

IL SOLARE A CONCENTRAZIONE IN ENEA

Marco Montecchi

Divisione Solare Termico e Termodinamico
Via Anguillarese, 301 – 00123 Santa Maria di Galeria (Roma), Italia
www.enea.it - Tel. +39 30483587 - marco.montecchi@enea.it

Sommario

Per volontà del Prof. Rubbia, con il Grande Progetto Solare Termodinamico dal 2001 l'ENEA ha iniziato a sviluppare la tecnologia Italiana per impianti solari termodinamici basata sull'impiego di sali fusi come fluido termo-vettore in collettori parabolici lineari. Il progetto si è concluso nel 2010 con l'inaugurazione dell'impianto dimostrativo Archimede presso la centrale ENEL di Priolo Gargallo (Siracusa). Da allora l'ENEA sta continuando le ricerche nel settore, sebbene in modo assai meno finalizzato e organico anche data la scarsa considerazione del CSP nella Strategia Energetica Nazionale. La presentazione offrirà una panoramica delle attività di ricerca in corso e della rete di collaborazioni in atto.

1. Introduzione

L'attuale ENEA (Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile) discende, attraverso un percorso di trasformazioni e ridenominazioni, dal CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari), fondato nel 1952 [1]. A partire dalla fine degli anni '70, nel corso di pochi decenni si è passati da un ente a vocazione prettamente *nuclearista* ad un altro rivolto alla *sostenibilità*.



Fig. 1 - Torre solare CTSTF installata nel 1982 nell'area Capanna del centro ENEA-Casaccia. A destra un particolare del meccanismo di movimentazione per file di specchi

Lungo questo percorso, a seguito della serie di crisi petrolifere degli anni '70 e a cavallo della trasformazione del CNEN in ENEA 1^a versione (1982), si colloca il primo approccio al solare a concentrazione, rappresentato dalla torre solare CTSTF (Central Tower Solar Test Facility) commissionata ad ANSALDO e installata in area Capanna del centro ricerche ENEA-Casaccia (Fig. 1). La torre, alta 40 m, alloggiava due piattaforme

sperimentali. La superficie specchiante di 800 m², con prevista estensione a 1000 m², avrebbe contato di 810 eliostati, diametro 1.1 m, vetro argentato su seconda faccia, curvatura indotta da vite centrale. L'inseguimento solare giornaliero era assicurato da un unico motore per ogni fila di specchi; l'orientamento in direzione zenitale doveva invece essere regolato manualmente ogni 10 giorni circa. Secondo progetto il fascio concentrato avrebbe avuto diametro 0.3 m e concentrazione di 11000 Soli circa. L'intero progetto era stato supervisionato dal precursore Italiano del moderno solare termodinamico a concentrazione Giovanni Francia che già nei primi anni '60, in anteprima mondiale, aveva progettato, costruito e sperimentato sia un impianto Fresnel lineare (1962 Marsiglia, Francia) [2] che a torre (1965 Nervi, Italia) [3] (vedi Fig. 2). Francia era profondamente convinto della convenienza di mantenere il ricevitore in posizione fissa e di utilizzare una moltitudine di specchi piani per ottenere il flusso concentrato.

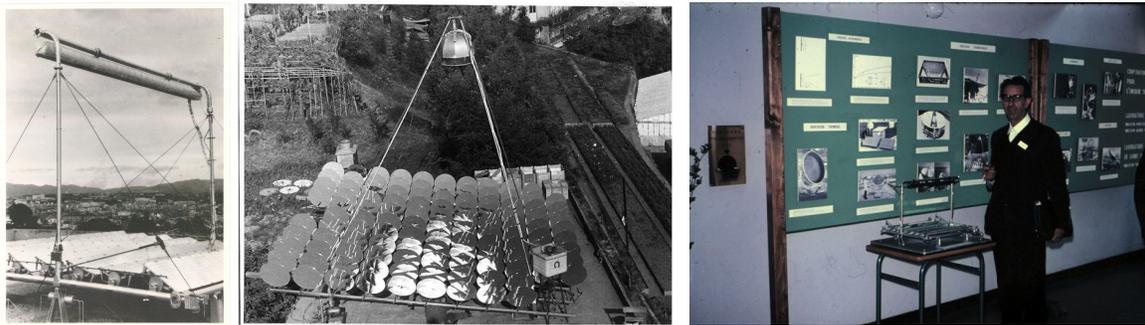


Fig. 2 - Primi impianti solari al mondo di tipo Fresnel lineare (sinistra) e a torre (centro) realizzati rispettivamente nel 1963 a Marsiglia e nel 1965 a Nervi, da Giovanni Francia (destra). In quest'ultima foto Francia è ripreso in occasione della riunione COMPLES tenutasi a Marsiglia dal 21 al 25 Maggio 1966 (foto per cortesia di Argyrios V. Spyridonos)

Purtroppo l'impianto CTSTF non entrò mai in funzione perchè mentre si andava definendo il progetto della caldaia basata su un'innovativa tecnologia di conversione a cascata [4] nel 1985 sopraggiunse il "fallimento" dell'impianto Eurelios di Adrano (CT) [5]: dopo circa 4 anni di sperimentazione, ENEL emise un rapporto in cui la tecnologia solare a torre veniva giudicata non idonea "nel medio e nel lungo termine, ad applicazioni industriali di qualche rilievo". Di conseguenza l'intero progetto CTSTF venne bruscamente interrotto su ordine del vertice ENEA. Infine negli anni '90 l'impianto fu smantellato.

Oggi, dopo quasi 40 anni, è assai sorprendente constatare l'attualità dell'impianto: l'utilizzo di eliostati di dimensioni ridotte e di una torre di altezza contenuta sono l'essenza del recente concetto di mini-tower [6]. La stessa tecnologia a torre, bocciata da ENEL nel 1985, oggi a livello internazionale è considerata una tra le più promettenti.

2. Il Grande Progetto Solare Termodinamico

Devono passare quasi 20 anni prima che l'ENEA torni a interessarsi al solare a concentrazione con il *Grande Progetto Solare Termodinamico* (GPST), nato per iniziativa del premio Nobel Carlo Rubbia, Presidente dell'ENEA dal 1999 al 2005. Nella visione di Rubbia il CSP (Concentrating Solar Power) era una tecnologia di interesse strategico

nazionale perché poteva essere utilizzata per ridurre la dipendenza energetica dell'Italia dall'estero: nel Sud dell'Italia si sarebbero dovute costruire un primo gruppo di 10 centrali da 50 MWe (2007, durante il secondo governo Prodi). Purtroppo ad oggi quel sogno non si è ancora realizzato, ma rimane la solida realtà di una tecnologia e di una filiera industriale che in taluni casi ha raggiunto livelli d'eccellenza ancora ineguagliati nel resto del mondo.

Per realizzare il GPST Rubbia costituì in ENEA un apposito gruppo di lavoro, composto da circa 100 persone, tra ingegneri, fisici, chimici, tecnici e amministrativi, posto alle sue dirette dipendenze. Fin dall'inizio il progetto è stato caratterizzato da un profondo contatto con l'industria nazionale: una volta disegnato un componente, si andava alla ricerca delle industrie capaci di realizzarlo, per poi sollecitarle alla produzione di prototipi. Tali prototipi erano quindi caratterizzati in ENEA, innescando in molti casi un circuito pubblico-privato di ricerca e sviluppo del componente.

Tra le quattro tipologie di impianto, dish, torre, Fresnel-lineare e parabolico-lineare [7], fu scelta l'ultima, sia perché più matura (e quindi finanziabile), sia per il minore impatto visivo. La tecnologia italiana nasce adottando diverse soluzioni innovative che la hanno contraddistinta fin dall'inizio: 1) l'utilizzo di sali-fusi come fluido termo-vettore in collettori parabolici lineari, con l'innalzamento della temperatura massima a 550 °C al fine di aumentare l'efficienza termodinamica del ciclo di conversione e introdurre un sistema di accumulo termico a basso costo; 2) lo sviluppo di un rivestimento ottico per il ricevitore resistente a 580 °C, fortemente assorbente nella regione VIS-NIR e basso emissivo in quella IR per ridurre le perdite per irraggiamento, 3) specchi a vetro sottile (meno di 1 mm di spessore, per innalzare la riflettanza solare) accoppiati ad dorso rigido che conferisce la forma parabolica-lineare; 4) semplificazione della struttura meccanica del collettore mediante l'introduzione del tubo di torsione da cui dipartono le centine, collegate da correnti su cui sono installati i pannelli riflettenti. Negli anni successivi tutte queste idee sono state riprese da diversi operatori del settore.



Fig. 3 - Impianto Prova Collettori Solari (PCS) dell'ENEA-Casaccia

Allo scopo di sviluppare e testare tutta la tecnologia necessaria, poco distante dal vecchio impianto a torre CTSTF, nel 2003 è stato realizzato l'impianto Prova Collettori Solari (PCS) [8] mostrato in Fig. 3. E' costituito da 2 collettori, ognuno composto da 4 moduli lunghi 12 m e apertura 6 m circa. Il PCS costituisce tutt'oggi una importante infrastruttura finalizzata a sperimentare l'impiego dei sali fusi come fluido termo-vettore in collettori

parabolici lineari, nonché alla prova di tutti i componenti annessi. Lo sviluppo della tecnologia ENEA è descritto in [9].

Il GPST è culminato il 15 Luglio 2010 con l'inaugurazione del primo prototipo a scala ridotta di centrale a sali fusi in collettori parabolici lineari al mondo: il modulo da 5MWe annesso alla centrale ENEL Archimede di Priolo Gargallo (Siracusa), costruito interamente con tecnologia Italiana (Fig. 4) [10-12].



Fig. 4 – Impianto ENEL Archimede di Priolo Gargallo (Siracusa)

Il GPST è da considerarsi un esempio di successo in cui un Ente di Ricerca pubblico, finanziato dallo Stato, sviluppa una tecnologia di punta, trasferendola ad imprese nazionali, rendendole competitive nel mercato internazionale. Gli elementi fondamentali che hanno portato a tale successo sono sostanzialmente tre: 1) la chiarezza dell'obiettivo da conseguire; 2) l'adeguato finanziamento (nel caso specifico pubblico); 3) il riconoscimento del valore strategico della tecnologia in corso di sviluppo da parte dello Stato. La miscela di questi tre elementi nella fase iniziale è stata talmente potente da consentire la prosecuzione del progetto anche una volta venuti meno gli ultimi due elementi: nel 2005 finisce il finanziamento diretto dello Stato e il Prof. Rubbia rimette l'incarico per divergenze insanabili con il mutato quadro politico. Tant'è che il documento di Strategia Energetica Nazionale del 2013 [13] (tuttora in vigore), menziona il CSP solo nella legenda di una figura. A livello internazionale le imprese Italiane coinvolte in questa tecnologia si sono così trovate orfane dell'appoggio governativo e senza prospettive di sviluppo nazionale. Ciononostante alcune di loro hanno recentemente ottenuto importanti commesse per un impianto da 50 MW in Cina che sarà a tutti gli effetti la prima centrale commerciale operante con tecnologia a sali fusi nata in ENEA. Nel frattempo anche le linee tecnologiche sul CSP si sono evolute e diversificate. Le prospettive attuali di impiego in campo nazionale sono descritte in [14].

3. Panoramica delle linee di ricerca ENEA nel solare a concentrazione

Il mutato interesse del Governo nei confronti del CSP si è tradotto nel progressivo ridimensionamento del gruppo ENEA dedicato al solare a concentrazione (attualmente circa 40 persone tra ricercatori, tecnici e amministrativi), nella mancanza di linee di ricerca di valenza strategica nazionale, e nella drastica riduzione dei finanziamenti.

Quindi negli anni a seguire il GPST, fino ai giorni nostri, la sopravvivenza delle attività di ricerca ENEA in questo settore è stata essenzialmente assicurata dalla partecipazione a numerosi Progetti Europei; quelli in essere sono riepilogati in Tab. 1.

A livello nazionale è emblematico il recente mancato finanziamento da parte del MISE della seconda e terza annualità del progetto “Solare termodinamico a concentrazione ad alta temperatura” nell’ambito dell’accordo di programma nel triennio 2015-2017. Il progetto si proponeva di realizzare in impianto Fresnel Lineare a sali fusi con accumulo termico; impianto che non verrà realizzato a meno di ripensamenti dell’ultimo minuto.

Invece un timido segnale positivo si trova nel recente Decreto Ministeriale del 23 Giugno 2016 che prevede incentivi agli impianti solari termodinamici per un contingente di potenza complessivo di 120 MW.

Tab. 1 - Progetti Europei in corso d’essere in cui è coinvolta la Divisione Solare Termico e Termodinamico

Progetto	Rif.	Scopo
COMETHY	[15]	Sviluppo di tecnologie per la produzione di idrogeno mediante reforming alimentato da energia solare
EU-SOLARIS	[16]	Creare una rete Europea di Infrastrutture di Ricerca per Concentrating Solar Termal e Solar Chemistry
HYSOL	[17]	Studio di configurazioni innovative per la ibridizzazione di impianti solari con biomassa
IN-POWER	[18]	Sviluppo di nuovi componenti/materiali per impianti CSP
MATS	[19]	Realizzazione impianto dimostrativo in Egitto secondo la tecnologia sviluppata da ENEA nel GPST, ma per la produzione distribuita di calore ed elettricità
OMSOP	[20]	Realizzazione micro-turbina a gas e test su dish
ORC-PLUS	[21]	Definizione di sistemi innovativi per Thermal Energy Storage con realizzazione di due prototipi ed un impianto pilota in Marocco
RESLAG	[22]	Riciclo scorie acciaieria come materiale a basso costo per Thermal Energy Storage per CSP
SFERA II	[23]	Rinforzare la collaborazione tra istituti di ricerca e offrire l’accesso alle migliori installazioni CSP per ricercatori e industria. Sviluppo di fluidi termo-vetri innovativi
SOL2HY2	[24]	Studio processo zolfo-ibrido per produzione solare H ₂ da acqua
STAGE-STE	[25]	Rinforzare la collaborazione tra centri di ricerca EU attraverso attività comuni aperte alle imprese
STS MED	[26]	Sviluppo piccoli impianti solari a concentrazione integrabili in contesti urbani per la produzione distribuita di calore ed elettricità
NESTER	[27]	Favorire la crescita delle competenze STE del Cyprus Institute

4. Rapporti con l'esterno

Superando una notevole diffidenza iniziale, il gruppo ENEA ha conquistato riconoscimento e stima a livello internazionale ed oggi è fortemente coinvolto e radicato in molte attività internazionali. Più precisamente, esperti ENEA stanno attivamente partecipando alla stesura delle linee guide nei Task di SOLARPACES [28] nonché alla definizione della normativa per impianti STE nell'ambito IEC/TC117.

Inoltre ENEA è membro della organizzazione EERA che si prefigge di coordinare le ricerche nel campo energetico per una Europa low carbon [29].

Secondo statuto, oltre alle attività di ricerca ENEA svolge attività di Agenzia, a supporto della Pubblica Amministrazione centrale e locale, delle imprese e dei cittadini. La Divisione Solare offre consulenza e assistenza alle imprese che ne fanno richiesta. Spesso, il rapporto si formalizza in contratti di collaborazione che definiscono lo scopo, i rispettivi ruoli e il trattamento del know-how acquisito. Al momento sono in essere più di 20 contratti di collaborazione.

5. Servizi di qualifica ottica

Nel corso degli anni ENEA ha predisposto dei sistemi di misura, talvolta innovativi, per componenti e sistemi CSP usufruibili anche da attori esterni. Limitandosi al campo dell'Ottica, tema del convegno di Brescia, in quanto segue si riporta una breve descrizione dei più significativi.

5.1 Misurare la riflettanza solare: SMQ

Per calcolare la riflettanza solare è necessario misurare lo spettro di riflettanza nell'intervallo di emissione solare (circa 300-2500 nm, vedi Fig. 5) per poi mediarlo sullo spettro di emissione stesso. Sebbene questo compito possa apparire semplice, a tutt'oggi non è codificato da una normativa internazionale. Nell'ambito del Task III di SolarPACES un gruppo di esperti (tra cui ENEA) sta scrivendo le linee guida [30], coadiuvato dall'attività sperimentale svolta da alcuni dei più importanti laboratori (CEA, CENER, CIEMAT, ENEA, DLR, ISE) su un gruppo di campioni rappresentativi della produzione industriale. La difficoltà maggiore proviene dalla peculiarità della riflettanza di interesse per il CSP: come mostrato in Fig. 6, la sorgente (il Sole) è estesa, sicché la radiazione incidente è divergente ($2\varphi_s = 9.7$ mrad in condizioni di cielo sereno); lo specchio può aumentare ulteriormente la divergenza della radiazione riflessa per scattering di superficie; in ogni caso il ricevitore può catturare solo la radiazione riflessa all'interno dell'angolo di visuale sotteso dal punto di riflessione ($2\varphi_R$).

Attualmente non esistono strumenti commerciali capaci di siffatta misura, pertanto i laboratori stanno approntando degli apparati sperimentali ad hoc; la Fig. 7 mostra lo schema del Solar Mirror Qualification set-up (SMQ) [31] proposto da ENEA, capace di misurare la riflettanza emisferica, quasi-speculare con φ_R tra 3 e 20 mrad, e diffusa oltre

20 mrad a tre lunghezza d'onda nel visibile. Brevemente, il fascio laser (divergenza minore di 1 mrad) di uno dei tre diodi-laser è inviato sul campione. Nella configurazione superiore il riflesso è analizzato mediante la sfera integratrice IS1 per diversi valori del semi-angolo di accettazione φ_R (tra 3-20 mrad); nel contempo mediante IS2 è misurata la radiazione diffusa oltre 20 mrad. Nella configurazione inferiore, a parità di condizioni, si misura la riflettanza emisferica. Sulla base dei valori così misurati e dello spettro della riflettanza emisferica (misurato con uno spettrofotometro commerciale equipaggiato con sfera integratrice), è possibile stimare l'andamento della riflettanza solare in funzione dell'angolo di incidenza e dell'angolo di accettazione del ricevitore.

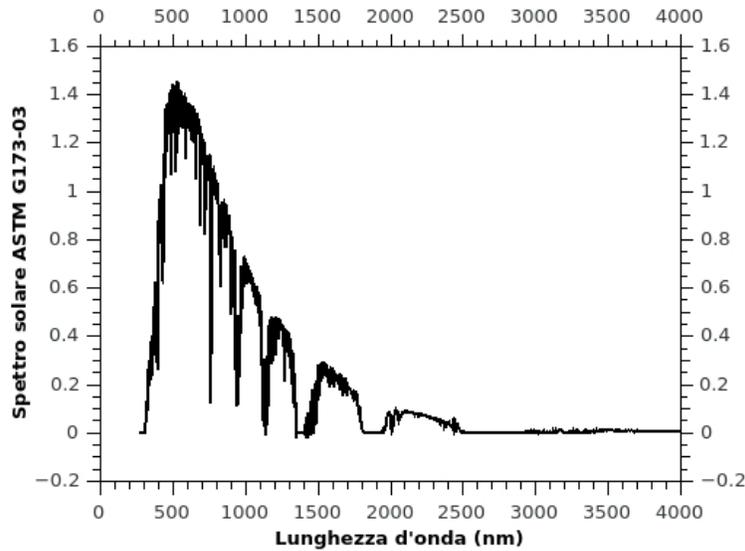


Fig. 5 - Spettro di emissione solare secondo la normativa ASTM G173-03.

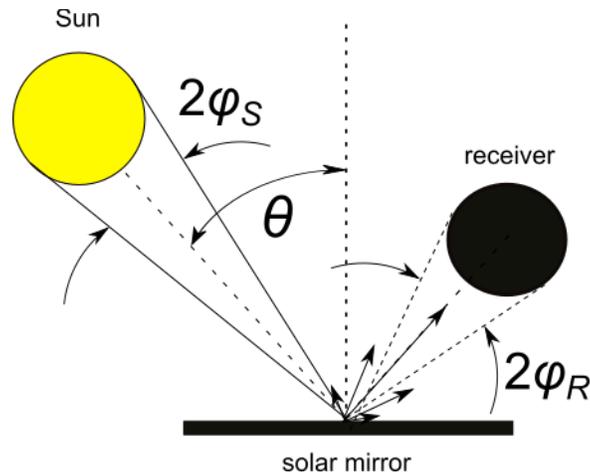


Fig. 6 - Nelle applicazioni CSP lo specchio è utilizzato per riflettere la radiazione solare sul ricevitore. La frazione intercettata dipende dagli angoli di divergenza solare $2\varphi_S$ e di visuale del ricevitore $2\varphi_R$ che è sotteso dal punto di riflessione.

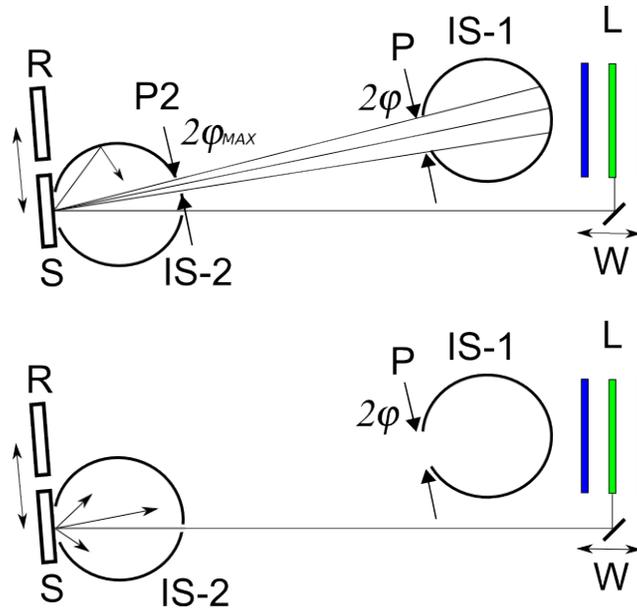


Fig. 7 - Schema del Solar Mirror Qualification set-up sviluppato da ENEA.

5.2 Misurare la forma: VISprofile

Sebbene in linea di principio la forma di un pannello riflettente possa essere misurata con un tastatore meccanico, nella realtà, per convenienza economica e di tempo di misura, si utilizzano sempre metodi ottici, quali fotogrammetria, scansione laser, e deflettometria.

Recentemente ENEA ha introdotto il Sistema di Ispezione Visiva (VIS) [32], sviluppando una famiglia composta di strumenti. La metodologia VIS si basa sull'idea di osservare da uno o più punti nel campo vicino, uno o più sorgenti luminose poste nei dintorni del fuoco nominale dello specchio. La Fig. 8 mostra lo schema del VISprofile [33], strumento per la misura della forma in laboratorio/ambiente industriale di pannelli per il CSP parabolico-lineare: una serie di sorgenti puntuali sono allineate lungo la linea focale nominale della parabola; una camera installata su un binario motorizzato acquisisce immagini in corrispondenza di diversi valori dell'ascissa della parabola. Conoscendo le posizioni i) di ogni sorgente puntuale, ii) delle loro rispettive immagini osservate dalla camera sulla superficie del pannello e iii) della camera stessa, è possibile desumere il versore normale alla superficie; integrando opportunamente si ricostruisce la forma 3D del pannello; infine mediante simulazione (ray-tracing) è possibile stimare l'efficienza di concentrazione del pannello. La bontà del pannello è espressa da una serie di parametri, tra cui lo scostamento dalla forma parabolica di riferimento in termini di quota e arcotangente della superficie, nonché dal fattore di intercettazione, ossia la frazione dei raggi riflessi intercettata geometricamente dal ricevitore.

ENEA ha firmato un accordo di collaborazione con la MARPOSS al fine di commercializzare gli strumenti VIS.

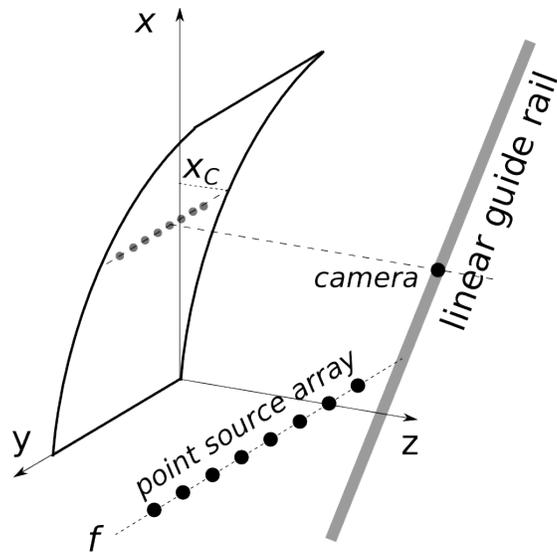


Fig. 8 - Schema ottico del VISprofile, lo strumento per misurare la forma dei pannelli parabolici-lineari in laboratorio/ambiente_di_produzione sviluppato da ENEA.

5.3 Misurare l'allineamento in campo: VISfield e VISfly

Il giusto problema da porsi in campo, di fronte ad un collettore parabolico-lineare, non è quale sia la forma di ogni singolo pannello, bensì qual'è lo stato del mutuo allineamento di parabola-lineare e tubo ricevitore. Il concentratore lineare è costituito da collettori a loro volta composti tipicamente da moduli larghi 12 m, con apertura della parabola di 6 m circa.

In campo la metodologia VIS è applicata utilizzando come “sorgente” lo stesso tubo ricevitore; lo schema ottico del VISfield [34] è mostrato in Fig. 9. In sostanza il fattore di intercettazione è desunto dalla sovrapposizione tra l'immagine del tubo ricevitore e la zona attesa dello spot solare (Fig. 10). La Fig. 11 mostra il carrello VISfield commercializzato dalla MARPOSS: il carrello va posizionato centralmente al modulo in esame, a circa 7 m di distanza; quindi si abbassano gli stabilizzatori e si mette in bolla. Alla camera è abbinata una livella laser che consente di portare con precisione la camera alla quota dell'asse di rotazione del modulo. Orientando il modulo verso l'orizzonte è possibile verificare la correttezza dell'angolo di offset ed eventualmente correggerlo. Quindi si scansiona il modulo ottenendo sia la mappa del fattore di intercettazione (Fig. 12) che indicazioni puntuali su come migliorare l'allineamento di ogni singolo pannello. Infine, se non ci sono margini di miglioramento, la mappa del fattore di intercettazione rappresenta il controllo finale della bontà della forma di ogni singolo pannello in termini di funzionalità. I pannelli difettosi dovranno essere sostituiti con altri più conformi alle specifiche.

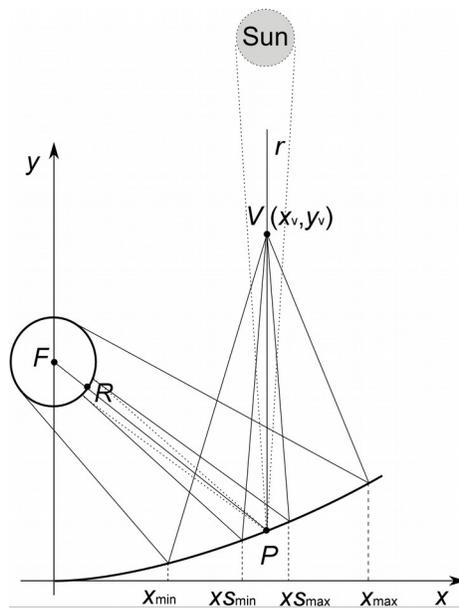


Fig. 9 - Schema ottico del VISfield, lo strumento per la verifica in campo dello stato di mutuo allineamento di parabola-lineare e ricevitore

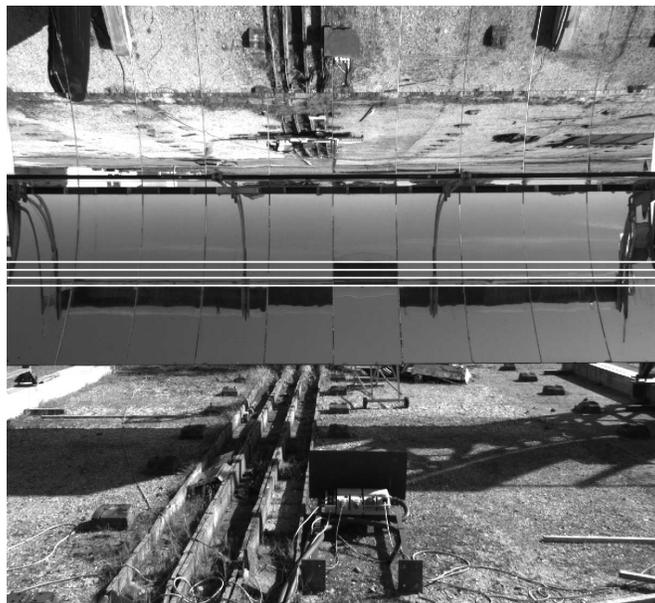


Fig. 10 - Valutazione del fattore di intercettazione in una delle immagini acquisite con il VISfield

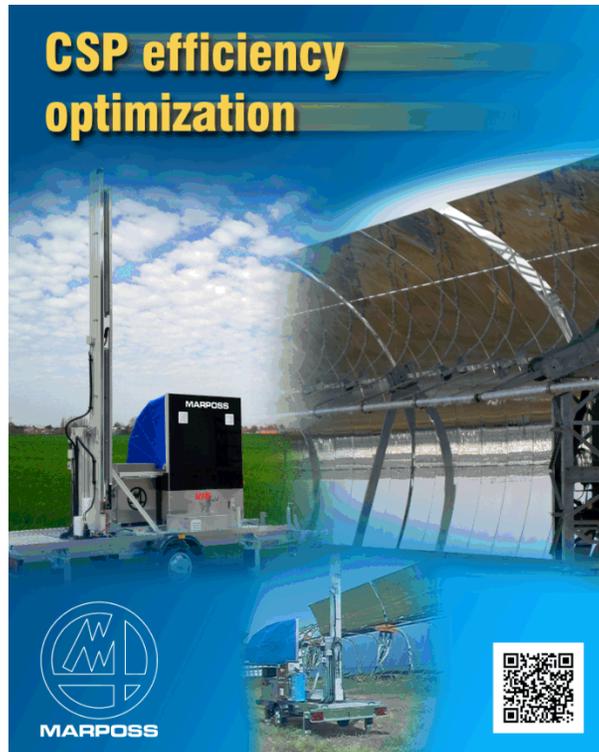


Fig. 11 - Locandina pubblicitaria del VISfield commercializzato da MARPOSS su licenza ENEA

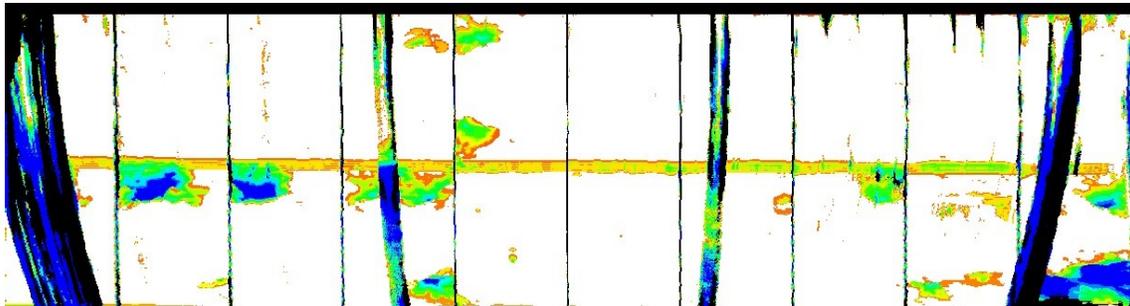


Fig. 12 - Mappa del fattore di intercettazione ottenuta con il VISfield di un semi-modulo dell'impianto PCS della Casaccia

Il limite principale del VISfield è il tempo di misura complessivo: tra posizionamento, allineamento e misura, occorrono circa 30 minuti/modulo (senza apportare modifiche al modulo). Pertanto il VISfield è uno strumento assai utile durante l'installazione dell'impianto, ma non adatto alla verifica periodica dello stesso, poiché un campo solare di norma è composto da migliaia di moduli.

Per ovviare a questo limite, in collaborazione con un operatore esperto di droni (Cloud-Cam by Nuovi Sistemi) e della MARPOSS, si sta sperimentando la versione volante denominata VISfly, ossia un drone equipaggiato con una camera nel visibile per la verifica di allineamento sopra descritta. Inoltre, per massimizzare il rapporto

benefici/costi il drone è anche munito di termo-camera per il controllo dello stato di vuoto dei tubi ricevitori (i tubi che hanno perso il vuoto appaiono più caldi degli altri). Il VISfly è meno accurato del VISfield, ma fornisce un quadro complessivo dello stato del campo solare, localizzando e valutando i moduli più carenti. Successivamente il VISfield può essere utilizzato in maniera mirata sui moduli più carenti.

Il problema principale del trasporto della metodologia VIS su drone è la determinazione della posizione e dell'assetto del drone. La tecnologia nel settore è in tumultuoso sviluppo e stanno comparando sul mercato i primi dispositivi elettronici Differential Global Position System e Real Time Kinematic imbarcabili su drone. Nel frattempo si stanno ottenendo dei risultati assai interessanti utilizzando la fotogrammetria su un esiguo numero di target, disposti nei punti cospicui di ogni modulo (Fig.13).

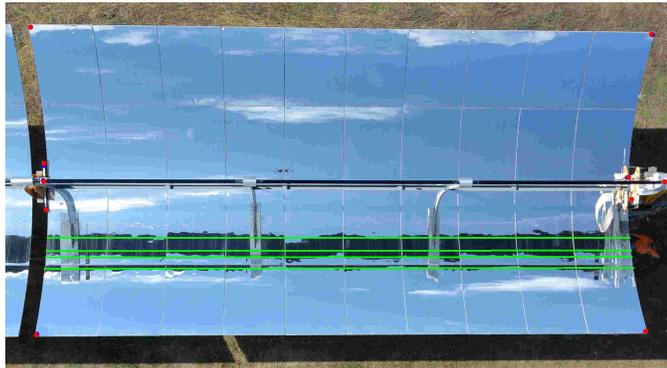


Fig. 13 - Valutazione del fattore di intercettazione per una immagine aerea ripresa dal VISfly

5.4 Allineare e caratterizzare un dish: VISdish

Come detto nell'introduzione, l'ENEA con il GPST ha studiato la tipologia CSP parabolico-lineare. Pertanto la maggior parte degli strumenti di misura finora sviluppati sono adatti a questa tipologia di impianto; tuttavia la metodologia VIS può essere applicata anche alle altre. Un esempio ne è il VISdish in corso di sperimentazione sul dish recentemente installato in ENEA Casaccia nell'ambito del progetto Europeo OMSoP [20]. Il fine del progetto è di sperimentare l'utilizzo di una micro-turbina a gas al posto dell'usuale motore Stirling, posizionato assieme al ricevitore nel fuoco del dish.

Come mostrato in Fig. 14 nel VISdish la “sorgente” è costituita da uno schermo TV LCD da 50' posizionato nei pressi del punto focale. L'osservatore V è in posizione fissa, lungo l'asse del paraboloide a qualche decina di metri dal vertice del dish. Lo strumento ha una doppia funzionalità: 1) allineamento dei pannelli e infine 2) misura della forma 3D del paraboloide. Nel primo caso lo schermo LCD visualizza un singolo disco bianco (S) su fondo nero, posizionato in modo tale che l'osservatore veda l'immagine di S riflessa in corrispondenza del centro del pannello in esame (P), assumendo che questo sia correttamente allineato secondo la superficie del paraboloide ideale. In caso contrario si dovrà agire sui punti di aggancio del pannello in modo da allinearli per realizzare la condizione summenzionata.

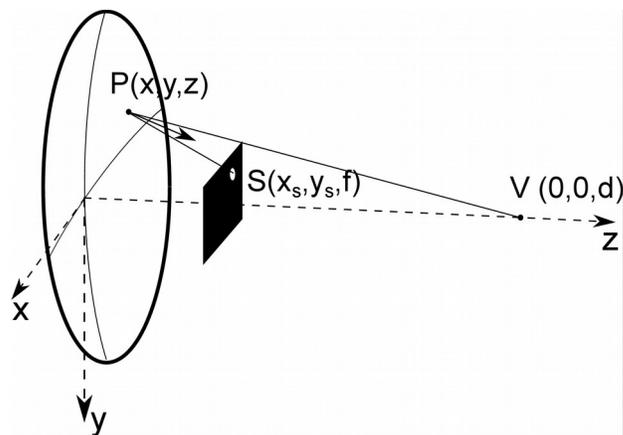


Fig. 14 - Schema ottico del VISdish, lo strumento per la caratterizzazione ottico-geometrica in campo di un dish

Una volta che tutti i pannelli siano stati registrati, lo strumento opera nella seconda modalità: il disco bianco S è via via visualizzato in tutti i quadranti di una scacchiera ideale in cui lo schermo LCD è stato suddiviso, acquisendo di volta in volta l'immagine del dish e calcolando la normale alla superficie del paraboloide in tutti i punti P dove è riflessa l'immagine di S. Aggiustando la dimensione del disco S e il passo della scacchiera sullo schermo è possibile campionare la normale alla superficie del dish in modo sufficientemente fitto da poter misurare il versore normale alla superficie da cui volendo si può ricostruire la forma in 3D. La Fig. 15 mostra la mappa della deviazione angolare dalla normale ideale.

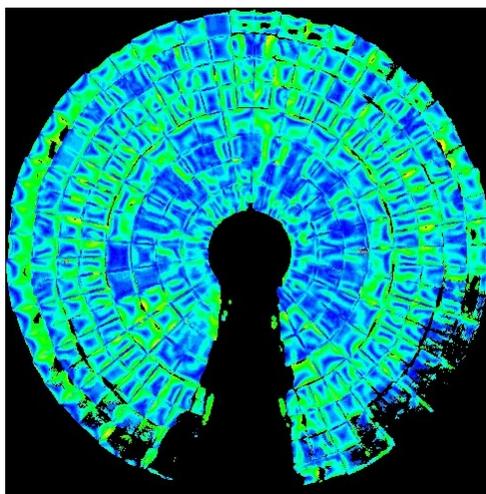


Fig. 15 – Mappa della deviazione angolare del versore normale alla superficie rispetto alla normale ideale

Sulla base dei dati sperimentali di riflettanza e di forma (pendenza) del dish, mediante il software di simulazione SIMULDISH è possibile valutare sia la posizione ottimale della finestra del ricevitore che la distribuzione dell'intensità della radiazione solare concentrata incidente (vedi Fig. 16). Questa valutazione può essere confrontata con i risultati sperimentali della misura del flusso ottenuta misurando il bagliore della

radiazione solare concentrata diffusa da una lastra di rame raffreddata, rivestita di allumina, posta nel fuoco. Quest'ultimo strumento denominato FluxMapper è mostrato in Fig 17.

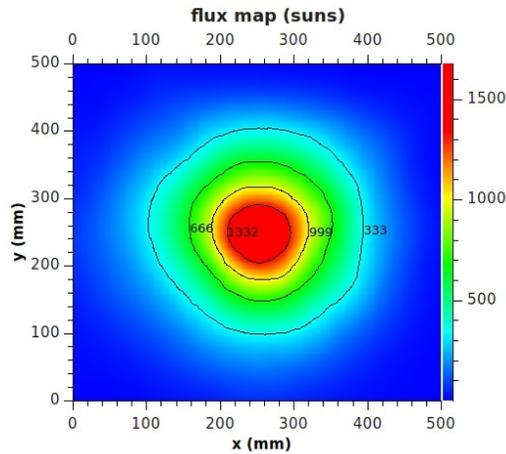


Fig. 16 – Mappa del flusso di radiazione calcolato mediante SIMULDISH utilizzando i valori sperimentali di riflettanza e di forma del dish



Fig. 17 – FluxMapper installato sul dish OMSoP

6. Conclusioni

Il GPST è da considerarsi un esempio di successo in cui un Ente di Ricerca pubblico, qual'è l'ENEA, finanziato dallo Stato, sviluppa una tecnologia di punta, trasferendola ad imprese nazionali, rendendole competitive nel mercato internazionale. Il progetto culmina il 15 Luglio 2010 con l'inaugurazione del primo modulo dimostrativo al mondo per una centrale solare a sali fusi circolanti in collettori parabolici lineari, ma già da alcuni anni prima e fino ai giorni nostri la tecnologia CSP non è stata più considerata strategica dal Governo Italiano e di fatto è esclusa dal piano SEN 2013 tuttora vigente. Diversamente da quanto accade per altri Paesi della UE, l'industria Italiana non ha potuto contare sul pieno appoggio dell'autorità nazionale a discapito della capacità di affermarsi nel mercato internazionale. La tecnologia CSP infatti, come dimostrato dal grande sforzo

profuso dal governo tedesco, che investe 12 milioni di euro l'anno in R&S, ha una grande valenza per l'esportazione e la collaborazione internazionale con i Paesi della sponda Sud del Mediterraneo.

In questi anni il gruppo Solare Termico e Termodinamico dell'ENEA ha potuto proseguire l'attività di ricerca e supporto all'industria essenzialmente partecipando a numerosi Progetti Europei. In questo modo è però venuta meno la "coerenza" del complesso delle attività di ricerca svolte che, unita alla progressiva contrazione della popolosità del gruppo, comporta la drastica riduzione della incisività. Sarebbe pertanto opportuno impegnare tempo e risorse per identificare nuovi obiettivi di valenza strategica, ossia tipologia e taglia degli impianti CSP più promettenti nel contesto Italiano; il risultato andrebbe quindi posto all'attenzione degli organi decisionali dello Stato richiedendo il finanziamento della ricerca necessaria al conseguimento degli obiettivi delineati. Questo processo potrebbe essere arricchito coinvolgendo anche gli attori industriali Italiani del CSP.

Bibliografia

- [1] Storia del Centro ENEA Casaccia, <http://www.enea.it/it/centro-ricerche-casaccia/storia-del-centro>
- [2] C. Silvi, The pioneering work on linear Fresnel reflector concentrators (LFCs) in Italy, Atti congresso SolarPACES2009, Berlin, Germany 15-18 September 2009.
- [3] C. Silvi, Storia del vapore e dell'elettricità dal calore del Sole con specchi piani o quasi piani: possibilità esplorate dagli scienziati Italiani sin dall'Ottocento, Energia Ambiente e Innovazione 2 (2010) 34-47
- [4] Bevilacqua, Gislon, "Generatore elettrico solare a conversione diretta", Brevetto 49677A/78, 1978
- [5] C. Silvi, "Eurelios fu un abbaglio?", Sapere Giugno 2011, pagg. 36-45
- [6] Vedasi ad esempio la proposta di e-solar, <http://www.esolar.com/> e di Magaldi, <http://www.magaldi.com/en/products-solutions/csp-concentrating-solar-power>
- [7] Solare termodinamico, le tecnologie disponibili, <http://www.enea.it/it/comunicare-la-ricerca/le-parole-dellenergia/solare-termodinamico/tecnologie-disponibili>
- [8] Impianto di prova PCS dell'ENEA, <http://www.enea.it/it/comunicare-la-ricerca/le-parole-dellenergia/solare-termodinamico/le-ricerche-enea-1/impianto-di-prova-pcs-dellenea>
- [9] Il Programma ENEA sull'energia solare a concentrazione ad alta temperatura - Serie Rapporti del Grande Progetto Solare Termodinamico - ENEA/SOL/RS/2005/22 – 2005. A cura di M. Falchetta, con i contributi di: A. Antonaia, M. Caffarelli, T. Crescenzi, A. De

Luca, A. Fontanella, F. Fabrizi, M.G. Giannuzzi, A. Maccari, D. Mazzei, E. Metelli, P. Monaci, M. Montecchi, D. Prischich, L. Rinaldi, P. Tarquini, M. Vignolini
http://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/Ri_Td_Te_ENEA_csp_2005.pdf

[10] Impianto Archimede, <http://www.enea.it/it/comunicare-la-ricerca/le-parole-dellenergia/solare-termodinamico/impianto-archimede>

[11] M. Falchetta, T. Crescenzi, D. Mazzei, L. Merlo - Design of the Archimede 5 MW molten salt parabolic trough solar plant – Proc. of Solarpaces2009 Conference, 15-18 September 2009, Berlin, ISBN: 978-3-00-028755-8

[12] M. Falchetta, G. Liberati, D. Consoli, S. Malloggi, D. Mazzei, T. Crescenzi – Commissioning of the Archimede 5 MW molten salt parabolic trough solar plant – proc. SolarPACES 2010 conference – 21-24 September 2010 – Perpignan

[13] Strategia Energetica Nazionale: per un'energia più competitiva e sostenibile, http://www.sviluppoeconomico.gov.it/images/stories/normativa/20130314_Strategia_Energetica_Nazionale.pdf

[14] T. Crescenzi, M. Falchetta, A. Fontanella, E. Metelli, A. Miliozzi, F. Spinelli, L. Sipione – Opportunità di applicazione delle tecnologie solari termodinamiche in Italia – ENEA 2016 – ISBN: 978-88-8286-355-7, <http://www.solaritaly.enea.it/Documentazione/Documentazione.php>

[15] COMETHY project, referente ENEA A. Giaconia, <http://www.comethy.enea.it/>

[16] EU SOLARIS project, referente ENEA S. De Juliis, <http://www.eusolaris.eu/>

[17] HYSOL project, referente ENEA A. Giaconia, <http://www.eusolaris.eu/>

[18] IN-POWER project, referente ENEA W. Gaggioli

[19] MATS project, referente ENEA A. Giaconia, <http://www.mats.enea.it/>

[20] OMSOP project, referente ENEA M. Lanchi, <https://omsop.serverdata.net/Pages/Home.aspx>

[21] ORC-PLUS project, referente ENEA W. Gaggioli, <http://www.orc-plus.eu/>

[22] RESLAG project, referente ENEA W. Gaggioli, <http://www.reslag.eu/>

[23] SFERA II project, referente ENEA W. Gaggioli, <http://sfera2.sollab.eu/>

[24] SOL2HY2 project, referente ENEA L. Turchetti, <https://sol2hy2.eucoord.com/>
R. Liberatore et al., Hydrogen production by the solar-powered hybrid sulphur process: analysis of the integration of the CSP and chemical plants in selected scenarios, AIP conference proceedings (2015), Engineering Transaction 43 (2015)

- [25] STAGE-STE project, referente ENEA W. Gaggioli, <http://www.stage-ste.eu/>
- [26] STS-MED project, referente ENEA A. Giaconia, <http://www.stsmed.eu/>
- [27] NESTER project, referente ENEA L. Turchetti,
<http://www.cyi.ac.cy/index.php/eewrc/research-information/ongoing-research-projects/nester.html>
- [28] SolarPACES international network, <http://www.solarpaces.org/>
- [29] European Energy Research Alliance, <http://www.eera-set.eu/>
- [30] Sito SolarPACES, “Reflectance guidelines”, <http://www.solarpaces.org/tasks/task-iii-solar-technology-and-advanced-applications/reflectance-measurement-guideline>
- [31] M. Montecchi (2014), “Upgrading of ENEA Solar Mirror Qualification Set-up”, Energy Procedia (2014) 49 2154-2161.
- [32] M. Montecchi, Metodo e Sistema di Ispezione Visiva per il Controllo di Qualità della Forma di Riflettori Concentratori. Brevetto Italiano N. 1388769, depositato il 3 Marzo 2008, N. domanda RM2008A000151.
- [33] M. Montecchi, A. Benedetti, G. Cara (2011), “Fast 3D optical-profilometer for the shape-accuracy control of parabolic-trough facets”, in Proceedings of 17th SolarPACES Conference, September 20-23 2011 Granada (Spain).
<http://www.solarpaces2011.org/cms/>
- [34] M. Montecchi, A. Benedetti, G. Cara (2010), “Optical alignment of parabolic trough modules”, in Proceedings of 16th SolarPACES Conference, September 21-24 2010 Perpignan (France). <http://www.solarpaces.org/index.php/2013-09-19-07-40-05/16th-solarpaces-conference-21-24-september-2010-perpignan-france>