

FOTOVOLTAICO A CONCENTRAZIONE SOLARE

S. Lombardo - CNR
C. Cancro, G. Graditi, E. Terzini - ENEA
G. Timò - RSE

DESCRIZIONE TECNICA

Rispetto alla tecnologia fotovoltaica tradizionale (fotovoltaico piano basato sul silicio, film sottili, ecc.) il fotovoltaico a concentrazione solare (CPV) utilizza due ulteriori componenti: i dispositivi ottici, lenti o specchi, per concentrare la luce e l'inseguitore solare, per orientare favorevolmente i moduli CPV rispetto ai raggi del sole. Grazie alla concentrazione della luce è possibile ridurre fortemente l'area delle celle fotovoltaiche e quindi il consumo del materiale semiconduttore con una riduzione dei costi di produzione. La concentrazione della luce permette di incrementare il valore di efficienza di conversione delle celle solari e di realizzare, tra le tecnologie fotovoltaiche, i sistemi di conversione dell'energia più efficienti in assoluto. Negli ultimi anni i maggiori sviluppi tecnologici sono stati indirizzati verso due principali tipologie di sistemi CPV: quelli a bassa concentrazione (LC) (concentrazione < 100) e quelli ad alta concentrazione (HC) (concentrazione > 400). Nel primo caso, i sistemi di inseguimento del sole possono essere a singolo asse e comunque in genere non è richiesta un'elevata accuratezza di puntamento. Nel secondo caso, è richiesta una maggior precisione nel puntamento del sole e pertanto si rendono indispensabili sistemi di inseguimento a doppio asse. Per il fotovoltaico ad alta concentrazione si utilizzano celle fotovoltaiche avanzate, tuttora sviluppate anche per le applicazioni spaziali, le cosiddette celle a multigiunzione (MJ) (realizzate con una combinazione di diversi materiali semiconduttori di elevata qualità cristallografica che raccolgono porzioni complementari dello spettro solare). Il record di efficienza di conversione delle celle solari a MJ è detenuto dall'Istituto tedesco Fraunhofer-ISE insieme a Soitec e CEA-Leti, con il valore di 46% ad un fattore di concentrazione di 508 soli [1]. I moduli CPV hanno raggiunto un livello di efficienza massima di laboratorio pari al 38,9% [1 bis] che è circa due volte e mezzo quella tipica dei moduli fotovoltaici piani (15%). I sistemi CPV sono più complessi dei sistemi fotovoltaici tradizionali e necessitano supporto da diversi comparti industriali, da quello dei semiconduttori e delle nanotecnologie a quello dell'ottica e della meccanica. Ad oggi esiste un forte fermento nell'attività di ricerca e sviluppo per abbattere ulteriormente i costi realizzativi e proporre sistemi economicamente più competitivi. L'Italia è stata [2] [4] ed è attualmente presente [5] in diversi progetti di ricerca a livello europeo, sia con ruolo di coordinamento che di rilevante partecipazione, a fianco dei leader mondiali che operano in questo settore.



Figura 1a) Modulo fotovoltaico a concentrazione con lenti di Fresnel



Figura 1b) Test facility per lo studio della tecnologia del fotovoltaico ad alta concentrazione installata presso la sede RSE di Piacenza

Internazionale

La tecnologia fotovoltaica a concentrazione nel mercato internazionale, se comparata alla tecnologia piana convenzionale, ha ancora oggi un impiego di nicchia. Accreditati analisti di mercato internazionali prevedono per il futuro un trend molto sostenuto di acquisizione di fette di mercato, che dovrebbe permettere di passare dai 254 MWp [6] installati a livello mondiale nel 2015 a oltre il GWp nel 2020. L'Istituto tedesco Fraunhofer – ISE (Institute Solar Energy), attuale detentore dei record mondiali di efficienza delle celle solari e dei moduli fotovoltaici a concentrazione, prevede che nel 2030 la potenza cumulata dei sistemi CPV a livello mondiale si situi tra 10 e 50 GWp, rispettivamente uno scenario conservativo o ottimistico[7].



F

Figura 2 Stima della potenza cumulata installata a livello mondiale di sistemi fotovoltaici a concentrazione [7]



Figura 3 Numero delle installazioni mondiali di sistemi fotovoltaici ad alta concentrazione nel 2015 (potenza totale installata 254 MWp [6])

Attualmente i paesi con maggiore potenza installata sono Cina, Stati Uniti e Sud Africa, seguiti dall'Italia. La maggior parte degli impianti sono realizzati con inseguitore a doppio asse e sistemi point-focus a alto livello di concentrazione. I mercati emergenti per la tecnologia CPV sono costituiti

dal Sud Africa, dal Cile, (che grazie a condizioni climatiche favorevoli è considerato dagli analisti il paese più promettente nell'America del Sud), dal Messico, da alcune aree del Brasile, dall'Australia e dal Giappone. Nel 2015 il Sud Africa ha guidato la classifica delle installazioni nei mercati emergenti, conquistandosi una quota di mercato del 4,3%, doppia rispetto a quella del 2014 (2%).



Figura 4 Potenza installata di impianti CPV al 2016 divisa per paesi [fonte CPV Report 1.3 redatto da Fraunhofer ISE e NREL - Aprile 2017]

I principali centri di ricerca internazionali che operano in tale settore sono ISE Fraunhofer (Germania), Università Politecnica di Madrid (Spagna) e NREL (USA).

Nazionale

Gli impianti fotovoltaici a concentrazione presenti in Italia a fine 2014 erano 84 di cui:

- 34 a bassa concentrazione (LC), con un totale di potenza installata di 17,55 MWp
- 8 a media concentrazione (MC)(100÷400 soli), con potenza complessiva di 5,23 MWp
- 42 ad alta concentrazione (HC) per circa 9 MWp.

Il totale della potenza dei sistemi CPV di varia tipologia installati in Italia ha raggiunto nel 2014 circa 31,8 MWp. L'incentivazione degli impianti fotovoltaici in Italia ha consentito negli anni scorsi un discreto decollo anche delle installazioni CPV, mentre con la fine degli incentivi (V Conto Energia) anche le installazioni CPV hanno subito una forte riduzione, come peraltro si è verificato nell'intero settore fotovoltaico.

Diverse sono le attività volte all'ottenimento di sistemi più efficienti. A questo riguardo si segnalano gli studi condotti su ottiche più performanti [8] e su celle altamente efficienti che sfruttano l'effetto termoionico foto assistito (PETE-Photon Enhanced Thermionic Emission) e l'utilizzo di strutture in diamante texturizzato [9][11].

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

La tecnologia ha raggiunto un elevato grado di maturità (TRL 9), anche se sistemi ad alta efficienza e celle a multigiunzione richiedono ancora ulteriori sviluppi tecnologici (TRL 2-3). Innovative ottiche in grado di aumentare l'efficienza sono già state testate in ambiente rilevante (TRL 6).

RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

La tecnologia CPV può essere integrata con altre tecnologie che sfruttano altre fonti energetiche. L'utilizzo duale del suolo dove i sistemi a concentrazione sono installati consente, ad esempio, di produrre energia elettrica nello stesso spazio in cui è prodotto il bio-combustibile o combinabile ai classici motori termo-meccanici utilizzati nel solare termodinamico. La tecnologia CPV è compatibile con lo storage di energia, oltre a poter essere in cogenerazione. Nel caso di dispositivi PETE è possibile anche:

- l'interazione con geotermico ad alta entalpia
- il recupero di energia da processi industriali ad alta temperatura
- il recupero di energia da motori in automotive e aerospazio
- l'aerospazio per missioni speciali.

VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

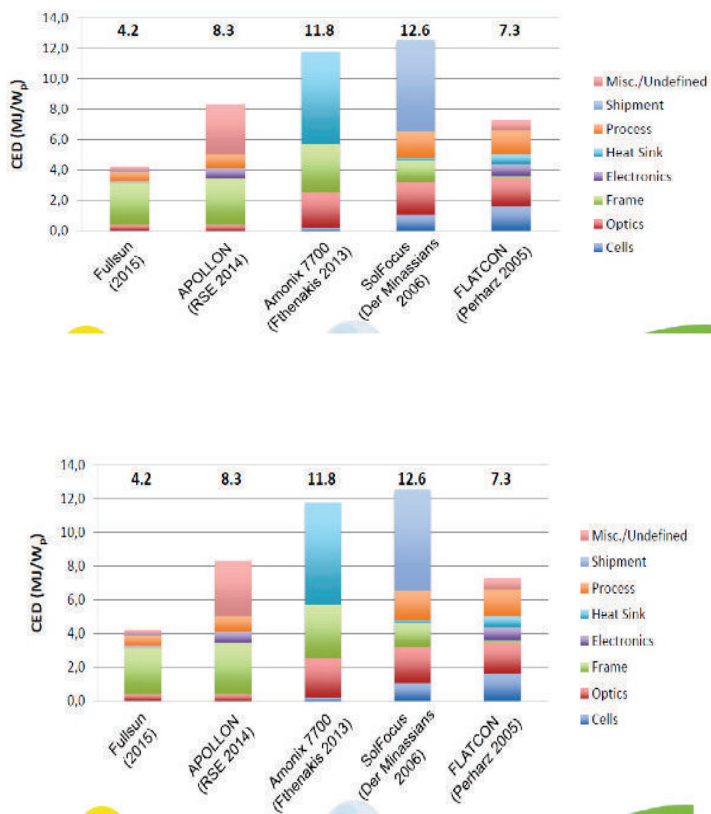
Lo sviluppo della tecnologia può influenzare positivamente altri settori non specificatamente energetici, come quello delle nanotecnologie, dell'ottica e della meccanica.

POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

La misura della radiazione solare diretta (DNI) comporta costi e difficoltà operative superiori a quelli della misura della radiazione solare globale, per questo motivo, in Italia e nel mondo, i dati di DNI risultano insufficienti. Ancora più rari sono i dati sulla distribuzione spettrale della DNI a cui le celle a multigiunzione sono sensibili. E' quindi difficile fornire dati certi sulla producibilità energetica degli impianti fotovoltaici a concentrazione. RSE ha effettuato una stima elaborando, mediante la formula di Ruiz, i dati di radiazione solare forniti da satellite [12] insieme alla mappa di radiazione globale solare annua sul piano orizzontale per le località italiane [13]. Dalla mappa risulta che Sicilia, Puglia e Sardegna sono le regioni più adatte all'installazione, con DNI stimata superiore a 1800-2000 kWh/m² anno, (valore oltre il quale i sistemi fotovoltaici a concentrazione vengono considerati competitivi). Incrociando i dati di producibilità degli impianti fotovoltaici a concentrazione disponibili in letteratura [14], misurati in aree che presentano il medesimo livello di insolazione si prevede per queste regioni, una producibilità di 2000kWh/kWp. E' quindi possibile identificare sul territorio nazionale diverse regioni in cui è possibile l'utilizzo per la produzione di energia elettrica del fotovoltaico a concentrazione. Il numero di tali regioni è destinato ad aumentare grazie alla diminuzione dei costi di impianto, che renderà competitiva l'installazione anche in regioni con minore irradianza.

IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

La tecnologia ha un impatto ambientale molto contenuto. Il consumo di materiale semiconduttore è molto ridotto e dipende in modo inversamente proporzionale dal fattore di concentrazione. Per un fattore di concentrazione di 1000 soli si utilizzano in genere celle fotovoltaiche di area pari a 1mm²: se allora per produrre 1 kW di potenza occorrono 6 m² di celle al silicio, occorrono solo 30 cm² di celle a multigiunzione utilizzate a 1000 soli. Nella Figura 5 è presentata una *Life Cycle Analysis* della tecnologia.



L'emissione di CO₂ sul ciclo di vita del sistema a concentrazione è oggi inferiore ai 10 gr per ogni kWh di energia prodotta.

La produzione di rifiuti invece è relativa alla fase:

- di costruzione di celle e moduli, ed è molto contenuta
 - di recupero e riciclaggio, ed è regolamentata dalla DLgs. 49/2014 sui RAEE che ha recepito la Direttiva Europea 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche.
- Nell'impiego della tecnologia fotovoltaica a concentrazione non si fa ricorso all'utilizzo della risorsa idrica né vengono provocate emissioni di CO₂ o di altri inquinanti durante la fase di generazione dell'energia.

Figura 5: a) Energia richiesta nella produzione di un modulo CPV per ogni Watt di picco prodotto dal modulo; b) Tempo richiesto al sistema CPV per generare la stessa energia che è stata richiesta per produrlo, in relazione al luogo di installazione [15]

Emissioni CO₂/MWh

Nessuna emissione di CO₂ viene generata nella fase di esercizio dell'impianto fotovoltaico a concentrazione.

Emissioni CO₂/MWh evitate

Le emissioni CO₂/MWh evitate sono correlate alla mancata produzione di generatori da fonti fossili utilizzati nel mix del parco di generazione italiano, in conseguenza della produzione da fonte fotovoltaica. Se si ipotizza di evitare di emettere in atmosfera 0.55 kg di CO₂ (dato medio del termoelettrico italiano) per ogni kWh prodotto con il fotovoltaico a concentrazione, si può evitare l'emissione 550 kg di CO₂ per ogni MWh prodotto con il fotovoltaico a concentrazione. Per ogni MW installato di fotovoltaico a concentrazione si potrebbero generare 2 GWh di energia e quindi evitare di emettere in atmosfera più di 1000 tonnellate di CO₂. Ad oggi ci sono 32 MW di fotovoltaico a concentrazione installato in Italia, che hanno evitato di emettere in atmosfera 32000 tonnellate di CO₂.

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

Il livello di sviluppo in crescita della tecnologia non consente di delineare dati conclusivi. Si riportano alcuni dati recenti relativi ad un'installazione "tipo" realizzata da Soitec, in Spagna, in 7 anni di vita operativa [16]. L'efficienza AC (cioè il rapporto fra l'energia erogata in rete dalla centrale costituita dai sistemi fotovoltaici a concentrazione e quella ricevuta dal sole) è superiore al 20% con performance costante per tutta la durata dei test.

I valori tipici del Performance Ratio (PR, o fattore di prestazione) sono intorno all'80%. Il Performance Ratio, utilizzato ai fini della valutazione delle prestazioni e dell'affidabilità dei componenti dell'impianto, rappresenta la frazione di energia generata rispetto a quella producibile teoricamente; è un indicatore adimensionale che evidenzia l'effetto complessivo delle perdite sull'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico dovute alla temperatura dei moduli, allo sfruttamento incompleto della radiazione solare, alle perdite nel BOS (Balance Of System, ossia tutti i componenti dell'impianto ad esclusione dei moduli FV), ai guasti dei componenti e conseguenti fuori servizio d'impianto. La tecnologia è soggetta a fattori di perdita che ne influenzano l'efficienza. Le cause principali di riduzione di rendimento della centrale realizzata da Suncore in Goldmund sono riportate in tabella.

Fattore di perdita annuale	Percentuale
Indisponibilità operativa	1%
Ombreggiamento	8%
Sporcamento dei moduli	4%
Mismatch elettrico fra sistemi	1%
Perdite sui cavi elettrici lato CC	1%
Errori di puntamento dell'inseguitore solare	2%
Perdite sul lato AC cavi e trasformatore	4%
Potenza parassita per movimentazione inseguitore solare	1%

Si evidenzia come il dato relativo alla perdita dovuta allo sporcamento dei moduli dipende dalle condizioni climatiche di installazione. In alcune regioni sono state misurate perdite molto più consistenti.

Le principali problematiche che hanno limitato le prestazioni nel passato erano soprattutto legate ad errori progettuali, ridotta efficienza degli algoritmi per l'inseguimento del sole e del punto di massima potenza (MPPT).

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Nel corso degli ultimi anni si è assistito a una decisa riduzione dei costi specifici degli impianti fotovoltaici a concentrazione. Il Fraunhofer Institute [17] prevede che la competitività dei sistemi CPV rispetto ai sistemi PV tradizionali sarà raggiunta nell'arco dei prossimi 5 anni in aree geografiche interessate da un adeguato livello di radiazione diretta. La diminuzione del costo è connessa all'aumento del numero di installazioni previsto in crescita nei prossimi anni. In Italia, grazie al conto energia, si è avuto uno sviluppo incrementale delle installazioni, che recentemente si è arrestato. Il programma di incentivazione per il fotovoltaico a concentrazione di periodo molto breve (tre anni) non ha consentito di far decollare l'industria italiana che opera in questo settore. Senza programmi di incentivazione alla produzione o di supporto alla sperimentazione (come è avvenuto in Spagna con l'esperienza del parco solare [18]) è possibile prevedere per il nostro paese un periodo di incubazione per lo sviluppo tecnologico superiore ai 5 anni. In questo arco di tempo, altre società estere potrebbero aumentare il loro livello di competitività e allungare ulteriormente i tempi di crescita di un prodotto nazionale competitivo. Con riferimento alle infrastrutture, il costo stimato per creare una fabbrica in grado di produrre 100 MW/anno di sistemi fotovoltaici a concentrazione è di 30-50 MEuro [19].

Dato il basso livello di TRL della tecnologia è difficile stimare al momento i costi O&M di un impianto fotovoltaico a concentrazione. Si possono utilizzare come riferimento i costi di O&M relativi al fotovoltaico tradizionale e ritenere che questi ultimi siano leggermente inferiori, in quanto la tecnologia fotovoltaico a concentrazione utilizza anche dispositivi in movimento, gli inseguitori solari. Poiché l'effetto di accumulo di sporco sulla superficie del modulo penalizza più pesantemente le performance dei moduli CPV rispetto ai moduli FV tradizionali è necessario anche ipotizzare un costo addizionale di pulizia dei moduli.

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Si elencano due principali ostacoli che si frappongono ad una penetrazione nel mercato della tecnologia fotovoltaica a concentrazione in Italia.

- Il fattore costo. Ad oggi la tecnologia del fotovoltaico a concentrazione non è ancora competitiva rispetto a quella del fotovoltaico tradizionale, pertanto è ancora necessario un percorso di ricerca e sviluppo tecnologico che arrivi a proporre soluzioni più economiche.
- La bancabilità. Dato ancora il limitato numero di installazioni, le banche valutano troppo alto il rischio di finanziamento relativo alle realizzazioni di progetti pilota. La scarsità dei finanziamenti diventa quindi un freno alla penetrazione nel mercato della tecnologia.

POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

La potenzialità italiana in termini di sviluppo tecnologico è molto elevata. RSE, ENEA e CNR hanno una comprovata esperienza in questo settore, con una partecipazione attiva in numerosi progetti europei (7 PQ e H2020). Esistono inoltre piccole medie imprese impegnate diffusamente nel percorso di sviluppo della tecnologia.

In termini di occupazione, si prevede che un progetto per la produzione di 200 MW/anno di fotovoltaico a concentrazione crei 600 posti di lavoro (Vahan Garboushian Amonix Founder and CTO). Così come successo per il fotovoltaico tradizionale, il CPV ha la possibilità di impattare largamente sul PIL nazionale in vari settori d'attività, quali principalmente ricerca e sviluppo, produzione, distribuzione, installazione, manutenzione e formazione.

Poiché il fotovoltaico a concentrazione coinvolge, come già detto, differenti comparti tecnologici, gli effetti benefici di una sua diffusione ricadranno su più settori industriali.

POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

Gli operatori del settore e i principali analisti di mercato pongono a 2000 kWh/m²anno la soglia della DNI per dare competitività economica ai sistemi fotovoltaici ad alta concentrazione (HCPV) che peraltro costituiscono circa il 90% del mercato planetario attuale. Al di fuori del territorio nazionale, le aree di maggior interesse per le installazioni di sistemi HCPV sono costituite dal Medio Oriente e dal Nord Africa (zona MENA - Middle East North Africa), da parte dell'Africa australe (es. Sud Africa), dall'India occidentale, dal Sud-Ovest della Cina, dall'Australia, da zone situate nel Sud-Ovest degli Stati Uniti, da Messico, Cile e sud Perù, seguite da zone nel Nord-Ovest dell'Argentina e da regioni più limitate in Brasile e nel Sud Europa (Sud di Portogallo e Spagna). La presenza di diversi attori italiani nello sviluppo di sistemi e tecnologie proprietarie può avere un sensibile impatto anche sul mercato estero.

POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

Come sistema di generazione energetica da rinnovabili, l'impatto della tecnologia in altri settori è da considerarsi come conseguenza di uso di elettricità a zero emissioni.

Il previsto sviluppo della mobilità elettrica, associata a sistemi di carica delle batterie basati sull'utilizzo del fotovoltaico e del CPV, permetterà di abbattere le emissioni nel settore dei trasporti su strada.

Al fine di massimizzare i vantaggi ambientali ed anche economici per il sistema industriale e residenziale, sarebbe auspicabile lo sviluppo di sistemi a concentrazione dedicati all'integrazione nelle strutture edilizie esistenti che consentano l'auto-consumo dell'energia prodotta.

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

Gli operatori e i gestori degli impianti sono comunemente gli stessi impegnati nel campo del fotovoltaico tradizionale. Si evidenzia come gli operatori fotovoltaici sono associati tramite l'Asso Rinnovabili.

Nel 2014 e 2015 sono consistentemente aumentate le Società di O&M e in generale di servizi per la gestione degli impianti fotovoltaici. Si ritiene che, nei prossimi anni, questo settore consentirà di mantenere l'attuale livello di business, oltre che quello occupazionale, poiché dovrà provvedere alla buona gestione di un parco di generazione costituito da circa 650.000 impianti fotovoltaici per una potenza complessiva superiore a 19 GW.

Fra gli operatori di impianti fotovoltaici in Italia, con varie attività ed entità di business, si citano [2]:

- RTR Energy
- Enel Green Power
- F2i Solare - HFV
(F2i solare – HFV e Enel Green Power hanno avviato la formazione di una Join Venture)
- 9REN
- VEI Green
- Terni Energia
- FORVEI
- Graziella Green Power,
- Solar Ventures,
- Solar Investment Group,
- Volteo Energie
- SILFAB Srl,
- API Nuova energia
- Sunnergy Group SpA,
- Manni Energy.

Sviluppo della tecnologia

Il nostro Paese conta un solo produttore di celle fotovoltaiche a multigiunzione, il CESI, che vanta un'esperienza più che trentennale. Per la realizzazione di ricevitori (cioè delle unità di dissipazione del calore) sono presenti il Centro di Ricerca Plast Optica di Amaro e la Ditta AUREL di Modigliana (FC). Sul fronte dello sviluppo dei sistemi a concentrazione sono presenti in Italia :

- Asse (inseguitore solare e moduli che utilizzano specchi, HC)
- Ategenreia (con moduli che utilizzano specchi, HC)
- Alitec (inseguitori solare e moduli CPV che utilizzano lenti, HC)
- AtecRobotics (inseguitori solare e moduli CPV che utilizzano lenti, HC)
- Convert Italia (Sistemi di inseguimento del sole mono-assiali)
- HTSun (inseguitori solare e moduli CPV che utilizzano lenti, HC)
- BECAR (del gruppo Beghelli, inseguitore solare e moduli che utilizzano lenti, HC)
- Ionvac Process Srl, PMI attiva nella progettazione e fabbricazione di sistemi di deposizione per microelettronica e uso di tecnologia del vuoto. Sviluppa i microspacers utili per la separazione elettrica tra i due elettrodi della cella solare ad alta temperatura.

I costruttori di inverter e i laboratori di prova sono gli stessi che operano già nel campo del fotovoltaico tradizionale:

Costruttori di inverter

I principali sono:

- ABB – Powerone
- Elettronica Santerno
- Aros solar technology
- Bonfiglioli
- Friem S.p.A.
- FIMER S.p.A.
- Siel Italy
- EEI. Equipaggiamenti Elettronici Industriali S.r.l.

Laboratori di prova su componenti fotovoltaici

- Modulo Uno Eurofins (Pavia)
- Albarubens (VA)
- Eurotest laboratori(PD)
- Creiven (PD)
- Ercos - Kiwa CERMET Italia (MI).

■ ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

I principali istituti di ricerca Italiani operano nel settore del fotovoltaico a concentrazione attraverso attività di caratterizzazione di moduli e sistemi. I maggiori attori sono: ENEA Portici, CNR, RSE, Università degli studi di Padova, Università di Ferrara, Sardegna Ricerche, Politecnico di Milano.

ENEA: presso il Centro Ricerche di Portici, ha lanciato in Italia le attività di ricerca sul CPV nei primissimi anni del nuovo millennio con il progetto PhoCUS realizzando alcune unità di base. Nel corso degli anni sono state sviluppate notevoli competenze relative alla progettazione, realizzazione e caratterizzazione di componenti e dispositivi di base (celle, moduli, tracker, ottica, heta-sink, sistemi di puntamento), di sistemi operanti a diversi livelli di concentrazione, nonché all'analisi delle prestazioni energetiche. In particolare ha progettato e realizzato dispositivi ottici per la concentrazione sia a rifrazione che a riflessione, celle fotovoltaiche in silicio per concentrazioni tra 100 e 200 soli, moduli a concentrazione, eliostati e relativi sistemi di controllo della movimentazione. Sono operativi laboratori per la caratterizzazione dei componenti (efficienza delle ottiche, prestazioni delle celle e dei moduli) e per la conduzione di test di aging sui moduli. Presso il citato Centro sono installati alcuni sistemi a concentrazione tra i quali anche un ibrido di ultima generazione idoneo alla produzione di energia elettrica ed acqua calda, progettato per applicazioni in edilizia residenziale e industriale.

RSE: opera con attività di caratterizzazione di celle, moduli e sistemi per l'alta concentrazione, ricerca e realizzazione di dispositivi a multi-giunzione basati su materiali innovativi ad alta efficienza e nanostrutture antiriflettenti, simulazione e sviluppo di ottiche innovative di tipo riflessivo. Inoltre sviluppa dispositivi per migliorare la precisione e l'affidabilità del puntamento del sole e algoritmi per inverter oltre ad effettuare misure di radiazione diretta e popolamento data base nazionale.

CNR: è negli ultimi anni impegnato nella progettazione e sviluppo di ottiche innovative formate da elementi riflettenti (specchi in alluminio ad alta riflettanza) uniti ad elementi rifrangenti ad alto indice di rifrazione che porta alla possibile integrazione architettonica di questi sistemi [8]; nello sviluppo di innovative celle fotovoltaiche ad alta temperatura in grado di superare gli attuali limiti delle celle multigiunzione (dispositivi PETE-Photon Enhanced Thermionic Emission e strutture innovative in diamante CVD con superficie texturizzata (black diamond))[9][11].

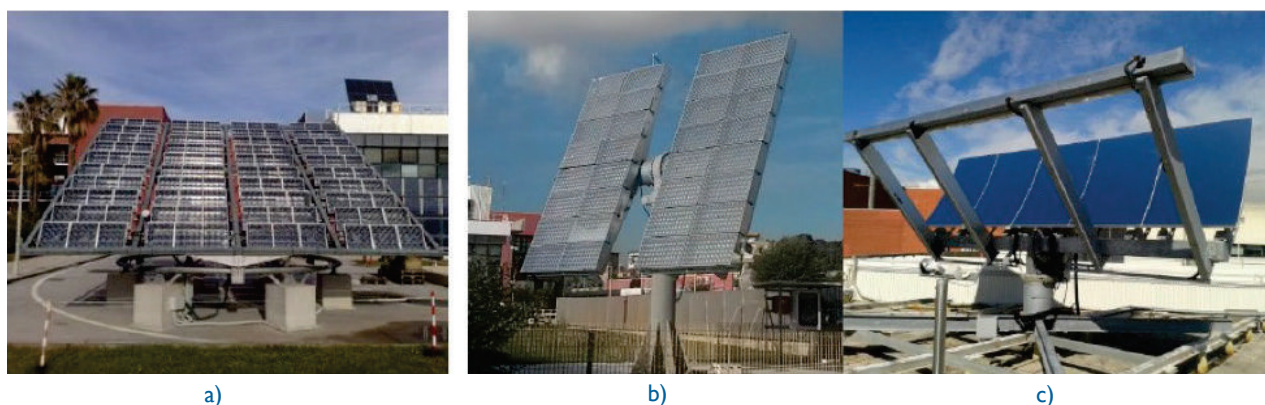


Figura 6 Impianti prototipali CPV: a) Sistema ENEA-Pirelli; b) Sistema ENEA-Becar; c) Impianto ibrido fotovoltaico-termico per applicazioni residenziali

BEST PRACTICES

Esistono in Italia tre impianti fotovoltaici ad alta concentrazione di potenza superiore al MWp:

- il parco solare da 1,25 MWp in Abruzzo, installato nel 2012 da SolFocus (USA) e dalle aziende nazionali Sistema Solare e Delta Group
- l'impianto da circa 1,2 MWp installato a Lucera (Basilicata) ancora da SolFocus (USA)
- l'impianto "Santa Lucia" da 1,18 MWp in funzione dal 2014 a Belpasso (Catania) realizzato da Soitec (Azienda franco-tedesca).

Relativamente alla bassa concentrazione esistono 2 impianti di grossa taglia realizzati da Convert Italia:

- il Parco di 2 MW di Orta Nova (FG)
- il parco di 1 MW di Salici (FG).

I due più grandi impianti di fotovoltaico a concentrazione del mondo (Golmud 2 e Golmud 1) installati in Cina, hanno una potenza rispettivamente di circa 80 MWp e 58 MWp, entrati in funzione rispettivamente nel 2013 e nel 2012 sono stati realizzati da Suncore Photovoltaic Technology. Negli Stati Uniti (Colorado) esiste il terzo più grande impianto da 35 MWp di potenza (Alamosa) in funzione dal 2012 e vari impianti con taglia compresa tra 1 e 2 MWp, tutti localizzati negli Stati del Sud-Ovest. In Sud Africa sono in funzione due impianti con potenza rispettivamente di 22 MWp e 44 MWp (Touws River) realizzati dall'azienda franco-tedesca Soitec, uno dei maggiori produttori di sistemi CPV fino alla primavera del 2015.

Nel panorama internazionale diversi sono gli esempi di investimenti aggressivi per lo sviluppo della tecnologia. Il programma Sunshot americano, prevede per esempio, fra le tante iniziative, uno specifico programma di ricerca per promuovere l'incremento di efficienza delle celle a multigiunzione da utilizzare nei sistemi a concentrazione e ridurre i costi dei moduli CPV.

Il finanziamento previsto è di 6 Milioni di dollari nell'arco di tre anni [12].



Parco solare in Abruzzo, installato da SolFocus (USA) e dalle aziende Sistema Solare e Delta Group (IT)



Impianto fotovoltaico di Belpasso (Catania) realizzato da Soitec

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] Thomas N.D. Tibbits, “New efficiency frontiers with wafer-bonded multi-junction solar cells”, Proceeding of the 29th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 22-26 September 2014, Amsterdam, The Netherlands
- [1 bis] S. van Riesen, M. Neubauer, A. Boos, M. M. Rico, C. Gourdel, S. Wanka, R. Krause, P. Guernard, and A. Gombert, “New module design with 4-junction solar cells for high efficiencies,” in (AIP, 2015), Vol. 1679, p. 100006
- [2] G. Timò at al. “Results of the APOLLON Project and Concentrating Photovoltaic Perspective”, Progetto UE-Apollon, maggio 2014, rapporto disponibile su richiesta a gianluca.timo@rse-web.it
- [3] <http://www.ecosole-project.eu>
- [4] http://cordis.europa.eu/result/rcn/146970_en.html
- [5] http://cordis.europa.eu/project/rcn/193754_en.html
- [6] “Top Solar Power Industry Trends for 2015” - IHS.com, <https://www.ih.com/.../Top-Solar-Power-Industry>
- [7] Fraunhofer ISE, “Levelized Cost of Electricity- Renewable Energy Technologies”, <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/study-levelized-cost-of-electricity-renewable-energies.pdf>
- [8] G. Grasso, A. Righetti, M. C. Ubaldi, F. Morichetti and S. M. Pietralunga, “Competitiveness of Stationary Planar Low concentration photovoltaic Modules Using Silicon Cells: a focus on concentrating optics”, *Solar Energy* 86, 1725–1732, (2012), DOI 10.1016/j.solener.2012.03.015
- [9] J.W. Schwede, I. Bargatin, D.C. Riley, B.E. Hardin, S.J. Rosenthal, Y. Sun, F. Schmitt, P. Pianetta, R.T. Howe, Z. Shen, N.A. Melosh, Photon-enhanced thermionic emission for solar concentrator systems, *Nature Materials*, 9 (2010) 762-767
- [10] J.W. Schwede, T. Sarmiento, V.K. Narasimhan, S.J. Rosenthal, D.C. Riley, F. Schmitt, I. Bargatin, K. Sahasrabudde, R.T. Howe, J.S. Harris, N.A. Melosh, Z.X. Shen, Photon-enhanced thermionic emission from heterostructures with low interface recombination, *Nature communications*, 4 (2013) 1576
- [11] P. Calvani, A. Bellucci, M. Girolami, S. Orlando, V. Valentini, A. Lettino, D.M. Trucchi, Optical properties of femtosecond laser-treated diamond, *Applied Physics A*, 117 (2014) 25-29
- [12] Philip Sandwell at al. Life cycle analysis of a new CPV module, CPV-11- Aix Les Bains, France April 2015
- [13] <http://energy.gov/eere/sunshot/solar-foundational-program-advance-cell-efficiency-round-1>
- [14] F. Rubio at al. “Evaluation parameters for CPV Production””, CPV-6. Freiburg, Germany, 7-9 April, 2010
- [15] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>) – EC Joint Research Centre (JRC)
- [16] F. Rubio, Large-scale and long-term CPV Power plant Field results, CPV-11, Aix Les Bains , April 2015.
- [17] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/renewable-energy-data/renewable-energy-data>
- [18] <http://www.isfoc.net/index.php/en>
- [19] G. Timò, La concentrazione solare nel fotovoltaico, *Rivista ufficiale dell’AEIT*, Aprile 2006
- [20] <http://ec.europa.eu/energy/en/funding-and-contracts>
- [21] IEA PVPS - National Survey Report of PV Power Applications in ITALY in 2014, 15 October 2015– 2015 (link) – S. Castello salvatore.castello@enea.it, F. Tilli francesca.tilli@gse.it, S. Guastella salvatore.guastella@rse-web.it
- [22] [9] Faggian Paola, Ronzio Dario, Gattiglio Elena, Metodologie di stima della radiazione solare diretta, Rapporto RdS N. 14001889, (2013)
- [23] RSE - Monografia I sistemi di generazione fotovoltaica: La tecnologia e gli effetti sul sistema elettrico nazionale, 2016