

## PROGETTAZIONE E SVILUPPO COLLETTORE PV-T A CONCENTRAZIONE CON GRUPPO DI CONTINUITÀ A FUEL-CELL

Gabriele Chiani<sup>1</sup>, Nicola De Leo<sup>1</sup>, Maurizio De Lucia<sup>1</sup>, Paolo Giovannetti<sup>1</sup>, Christian Paolo Mengoni<sup>1</sup>, Matteo Messeri<sup>1</sup>, Stefano Toccafondi<sup>1</sup>, Franco Francini<sup>2</sup>, Alessandra Giannuzzi<sup>2</sup>; Claudio Bianchini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Energetica “Sergio Stecco”

Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Ingegneria; via di S. Marta 3, Firenze

Mail: [delucia@unifi.it](mailto:delucia@unifi.it)

<sup>2</sup>INO-CNR Istituto Nazionale di Ottica, Largo Enrico Fermi 6, Firenze

<sup>3</sup>ICCOM-CNR Istituto di Chimica dei Composti Organo-Metallici, via M. del Piano Sesto Fiorentino (Fi)

### SOMMARIO

Lo sviluppo tecnologico dei materiali PV e le politiche incentivanti hanno favorito concretamente la diffusione degli impianti fotovoltaici ed una conseguente riduzione dei costi di impianto compiendo però solo parzialmente il cammino verso la sostenibilità economica.

Peraltro, aspetti relativi all'EPBT degli attuali sistemi PV piani, denotano la necessità di ulteriori sviluppi alla ricerca di maggiore efficienza elettrica per unità di superficie PV; mentre considerazioni sulla producibilità energetica degli impianti, diffusi grazie alle politiche incentivanti, denotano l'opportunità nello sviluppo di impianti poligenerativi dotati di efficienza globale tale da ridurre i costi del kWh prodotto, senza sostegno pubblico.

Risposte interessanti a queste problematiche si hanno ricorrendo a sistemi a concentrazione che permettono una sensibile riduzione della superficie fotovoltaica attiva e un aumento dell'efficienza di conversione. Parallelamente il recupero del calore smaltito dalle celle PV porta alla realizzazione di una cogenerazione statica (PVT), opportuna nel caso di sistemi ad alto rapporto di concentrazione. Il risultato è quello di realizzare sistemi con elevata efficienza globale valorizzando i cascami termici e favorendo l'efficienza di conversione PV. La potenziale riduzione del costo del kWh prodotto, sia termico che elettrico, apre ad ampi spazi di sviluppo anche in caso di scenari agevolativi meno favorevoli.

Presso il Dipartimento di Energetica di Firenze, è in corso il progetto di ricerca CESARE, finanziato dalla regione Toscana, finalizzato allo sviluppo di sistemi fotovoltaici a concentrazione con recupero termico del calore (CPVT). L'obiettivo è quello di fornire una risposta alle piccole utenze residenziali (2-3 kW elettrici), in cui generalmente l'energia termica consumata è circa 8 volte quella elettrica. Il progetto prevede la partecipazione di centri di ricerca del CNR per la progettazione ottica del collettore e per la realizzazione di un accumulo energetico, sotto forma di H<sub>2</sub>, grazie all'integrazione di un processo di elettrolisi di etanolo per l'alimentazione di una PEMFC.

### INTRODUZIONE

Il collettore solare ibrido CPVT per applicazioni di cogenerazione statica, in corso di sviluppo presso il Dipartimento di Energetica di Firenze, è un sistema a concentrazione parabolico lineare sulla cui linea focale è disposto un array di celle PV per la generazione elettrica. Tale apparato PV è dotato di un sistema di raffreddamento ottimizzato per recuperare la radiazione concentrata non convertita in elettricità dalle celle e smaltita sotto forma di calore. Tale calore può essere impiegato per la produzione di acqua per DWH/SH o di trigenerazione mediante la combinazione con chiller ad assorbimento per applicazioni di SHC.

Il sistema sviluppato, schematizzato in Figura 1, è composto da una struttura che sostiene 8 riflettori parabolici lineare movimentata su 2 assi. Il sistema è caratterizzato da un rapporto di concentrazione ottico massimo di 140X e prevede l'impiego di celle MJ (III-V) con rendimenti elettrici dell'ordine del 25-28% (a 75 soli, 25°C). Il sistema completo è concepito per essere gestito anche in configurazione “in isola” ed eroga circa 2,4 kWe e poco meno di 7kWt a 60-90°C, compatibilmente con il comportamento delle celle PV.

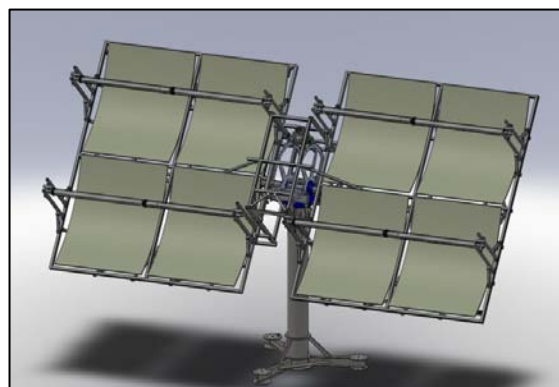


Figura 1: Collettore solare CESARE

Il sistema è completato da un elettrolizzatore per la generazione di H<sub>2</sub>, sviluppato da CNR-ICCOM, a partire da etanolo, alimentato direttamente dal collettore CPVT. L'idrogeno prodotto e accumulato viene utilizzato come combustibile in uno stack PEMFC [1], per il mantenimento dell'erogazione elettrica oltre il periodo diurno assoluto ed in caso di scarso irraggiamento. Nel presente articolo verrà

fornita una breve descrizione del prototipo e le linee guida della progettazione dei singoli sottogruppi del sistema CPVT.

## PROGETTAZIONE OTTICA

Lo schema ottico del sistema è composto da una serie di riflettori primari costituiti da cilindri parabolici con un'area captante di  $15\text{m}^2$  circa suddivisi in 4 blocchi. La lunghezza focale dei concentratori è di poco inferiore a  $1000\text{mm}$  per un fattore di concentrazione ottico di  $140\text{X}$  sul fuoco.

In Figura 2 si può vedere la distribuzione dell'irradianza sulle celle fotovoltaiche per il concentratore del progetto CESARE. Il profilo di irradianza è quello su celle poste nel fuoco del riflettore parabolico con il sistema perfettamente allineato con il disco solare.

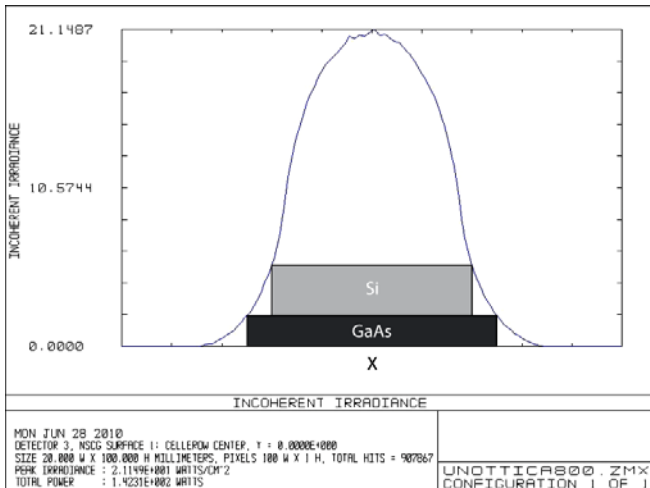


Figura 2: densità di potenza luminosa sulle celle

Una delle questioni critiche, riguardanti le celle fotovoltaiche MJ, è quella dell'uniformità della radiazione luminosa incidente sulle celle. Dalla curva in Figura 2 si vede chiaramente quanto differisca il livello di illuminazione tra il centro ed i bordi delle celle.

Inoltre nel caso di disallineamento, anche minimo del sistema con il sole, dalle simulazioni appare evidente come la curva si sposti rapidamente ben oltre i limiti di accettabilità della cella. La defocalizzazione o l'impiego di ottiche secondarie sono due possibili soluzioni a questi inconvenienti.

Infine critica per la resa ottica del sistema è l'accuratezza dell'inseguimento solare, soprattutto per quanto riguarda l'esatta individuazione della coordinata di elevazione. Grazie all'esperienza maturata nell'ambito del Progetto SALTO, anch'esso sviluppato all'interno del Dipartimento di Energetica dell'Università di Firenze, è stato possibile fare una valutazione della tolleranza agli errori del sistema. Il disallineamento tollerabile trasversalmente dal sistema si attesta nell'intorno di  $\pm 0.5^\circ$ . Oltre tale limite si è visto che si andrebbe incontro a problemi di disuniformità non supportabili dalla MJ finanche all'oscuramento di celle.

Meno critico, anche se da evitare, è il disallineamento longitudinale che comporta l'oscuramento delle sole celle alle estremità delle stringhe. Questa situazione, per quanto non desiderabile è comunque gestibile con diodi di bypass che hanno il compito di garantire il funzionamento delle stringhe anche in caso di oscuramento di alcuni elementi delle stesse.

## PROGETTAZIONE MECCANICA

La combinazione di movimenti implementata sul prototipo determina un sistema d'inseguimento, Altazimutale classico attraverso il quale è possibile analizzare sperimentalmente le problematiche relative all'automazione di servizio ai movimenti d'inseguimento e alle problematiche relative al sistema di controllo. Il collettore solare sviluppato, mostrato in Figura 3, è formato da tre sottogruppi principali dal punto di vista meccanico: Telaio, Motorizzazione e Base Fissa.



Figura 3 Fase di montaggio del prototipo

### Azioni del vento

Il carico variabile che più influenza le prestazioni di un collettore solare a concentrazione è sicuramente quello dovuto all'azione del vento; infatti la sua azione, sulla struttura di sostegno del PTC, può facilmente portare alla defocalizzazione del sistema.

Il punto di partenza per il corretto dimensionamento strutturale è stata la definizione ed il calcolo delle forze agenti sulla struttura, facendo riferimento alle "Azioni sulle strutture" ed in particolare "Azioni del vento" secondo la normativa UNI [2]. Il modello della struttura considerato nella procedura di progettazione è stato concepito come una struttura isolata, che si eleva dal terreno per mezzo di elementi verticali. A tale scopo sono state eseguite delle simulazioni fluidodinamiche, visibili in Figura 4, su concentratori parabolici isolati, per le due condizioni operative di  $14$  e  $28$  m/s, al variare dell'angolo di elevazione, al fine di valutare le forze esercitate dal vento in analogia a quanto riscontrato in letteratura [3] e [4]. Dai risultati delle simulazioni è stato possibile ricavare i modelli di carico utili per il dimensionamento strutturale.

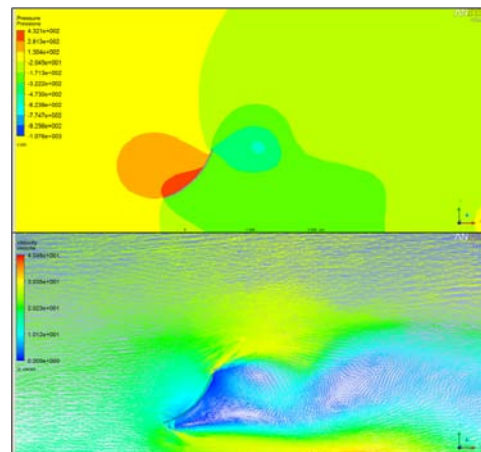


Figura 4: Visualizzazione simulazioni fluidodinamiche

## Telaio

Il telaio di sostegno per i concentratori è stato concepito per accogliere concentratori meglio se autoportanti dal profilo parabolico, in maniera intercambiabile, in modo da poter testare e confrontare nel tempo differenti materiali riflettenti; inoltre sono state disposte ampie regolazioni per quanto riguarda il posizionamento verticale dell'elemento ricevitore in modo da poter utilizzare concentratori con focali differenti. La struttura è stata concepita per sorreggere due file parallele di concentratori parabolici, per una superficie totale di captazione corrispondente a circa  $15\text{m}^2$ . Conseguentemente gli assorbitori risultano posizionati su due assi paralleli, posti in prossimità del fuoco geometrico dei concentratori stessi.

Il layout del telaio infine, tiene conto delle problematiche connesse al sistema di dissipazione termica, dell'impianto elettrico e della motorizzazione ed organi di trasmissione.

Il prototipo del telaio è costituito essenzialmente da una struttura metallica modulare in alluminio particolarmente adatta alle prevedibili modifiche di assetto tipiche dell'attività di sviluppo.

L'analisi di determinate deformazioni e il confronto con le tolleranze di puntamento indicate dallo studio ottico (attività condotta da INO) hanno guidato la progettazione della struttura metallica, conforme alle caratteristiche di rigidità indicate come requisito per il sistema; la Figura 5 mostra la schematizzazione del telaio con le relative simulazioni strutturali.

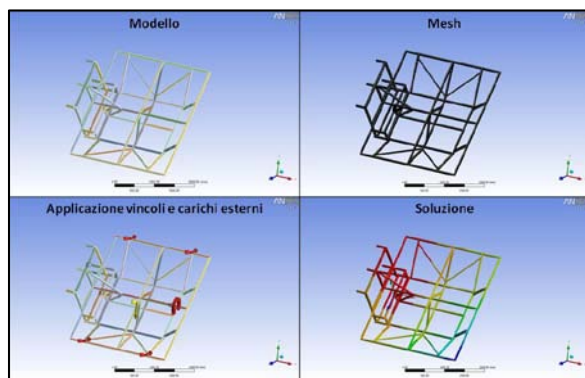


Figura 5: Processo di verifica strutturale

## Motorizzazione e Base fissa

Le superfici di concentrazione e gli assorbitori ibridi PVT sono applicati rigidamente al *telaio*. Questo ruota rispetto alla base fissa, intorno ad un asse verticale, per consentire un arco di utilizzo giornaliero di almeno  $240^\circ$  totali, mentre l'inseguimento del moto di zenit deve garantire un angolo di funzionamento di circa  $90^\circ$ ; queste quantità derivano da uno studio preliminare sui moti apparenti del sole alle nostre latitudini (Firenze, Italia). Inoltre è necessario che il collettore possa ruotare fino a una posizione strategica, detta di riposo.

Il movimento di azimuth viene realizzato tramite l'utilizzo di una ralla motorizzata, mentre quello di elevazione, Figura 6, è realizzato tramite un sistema epicicloidale progettato ad hoc tramite l'ingranamento dei pignoni di un motoriduttore, solidale al telaio, con due ruote dentate di grande diametro [5].

Questo tipo d'ingranamento è stato concepito per limitare il gioco angolare indotto da una motorizzazione convenzionale, riducendo il guadagno che i giochi angolari dei cinematismi acquistano distanziandosi dall'asse di rotazione. Il risultato del lavoro ha portato ad una precisione di puntamento attesa di  $0.11^\circ$ .

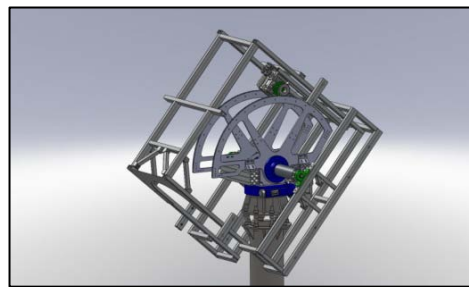


Figura 6: Motorizzazione

Sulla base delle velocità d'inseguimento solare e del tipo di controllo effettuato, è stato valutato il corretto rapporto di riduzione dei vari stadi della catena cinematica ed è stata identificata una geometria compatibile con le normali lavorazioni da officina meccanica di precisione.

Sulla base della geometria ottenuta e dei carichi applicati, è stata eseguita un'analisi FEM di verifica su tutti gli elementi che interessano il rotismo.

La base fissa ha il compito di sostenere sia il collettore sia la motorizzazione, garantendo un collegamento rigido col suolo e minime oscillazioni dovute all'azione del vento sul collettore. Il layout scelto per la base fissa prevede la disposizione della ralla, organo meccanico il cui compito è di fornire il moto azimutale al collettore, sulla parte superiore del sistema; questa scelta porta a minimizzare i momenti flettenti agenti sulla ralla stessa, garantendo a questo elemento minori sollecitazioni meccaniche dovute a momenti ribaltanti.

## APPARATO PV

### Celle fotovoltaiche

Le celle fotovoltaiche usate per il prototipo sono basate su Arseniuro di Gallio (GaAs) a doppia giunzione, sono previste anche celle GaAs a tripla giunzione mentre come celle di confronto si utilizzano delle celle a Silicio monocristallino.

Le dimensioni delle celle sono comprese tra  $8\text{mm}^2$  e  $11\text{mm}^2$ . In Tabella 1 sono riportati i parametri caratteristici delle celle misurati con un'irradianza di 1Sole e 140Soli. La tabella mostra come le celle GaAs siano più performanti per quanto riguarda l'efficienza elettrica di conversione ( $\eta_e$ ) e la potenza generata nelle condizioni di carico ottimale ( $P_{MPP}$  = maximum power point).

Tabella 1: Caratteristiche elettriche celle fotovoltaiche per il progetto CESARE

	1 Sole		140 Soli	
	Si	GaAs	Si	GaAs
$I_{sc}$ [A]	0,022	0,015	3,02105	1,426
$V_{oc}$ [V]	0,591	2,288	0,716	2,410
$\eta_e$	14,470	22,210	16,650	22,104
FF	0,78	0,85	0,75	0,85
$P_{MPP}$ [W]	0,010	0,029	1,613	2,909

Le suddette celle sono state implementate su un Modulo Base intercambiabile, in alluminio. I Moduli Base, Figura 7, sono stati opportunamente strumentati e quindi concepiti come banchi prova per la messa a punto della meccanica, dell'ottica e dell'elettronica ed elettrotecnica di corredo partendo dal monitoraggio delle singole celle attraverso misure di tensione e corrente e temperatura.

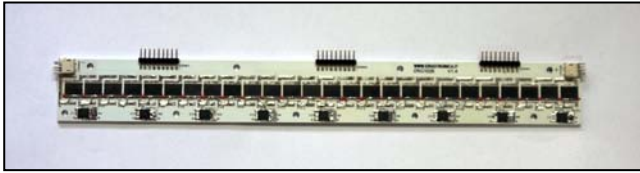


Figura 7: immagine del Modulo Base

### Gestione potenza elettrica

In fase di definizione delle caratteristiche della parte di potenza dell'impianto fotovoltaico è stato deciso di impiegare dei convertitori DC/DC a valle delle varie stringhe di Moduli Base. Come si vede in Figura 8 ciascuno di questi convertitori è collegato in parallelo ad un Bus a 400Vdc.

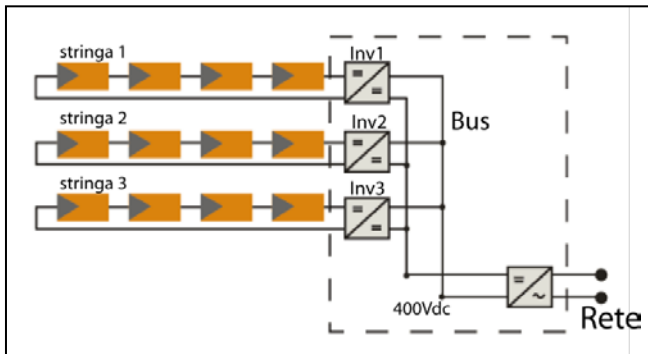


Figura 8: schema semplificato dell'impianto di gestione della potenza elettrica

Il Bus alimenta un inverter che permette di interfacciarsi direttamente alla rete elettrica. La scelta di impiegare un Bus a 400V in corrente continua ha il vantaggio di poter dedicare a ciascun ramo dell'impianto, che in generale potrebbe essere realizzato con celle diverse, un convertitore DC/DC diverso. Infatti, mentre la stringa con celle GaAs ha una tensione massima intorno ai 250V, per una potenza di picco di circa 300W, la stringa con celle Si ha una tensione massima di circa 75V ed una potenza di picco pari a 170W. I diversi range di funzionamento permettono l'impiego di convertitori diversi e consentono a questi di lavorare ogni volta nell'intervallo di funzionamento del MPPT.

Un altro vantaggio di questa soluzione è la scalabilità del sistema che permette di aumentare la dimensione dell'impianto semplicemente cambiando il numero di stringhe che si interfacciano sul Bus e di minimizzare il costo dei conduttori elettrici.

### IL RECUPERATORE TERMICO

L'obiettivo di realizzare un sistema cogenerativo si è materializzato studiando un sistema basato sulla concentrazione lineare su cui fosse implementabile un circuito di recupero del calore stabile ed efficiente in corrispondenza degli alti livelli di concentrazione proposti. In questo contesto, il recuperatore termico riveste una notevole importanza. Tale componente deve infatti garantire un adeguato raffreddamento delle celle fotovoltaiche, massimizzando il livello di temperatura e la quantità del calore recuperato, insieme alla riduzione dei consumi elettrici necessari alla circolazione forzata del fluido refrigerante. Tali obiettivi sono in genere in antitesi e richiedono scelte e soluzioni progettuali di compromesso.

Nell'ambito del progetto CESARE, è quindi stato

progettato e realizzato un recuperatore sulla base di uno studio di modellazione termica di tipo monodimensionale, come mostrato in Figura 9, integrata da un'analisi bibliografica di riferimento[6, 7,8]. Tale analisi affronta il comportamento del collettore in condizioni stazionarie, allo scopo di stimare le condizioni di funzionamento durante l'esercizio. Il collettore solare è stato modellato considerando come unica fonte di calore in ingresso al sistema la frazione della radiazione solare concentrata dallo specchio sulle celle che non viene convertita in energia elettrica.

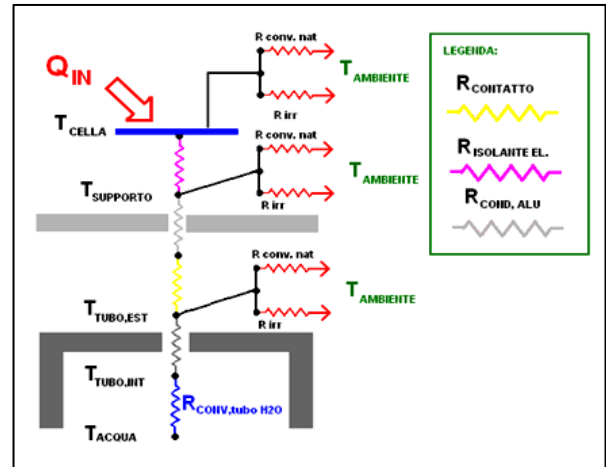


Figura 9: Resistenze termiche all'interno del collettore

Lo studio ha permesso di ottimizzare un sistema a circolazione forzata di acqua in un profilo tubolare in alluminio alettato, termicamente connesso al supporto delle celle, definire i range di funzionamento delle grandezze termodinamiche e conseguentemente individuare l'ottimo compromesso in termini di prestazioni termiche ed elettriche.

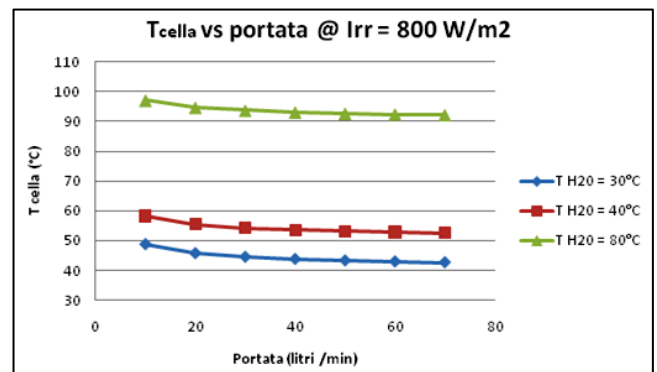


Figura 10: Temperatura della cella vs portata

In Figura 10 è riportato l'andamento della temperatura della cella in funzione della portata di fluido, per tre diversi livelli di temperatura. Il profilo alettato impiegato nella simulazione garantisce una buona asportazione di calore già alle basse portate. È così possibile ottimizzare la portata del fluido refrigerante al variare delle temperature di esercizio evitando ogni sovradimensionamento che necessariamente poi viene pagato in termini di energia assorbita e quindi in efficienza globale.

### Il sistema di tracking solare

Il sistema prescelto per l'inseguimento solare è di tipo ibrido. Si basa infatti sulla lettura di un sensore di allineamento che una volta agganciato il sole consente il suo

inseguimento. Questo è però completato da un algoritmo di calcolo delle coordinate solari. È stato scelto un sistema di tracking *continuo* capace di muoversi in modo sufficientemente lento. Si intende infatti controllare la velocità dei due assi di Azimut e Zenit.

La scelta della motorizzazione e conseguentemente il dimensionamento del sistema di riduttori, è basato su un procedimento iterativo, Figura 11, il quale, tramite la velocità del Sole, il tipo di motore e la coppia da trasmettere, arriva a definire il rapporto di riduzione totale necessario da impartire al sistema di tracking.

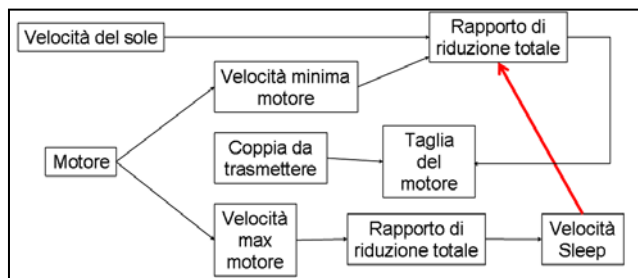


Figura 11: Schema dimensionamento Tracking

È stato considerato l'utilizzo di una motorizzazione brushless, capace di erogare una coppia di almeno 1 Nm per tutto il range di velocità richiesto.

Il sistema di inseguimento è guidato da un sensore sperimentale, sviluppato ad hoc e caratterizzato presso INO, capace di operare sui due assi ed apprezzare, con l'hardware di controllo installato, variazioni dalla posizione ideale di *fuoco* di pochi millesimi di grado.

L'algoritmo di controllo prevede un primo posizionamento grossolano di entrambi gli assi, per avvicinare la struttura alla posizione di fuoco, dopodiché viene attivato un controllo di retroazione PID, avendo come feedback la lettura dal sensore, e come uscita, la velocità da impartire ai due motori. Il controllo PID in velocità realizza così l'inseguimento continuo desiderato.

Il posizionamento grossolano è affidato ad un algoritmo di calcolo delle coordinate solari SPA[9], portando il Sole all'interno dell'angolo di vista del sensore, che è di circa 4°.

Oltre alla precisione sull'inseguimento solare, dal controllo PID in velocità, è attesa una compensazione degli eventuali errori di allineamento dovuti ai giochi meccanici.

Il sistema di tracking realizzato, è dunque caratterizzato da una grande precisione di puntamento, derivante dalla scelta della motorizzazione, dal sensore a disposizione e dalla procedura di controllo, mantenendo costantemente il sistema, nel punto di maggior rendimento durante il funzionamento.

### Il banco prova

Il CPVT realizzato viene testato in un banco prova progettato per caratterizzarne il funzionamento in termini di prestazioni globali di sistema, sia elettriche che termiche.

La caratterizzazione della parte elettrica viene effettuata tramite una misura di potenza di tipo voltamperometrica, sfruttando un carico elettrico di tipo resistivo, con caratteristiche ben note.

Per la realizzazione delle misure sulla parte termica viene impiegato un circuito ad acqua pressurizzata a 3 bar, ed una temperatura massima di esercizio pari a 120°C.

La potenza raccolta dal collettore viene dissipata tramite uno scambiatore, simulando varie condizioni di

funzionamento (anche stagionali) tramite la regolazione della valvola a 3 vie che ne fa variare la temperatura.

Lo schema funzionale del banco prova per le misure termodinamiche è riportato in Figura 12.

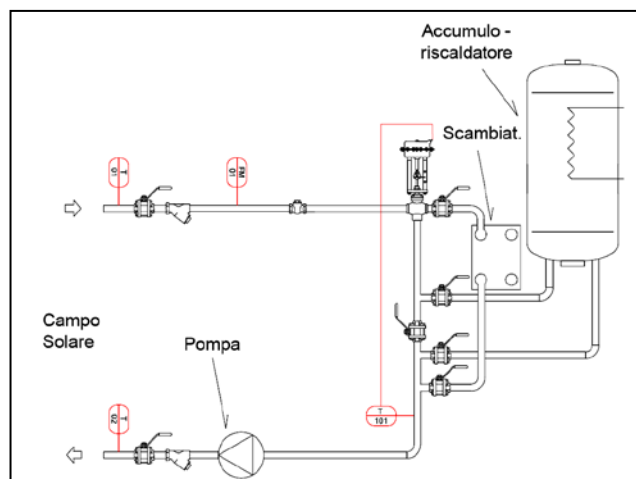


Figura 12: Schema funzionale del banco prova

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

Il banco prova è inoltre dotato di una stazione meteo in grado di rilevare la temperatura ambiente, la radiazione diffusa, diretta e la componente normale al terreno della radiazione totale.

L'analisi della propagazione dell'errore ha evidenziato una criticità nella misura delle temperature per l'ottenimento di buone accuratèzze, in relazione alle piccole differenze di temperatura da rilevare, è necessario quindi ricorrere a sensori di temperatura di elevata precisione; mentre per la misura di portata è sufficiente usare strumenti con incertezze intorno all'1% ottenere una buona accuratèzza [10].

### CONCLUSIONI

È stato realizzato un sistema cogenerativo statico a concentrazione basato totalmente su energia rinnovabile.

Il sistema è caratterizzato da un rapporto di concentrazione massimo teorico di 140 X, e quindi si colloca ben al di sopra della media attuale dei sistemi a concentrazione lineare.

In condizioni di progetto, il collettore ibrido CPVT, basato su celle MJ (III-V), eroga circa 2,4 kWe contemporaneamente a poco meno di 7 kWt conferendo al sistema un rendimento globale potenziale superiore al 70%.

Il materiale PV disposto sulla linea focale ha una superficie di circa 0,107 m<sup>2</sup> e lavora con una densità di potenza circa 127 volte superiore a quella erogata dal materiale PV di un collettore piano.

La fascia di temperature compatibile con il sistema di recupero termico implementato nel prototipo va attualmente dai 60 ai 90°C, in linea con i limiti indicati per la tipologia di celle impiegata, e rende il sistema adatto, oltre ad applicazioni di DHW, anche ad interessanti applicazioni di trigenerazione in grado di coniugare la domanda di energia frigorifera tipica dei mesi estivi con l'esigenza di stabilizzare la temperatura delle celle sottoposte alla radiazione concentrata.

Completati i test di laboratorio dei singoli componenti e l'assemblaggio del sistema completo farà seguito la fase di test di lunga durata sul campo per definire i parametri di

funzionamento ottimali, verificare le bontà delle scelte dei materiali selezionati e individuare le reali prestazioni del sistema completo.

Sulla base dello sviluppo del collettore ibrido proposto nel progetto CESARE sono state avviate ulteriori attività di ricerca finalizzate a concretizzare sistemi a concentrazione con questo livello di concentrazione per applicazioni ibride CPVT con recupero termico fino a 100°C.

## NOMENCLATURA

PV: Photo-Voltaics  
PV-T: PhotoVoltaic-Thermal Solar System  
CPV-T: Concentrated Photo-Voltaic-Thermal Solar System  
EPBT: Energy pay-back time  
CESARE: Concentrated PV combinEd SolAR Energy system  
PEMFC: Proton exchange membrane fuel cell  
DHW: domestic hot water  
SH: Solar heating  
SHC: solar heating and cooling  
MJ: Multijunction photovoltaic cell  
FEM: Finite Element Analysis  
FF: Fill Factor  
PID: controllo Proporzionale-Integrativo-Derivativo,  
SPA: Solar Position Algorithm  
MPPT: maximum power point tracker

## RINGRAZIAMENTI

Un sentito ringraziamento va a tutte le persone che hanno direttamente ed indirettamente consentito lo svolgimento del progetto, nello specifico: Chiara Cinelli, Davide Fissi, Francesco Bellini, Giacomo Pierucci, Giacomo Sevi, Paola Sansoni, Daniela Fontani, Francesco Vizza per aver fornito supporto e guida anche nei momenti meno eccitanti del progetto. Un particolare ringraziamento va a Patrizio Tancredi che credendo in tale idea ne ha favorito la concretizzazione ed infine, alla Regione Toscana, al ministero dello Sviluppo Economico e al Ministero dell'Università e della Ricerca per aver supportato il progetto "CESARE".

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. C. Bianchini and F. Vizza and P.K. Shen, Self-Sustainable Production of Hydrogen, Chemicals, and Energy from Renewable Alcohols by Electrocatalysis, ChemSusChem, Published online: 22 June 2010, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
2. UNI EN 1991-1-4, Azioni sulle strutture, parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento, luglio 2005.
3. "Wind Tunnel Test of Parabolic Trough Solar Collectors". N. Hosoya, J.A. Peterka, R.C. Gee, D. Kearney, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-550-32282; Maggio 2008.
4. Giannuzzi, G.M., Majorana, C.E., Miliozzi, A., Salomoni, V.A., Nicolini, D. (2007), "Structural design criteria for steel components of parabolic-trough solar concentrators", ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol.129, pp 382-90.

5. UNI EN 8862, Ruote dentate, parte 1-2, Calcolo della capacità di carico di ingranaggi. Principi, simboli, formule fondamentali e parametri limite. Fattori. Settembre 1987.

6. G. Sala, Chp. 8: Cooling of solar cells, in: Cells and Optics for Photovoltaic Concentration, Adam Hilger, Bristol, 1989, pp. 239–267.

7. F. Chenlo, M. Cid, A linear concentrator photovoltaic module: analysis of non-uniform illumination and temperature effects on efficiency, Sol. Cells 20 (1987) 27–39.

8. Kribus A, Kaftori D, Mittelman G, Hirshfeld A, Flitsanov Y, Dayan A. A miniature concentrating photovoltaic and thermal system. Energy Convers Manage 2006;47:3582–90.

9. Reda, I.; Andreas, A. (2003). Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. 55 pp.; NREL Report No. TP-560-34302, Revised January 2008.

10. C. Cinelli, M. De Lucia, P. Giovanetti, P. Mengoni, P. Sansoni, S. Toccafondi, 'Sviluppo di concentratori solari di tipo PTC a media temperatura, 63° ATI conference, L'Aquila 2009

## SUMMARY

The development of PV materials and the stimulating policies, has encouraged the spread of photovoltaic systems and, therefore a plant's cost reduction, leading, only in a limited way towards the economical sustainability.

Moreover, aspects related to the EPBT of the actual flat-plate PV systems denote the necessity of further efforts to develop systems characterized by greater electrical efficiencies for PV-surface unit; while, considerations on final balance of solar plant's energy productivity, disseminated thanks to stimulating policies suggest the opportunity of elaborating new solutions for new polygeneration systems with such global energy efficiency, as to reduce the produced kWh costs, without public incentives.

Interesting answers to these problems can be found in concentrating systems that allow the reduction of active PV surface and an increase in conversion efficiency. At the same time the recovery of the heat coming from PV cells, leads to the carrying out of a static cogeneration (PVT), desirable in case of high concentration ratio systems. The overall result is to create systems with high global efficiency through exploitation of the heat rejection and trying to favor PV energy conversion. The reduction of kWh costs, both electric and thermal, creates big development margins in case of less favorable incentives scenarios.

At the "S.Stecco" Energy Department of Florence, a research project named CESARE, has been carried out with the support of Regione Toscana, whose aim is the development of concentrating photovoltaic systems with thermal recovery (CPVT). The main goal is to offer a solution to small residential users (2-3kW electric size), whose thermal energy consumption is around 8 times more than the electrical one. The overall project involves research centers as CNR for the collector's optical design and construction of an H2 storage system, through the integration of an ethanol electrolytic process that supply energy to a PEMFC.