimento, riflessione e trasmissione di vari materiali, S.e.i. 6, MisMac 2008, Napoli
7. C.E. Kennedy, Review of Mid-to-High Temperature Solar Selective Absorber Materials; National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 2002
8. O. García-Valladares, N. Velázquez, Numerical simulation of parabolic trough solar collector: Improvement using counter flow concentric circular heat exchangers, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 52,pp.

597–609, 2009.

9. R. Forristall, Heat transfer analysis and modeling of a parabolic trough solar receiver implemented in Engineering Equation Solver, National Renewable Laboratory, rept. NREL/TP 550-34169, Colorado, Oct.2003

10. Yunus A. Cengel, Termodinamica e trasmissione del calore, McGraw-Hill, Milano, 2005

11. Ibrahim Reda and Afshin Andreas, Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications National Renewable Laboratory, rept. NREL/TP 560-34302, Colorado, Jan.2008

12. Dirk Kruger and Yuvaraj Pandian, Combined system of chiller and solar field tests completed, Report on deliverable D3.7, Deutsches Zentrum Fur Luft (DLR), Raumfahrt, Germany, Nov.2007

## SUMMARY

In the light of the current worldwide energy condition, the unceasing rise of fossil fuels cost and the need, on European countries side to reduce by 20% the CO2 emissions (Kyoto Protocol), the need of developing systems that are capable of taking advantage of renewable sources in a sustainable and realistic way, is gathering more and more importance. The remarkable spreading of photovoltaic and thermal plants that took place in the latest years, allowed a development that has reduced the cost/kWh of the energy produced basing on these systems, but still not enough to be considered competitive with the traditional fossil fuel systems.

The research team “CREAR – Energy Department Sergio Stecco of the University of Florence, Italy” is strongly aiming to the development of concentration technology-based solar collection systems.

The collectors are the most important cost item of solar and represent a major stimulus to the imagination of researchers in the field. The following table shows the details of a focus in the study and implementation of systems for concentration (PTC) and its applications, with the aim of producing useful energy from the sun, by adopting innovative and sustainable solutions from a technological point of view and economically.

The research activity is supported by Italian and European structures. Today, the activities carried out find their location into various research projects, that are oriented to the development and the construction of SHC, CHPV solar cooling plants prototypes. Such plants will completely fulfil the 20-20-20 European directives with an important contribution to the decrease of greenhouse gas emissions, thanks to the widespread generation of clean and sustainable energy.