

energia!lab

il laboratorio per la gestione dell'energia

Scheda monografica di sintesi:
Produzione di energia da fonti rinnovabili

Energia Solare

A cura di:

lab e lab

Via Mirasole 2/2 40124 Bologna (BO)

SOLE ED ENERGIA SOLARE[1, 2]

Per "**energia solare**" si intende l'energia raggiante sprigionata dal Sole per effetto di reazioni nucleari (fusione dell'idrogeno) e trasmessa alla Terra (ed in tutto lo spazio circostante) sotto forma di radiazione elettromagnetica.

Qualunque radiazione elettromagnetica è composta da fotoni, particelle elementari elettricamente neutre dalla doppia natura: materiale e ondulatoria. A seconda della lunghezza d'onda della radiazione si ottengono onde radio (dell'ordine delle centinaia di metri), microonde, infrarossi, luce visibile, ultravioletti, raggi X e raggi γ (dell'ordine dei raggi atomici).

Il Sole è una stella di tipo spettrale, di colore giallo, di magnitudine assoluta + 4,7, la più vicina alla Terra, dalla quale dista 149.596.850 km (distanza media). Si tratta di una stella appartenente alla sequenza principale, di piccole dimensioni e di modesta luminosità, ad evoluzione assai lenta, dell'ordine di miliardi di anni. Il Sole è situato a circa 32.600 anni luce dal centro della galassia nota col nome di Via Lattea, sull'orlo interno del Braccio di Orione. È animato da una rotazione su se stesso a velocità angolare differenziata: 29,9 giorni all'equatore, 34 giorni in prossimità dei poli, e da un moto di rivoluzione, attorno al centro della galassia che compie in un periodo di 273 milioni di anni, ad una velocità orbitale di 240 km/s. La sua massa è di $1,99 \times 10^{33}$ g, cioè 332.270 volte la massa terrestre, e costituisce da solo il 99% della massa totale del sistema solare. Il diametro del sole è di $32'0''$, in radianti 0,0093, in km 1.392.000, vale a dire 109 volte il diametro della terra. La sua densità media è di 1,41 (molto prossima a quella dell'acqua a causa della sua composizione gassosa), mentre quella della Terra è di 5,5: è stato, però, calcolato che all'interno ha una densità di circa 120. La gravità media sarebbe 27,9 volte quella della Terra. Il sole ha un volume 1,25 milioni più grande di quello della terra. La temperatura superficiale si aggira intorno ai 6.000 °K. La luce viaggia a 300.000 Km/sec., perciò quella solare necessita di circa otto minuti per raggiungere la Terra. Il sole è formato da: cromosfera, fotosfera, zona convettiva, nucleo, zona radioattiva, protuberanze solari e macchie solari.

L'energia solare rispetto ad altre fonti ha molti vantaggi:

1. è inesauribile, durerà fino a quando ci saranno sole e terra;
2. è pulita, perché ci arriva attraverso i raggi del sole;
3. è abbondante, perché con una piccola parte di essa attenuerebbe il desiderio di energia di tutti i paesi del mondo; non costa nulla come materia prima.

Ci sono però, anche ostacoli all'utilizzo dell'energia solare:

1. è discontinua nel tempo perché la riceviamo in certe ore della giornata con intensità diversa da luogo a luogo;
2. è diluita, infatti, il nostro corpo la può ricevere per molte ore senza ustionarsi. Per raccogliercela in quantità elevate bisognerebbe usare, su vaste superfici nel territorio, milioni e milioni di apparecchi, il cui costo è elevatissimo. Perciò, alla fine, la produzione di energia dal sole costerebbe dieci volte più del normale, nessuno pagherebbe una bolletta dieci volte superiore. Proprio per questi problemi l'energia solare si colloca tra le fonti alternative.

LO SPETTRO DELLE RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE [4]

Per comprendere in modo adeguato il meccanismo su cui si fondano le apparecchiature ad energia solare, si farà un breve cenno alle radiazioni elettromagnetiche, con particolare riguardo a quelle emesse dal sole.

Il fenomeno dell'emissione di energia radiante o fotoni si verifica quando un sistema atomico o molecolare passa da uno stato di energia superiore ad uno inferiore. Il

processo inverso, vale a dire l'assorbimento, avviene quando l'aggiunta di energia radiante ad un sistema provoca il passaggio ad uno stato energetico più elevato. L'assorbimento si registra quando l'energia radiante colpisce una superficie solida e ne provoca il riscaldamento. Quando si fornisce energia ad un corpo solido, alcuni atomi ed alcune molecole che costituiscono il corpo stesso, vengono portate in stati "eccitati", dai quali le particelle tendono a ritornare spontaneamente verso livelli energetici più bassi. Quando ciò avviene, l'energia viene emessa sotto forma di radiazioni elettromagnetiche; poiché tale radiazione può dipendere da variazioni negli stati elettronico, vibrazionale, e rotazionale degli atomi e delle molecole, la radiazione sarà distribuita su varie lunghezze d'onda. Nella figura 1 è riportato un diagramma che rappresenta le varie radiazioni, con l'indicazione del tipo di meccanismo che le genera.

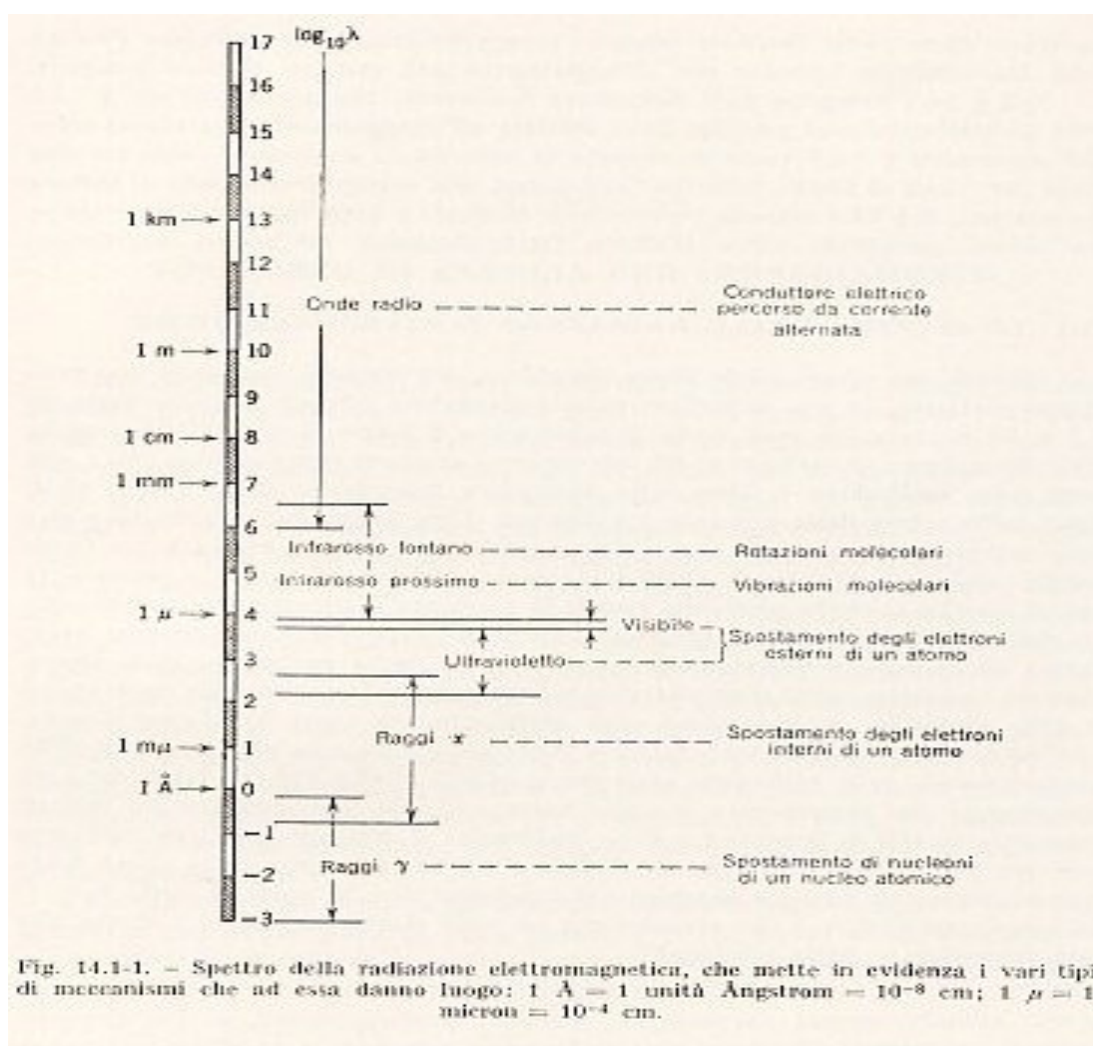


Figura 1. Spettro delle radiazioni elettromagnetiche

Le radiazioni si distinguono tra loro solo per l'intervallo di lunghezze d'onda a cui appartengono. Nel vuoto tutte le forme di energia radiante si muovono con la stessa velocità, vale a dire quella della luce (c). La lunghezza d'onda (λ), che caratterizza un'onda elettromagnetica, è legata alla sua frequenza (ν) dalla relazione:

$$\lambda = c / \nu$$

ove c è pari a 300000 km/s. Nella parte visibile dello spettro le varie lunghezze d'onda sono associate al colore della luce. Se si analizza la radiazione elettromagnetica da un

punto di vista corpuscolare, un'onda elettromagnetica di frequenza ν è identificabile con un fotone, che è una particella con carica nulla, massa nulla ed energia pari a ϵ , ove $\epsilon = h * \nu$ (h = costante di Planck pari a $6,624 * 10^{-27}$ erg * s).

Dall'analisi della precedente equazione e della figura 1, si evince che la diminuzione della lunghezza d'onda di una radiazione elettromagnetica corrisponde ad un aumento dell'energia relativa ai fotoni. Questo comportamento è ascrivibile ai vari meccanismi che originano la radiazione: per esempio, quando una molecola riduce la sua velocità di rotazione viene emessa una piccola quantità di energia e la radiazione corrispondente è generalmente compresa nell'infrarosso. D'altro canto, se un nucleo è soggetto ad una variazione di energia, passando da un livello ad alta energia ad uno a bassa energia, viene emessa una quantità di energia relativamente grande e la radiazione corrispondente è del tipo γ oppure X.

Ciò spiega il motivo per cui l'energia emessa da oggetti riscaldati tende alle piccole lunghezze d'onda (fotoni ad alta energia) con l'aumentare della temperatura del corpo. Lo spettro della luce solare è compreso tra l'infrarosso e l'ultravioletto, in cui si trova anche il visibile. Il sole emette la sua energia raggiante in un *range* di lunghezza d'onda compreso tra $2 * 10^{-7}$ e $6 * 10^{-6}$ m.

La figura 2 riporta quanto esposto.

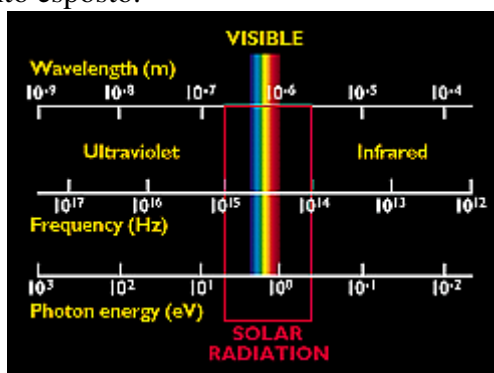


Figura 2. Spettro dell'energia solare

La precedente esposizione spiega i fenomeni associati sia ai sistemi fotovoltaici che a quelli del solare termico.

Nel primo caso gli atomi di silicio colpiti dai raggi solari (fotoni) passano ad un livello energetico superiore, e conseguentemente gli elettroni diventano più mobili. Pertanto si assiste ad un processo combinato di emissione (sole) e di assorbimento (atomi di silicio). Essi tenderebbero in modo spontaneo a ritornare al livello energetico iniziale, ma grazie al cosiddetto "pn junction" mantengono l'energia acquisita. Tale energia immagazzinata può essere rimossa dal sistema come corrente elettrica o rimanere all'interno del sistema creando una differenza di potenziale (effetto fotovoltaico). La combinazione di questi due fenomeni (corrente elettrica e voltaggio) origina la potenza in uscita da una generica cella solare.

Nel secondo caso l'energia solare raggiante colpisce l'assorbitore e la piastra, che assorbono energia e la cedono ai fluidi da scaldare.

STORIA[1]

La scoperta dell'effetto fotovoltaico è noto fin dal 1839, dalle esperienze del fisico francese **Edmond Becquerel** (1820-1891) che presentò alla Accademia delle Scienze di Parigi la sua "Memoria sugli effetti elettrici prodotti sotto l'influenza dei raggi solari", scoperta avvenuta casualmente mentre effettuava delle esperienze su una cella elettrolitica (quindi contenente una soluzione liquida) in cui erano immersi due

elettrodi di platino. Si deve aspettare il 1876 (Smith, Adams e Day) per avere una simile esperienza ripetuta con dispositivi allo stato solido (selenio).

L'idea di sfruttare l'effetto fotovoltaico quale fonte energetica non ebbe modo di svilupparsi finché non si poté operare con materiali che avessero un miglior rendimento. Si deve aspettare fino al 1954 per avere la prima cella solare commerciale in silicio (Person, Fuller e Chapin) realizzata all'interno dei laboratori Bell. I costi iniziali di questa nuova tecnologia erano ingenti e ne restrinsero il campo d'azione a casi particolari, come l'alimentazione di satelliti artificiali. Nonostante ciò, le sperimentazioni vennero portate avanti e solo verso la metà degli anni settanta si iniziò a rivolgere l'attenzione verso utilizzi "terrestri". Le applicazioni concrete non sono mancate ed oggi esistono numerosi impianti fotovoltaici.

Attualmente la ricerca è volta soprattutto all'abbassamento dei costi di produzione ed al miglioramento dei rendimenti dei sistemi fotovoltaici.

SOLARE TERMICO [2, 3]

La tecnologia per l'utilizzo termico dell'energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da farla rientrare tra i modi più razionali e puliti per scaldare l'acqua o l'aria nell'utilizzo domestico e produttivo. La radiazione solare, nonostante la sua scarsa densità (che raggiunge 1kW/m^2 solo nelle giornate di cielo sereno), resta la fonte energetica più abbondante e pulita sulla superficie terrestre. Il rendimento dei pannelli solari è aumentato di un buon 30 % nell'ultimo decennio, rendendo varie applicazioni nell'edilizia, nel terziario e nell'agricoltura commercialmente competitive. L'applicazione più comune è il collettore solare termico utilizzato per scaldare acqua sanitaria.

Analizzando un collettore solare termico piano, esso è costituito da:

1. lastra trasparente;
2. lastra di vetro che fa passare le radiazioni;
3. assorbitore;
4. piastra di rame (buon conduttore) in cui sono ricavati molti canali dove circola un fluido (acqua o aria);
5. isolante termico, che impedisce la dispersione del calore;
6. contenitore che è semplicemente una scatola contenente tutti gli elementi precedenti.

Il sole scalda la piastra e quindi il fluido che, mediante tubi, viene portato all'esterno fino all'apparecchio utilizzatore.

Un metro quadrato di collettore solare può scaldare a $45\div 60\text{ }^\circ\text{C}$ tra i 40 ed i 300 litri d'acqua in un giorno a secondo dell'efficienza che varia con le condizioni climatiche e con la tipologia di collettore tra 30% e 80%. Le tecnologie per utilizzare l'energia solare per produrre calore sono di tre tipi: a bassa, media ed alta temperatura.

Le tecnologie a **bassa temperatura** comprendono i sistemi che usano un collettore solare per riscaldare un liquido o l'aria. Lo scopo è captare e trasferire energia solare per produrre acqua calda o riscaldare gli edifici. Con la denominazione "bassa temperatura" ci si riferisce a fluidi scaldati al di sotto dei $100\text{ }^\circ\text{C}$ (in rare occasioni si può arrivare a $120\text{ }^\circ\text{C}$).

Nel caso dei collettori solari il costo al metro quadro è, in realtà poco indicativo, poiché il vero costo deve essere correlato alla quantità di acqua calda prodotta in un anno. Una famiglia di 4 persone che consuma $50\div 60$ litri di acqua calda a persona ogni giorno, per un totale di $80\div 100$ mila litri annui spende circa 1 milione di vecchie lire per riscaldare l'acqua con energia elettrica e 750.000 £ se la scalda con caldaia a

metano. Se l'impianto solare integra la caldaia per un 60÷70% il risparmio annuo oscilla tra 500 e 700 mila lire ed in 5 anni si ammortizza una spesa di 2,5 ÷ 3,5 milioni di lire. Le agevolazioni statali consentono, inoltre, di detrarre dalle tasse parte delle spese di acquisto e di installazione.

Un primo indicatore di confronto tra le diverse tecnologie a disposizione può essere ritenuta la quantità di anidride carbonica mediamente immessa nell'ambiente per produrre, nelle stesse condizioni, acqua calda sanitaria.

Nel corso dell'analisi energetica, si è stimato che il fabbisogno di energia elettrica di un'utenza monofamiliare (4 persone) per produrre acqua calda sanitaria con uno **scaldabagno elettrico** è pari a 7,74 kWh (elettrici) /giorno. In Italia, per produrre un kWh elettrico, le centrali termoelettriche emettono nell'atmosfera in media 0,58 kg di anidride carbonica (CO₂), uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra [Dati ENEL 1999]. Pertanto, lo scaldabagno in esame è indirettamente responsabile dell'immissione nell'atmosfera di: 0,58 kg CO₂/ kWh (elettrico)*7,74 kWh (elettrici)/giorno = 4,5 kg CO₂/giorno. Questo significa che, per la sola acqua calda sanitaria, utilizzando lo scaldabagno elettrico, una famiglia immette quotidianamente nell'ambiente 4,5 kg CO₂ (con una media procapite di 1,125 kg CO₂/giorno). Nel caso di una **caldaia a metano**, nella combustione si formano 0,25 kg CO₂ per ogni kWh termico; una famiglia di 4 persone dà quindi origine alla seguente produzione giornaliera di anidride carbonica: 0,25 kg CO₂*6,97 kWh (termici) = 1,74 kg CO₂/giorno con una media procapite di 0,435 kg CO₂/ giorno.

Nel caso di **impianti ibridi solare /gas**, ossia impianti solari posti ad integrazione della caldaia a gas, assicurando lo stesso comfort durante tutto l'arco dell'anno, è possibile risparmiare, a Roma, il 60% del consumo di gas: la stessa famiglia produrrà, allora, giornalmente 0,69 kg CO₂, con una media procapite di 0,174 kg CO₂/ giorno.

La riduzione delle emissioni di CO₂ ottenuta con il sistema ibrido è notevole soprattutto rispetto al primo scenario: si passa da 1,125 kg di CO₂ emessi a 0,22 kg di CO₂, con una riduzione percentuale dell'80%. Tra il caso di impiego della caldaia a metano e quello di integrazione di questa con i collettori si verifica una riduzione, in valore assoluto, di 0,33 kg di CO₂ procapite, mentre lo scaldabagno elettrico, se impiegato con il solare, porta ad una riduzione di 0,675 kg di CO₂.

La più comune tra le applicazioni della conversione a **media temperatura** è rappresentata dai forni solari.

Essi sono dispositivi che richiedono la concentrazione dei raggi solari per raggiungere temperature maggiori di 250 °C: in particolare, in Italia riguardano una nicchia di mercato relativa all'hobbistica, mentre possono avere buone applicazioni nei Paesi ove la scarsità di risorse energetiche è un problema quotidiano. Altre applicazioni di questo tipo possono essere legate al calore di processo industriale, ma non sono diffuse. Per convertire il calore in queste temperature si usa il cilindro parabolico. Esso è formato da:

1. superficie a specchio,
2. lastra curva con sezione a parabola ricoperta da specchi;
3. caldaia, tubo orizzontale sistemato sulla parabola nell'opportuna posizione e all'interno scorre un fluido (acqua o aria) scaldato dai raggi riflessi;
4. meccanismo a orologeria, che fa ruotare il cilindro per seguire il movimento del sole;
5. parabola, curva geometrica dove ogni punto è equidistante dal punto fisso e da una retta così i raggi vengono riflessi cadendo perpendicolarmente.

Questo sistema viene utilizzato per far funzionare i “motori solari” dove il calore fa evaporare un gas che spinge un pistone; tali motori sono usati per far funzionare pompe e/o compressori.

Il componente alla base delle tecnologie e dei sistemi solari termici **a concentrazione (alta temperatura)** è un «collettore concentratore», vale a dire un dispositivo in grado di raccogliere e convogliare la radiazione solare verso un ricevitore. Il ricevitore può essere di tipo termico, ma anche fotovoltaico o termofotovoltaico.

In relazione alla geometria e alla disposizione del concentratore rispetto al ricevitore si hanno i concentratori parabolici lineari, a torre con ricevitore centrale e i concentratori parabolici puntuali o a disco.

I recenti sviluppi tecnologici fanno prevedere un rilancio applicativo di questa tecnologia sia per la generazione di energia elettrica, sia per la produzione di calore di processo per l'industria chimica. Generalmente in queste centrali il fluido viene portato allo stato di vapore dal calore raccolto sulla sommità di una torre posta al centro di un campo di specchi oppure all'interno di condotti che percorrono la linea del fuoco di specchi concentratori parabolici. Successivamente il fluido si espande evolvendo in un impianto turbo- vapore simile a quelli utilizzati nella generazione termoelettrica tradizionale.

Soprattutto negli ultimi 5-10 anni, i sistemi solari a concentrazione sono stati oggetto di profonde innovazioni che ne hanno migliorato le prospettive, rendendo superati quei luoghi comuni secondo i quali tali sistemi risulterebbero inadatti alle alte latitudini o inaffidabili a causa dei complicati sistemi di inseguimento del sole. I più recenti sistemi solari a concentrazione sono molto diversi da quelli prodotti appena qualche anno or sono. L'affidabilità sta aumentando e concentrazioni elevate della radiazione solare possono essere ottenute anche con sistemi completamente statici. L'applicazione dell'ottica senza immagini ha svolto un ruolo determinante nel migliorare la qualità delle tecnologie utilizzate. Questa disciplina scientifica ha aperto la strada alla realizzazione di sistemi a concentrazione sempre più versatili, più economici e più efficienti - fino a 3 o 4 volte - di quelli progettati e costruiti sulla base della più nota e tradizionale ottica con immagini. Con l'applicazione combinata dell'ottica con immagini e dell'ottica senza immagini, la radiazione solare può essere, attraverso fasi successive, intensificata fino e oltre a 10.000 volte quella del sole anche in sistemi molto compatti.

L'ottica senza immagini (in inglese "*Non-imaging optics*") è una disciplina scientifica nata a metà degli anni '60 a seguito degli studi condotti indipendentemente da tre scienziati, V.K. Baranov, Maring Ploke e Roland Winston. Essa tratta il modo ottimale di trasferire una radiazione luminosa da una sorgente a un *target* (ricevitore) e trova applicazione nella fisica delle alte energie, nell'astrofisica e nel settore dell'energia solare.

Nel 1965, presso l'Università di Chicago, Roland Winston costruì, nel corso di esperimenti di fisica delle alte energie, il primo "*Non-imaging Concentrator*" per misurare la debolissima radiazione nucleare associata all'effetto Cerenkov.

Oggi questo tipo di concentratore è comunemente chiamato Concentratore Parabolico Composto o anche Concentratore non focalizzante. Si tratta di un componente che, nelle sue diverse versioni, sta rivoluzionando la progettazione e la realizzazione dei sistemi solari a concentrazione, sia termici che fotovoltaici. I concentratori realizzati in base ai principi dell'ottica senza immagini concentrano la luce in modo molto più efficiente dei normali specchi e lenti, che formano immagini. Infatti un concentratore non focalizzante è come un imbuto: la luce che entra nel concentratore attraverso

un'ampia sezione, viene riflessa in modo da uscirne attraversando una sezione molto più ridotta. Questo processo distrugge l'immagine della sorgente, ma in un «forno solare» non interessa ottenere un'immagine bensì concentrare al massimo l'intensità della radiazione solare per unità di superficie.

Anche la recente disponibilità di nuovi materiali (alcuni utilizzati finora solo nell'industria spaziale) ha consentito di migliorare le prestazioni dei sistemi a concentrazione: rivestimenti a film sottile, nuovi materiali riflettenti, metalli ultraleggeri, materiali resistenti alle elevate temperature (questi ultimi importanti per la costruzione di ricevitori capaci di operare a temperature dell'ordine di 1.000-2.000 °C e di alimentare sistemi per la produzione di energia elettrica e reattori chimici). Infine, innovazioni di rilievo riguardano le architetture degli impianti, studiate per ridurre al minimo le complicazioni impiantistiche e massimizzare le efficienze dei vari componenti.

In Italia il tema del solare a concentrazione, dopo circa 15 anni, è tornato ad essere di grande attualità a seguito di un finanziamento di 200 miliardi di lire assegnato all'ENEA per un Piano strategico di sviluppo del solare termoelettrico su larga scala.

FOTOVOLTAICO[1, 3, 4]

La tecnologia fotovoltaica (FV) consente di trasformare direttamente l'energia associata alla radiazione solare in energia elettrica.

Sviluppata alla fine degli anni 50 nell'ambito dei programmi spaziali, per i quali occorreva disporre di una fonte di energia affidabile ed inesauribile, la tecnologia fotovoltaica (FV) si va oggi diffondendo molto rapidamente anche per applicazioni terrestri, come l'alimentazione di utenze isolate o gli impianti installati sugli edifici e collegati ad una rete elettrica preesistente.

Essa sfrutta il cosiddetto **effetto fotovoltaico** che è basato sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori che, opportunamente trattati ed interfacciati, sono in grado di convertire l'energia della radiazione solare che li colpisce in energia elettrica, senza bisogno di parti meccaniche in movimento e senza l'uso di alcun combustibile. Il materiale semiconduttore quasi universalmente impiegato oggi a tale scopo è il silicio.

Di tutta l'energia solare che investe una cella solare sotto forma di radiazione luminosa, solo una parte viene convertita in energia elettrica (energia utile).

L'efficienza di conversione di celle commerciali al silicio monocristallino è in genere compresa tra il 10% e il 14%, mentre realizzazioni speciali hanno raggiunto valori del 23%. Questo significa che per 1kW di potenza che raggiunge un pannello si ha disponibile ai morsetti una potenza di 0,1-0,14 kW con pannelli commerciali e fino a 0,24 kW utilizzando pannelli speciali da laboratorio. Se la massima efficienza raggiungibile dal silicio monocristallino è intorno al 20%, per altri tipi di moduli questi valori si abbassano ulteriormente: al 17% per il silicio policristallino ed intorno al 10% per il silicio amorfo (che fa parte della tecnologia delle *thin film cells* o celle a film sottile).

Il **silicio**, materiale maggiormente utilizzato dalle industrie per la fabbricazione delle celle fotovoltaiche, è l'elemento più diffuso in natura dopo l'ossigeno. Per essere opportunamente sfruttato deve presentare una opportuna struttura molecolare (monocristallina, policristallina o amorfa) e un elevato grado di purezza, caratteristiche non riscontrabili nei minerali in cui si trova allo stato naturale. Nella struttura monocristallina gli atomi sono orientati nello stesso verso e legati, gli uni agli altri, nello stesso modo; in quella policristallina gli atomi sono aggregati in piccoli grani monocristallini orientati in modo casuale; in quella amorfa gli atomi sono orientati in

modo casuale, come in un liquido, pur conservando le caratteristiche dei corpi solidi. Si distinguono diversi tipi di silicio in dipendenza del grado di purezza:

1. silicio di grado elettronico (le impurezze sono circa 1 parte su 100 milioni),
2. silicio di grado solare (impurezze di una parte su 10.000),
3. silicio metallurgico (impurezze di 1 parte su 100)..

In particolare, il silicio di grado elettronico, impiegato nella costruzione di componenti elettronici (circuiti integrati, transistor ecc.), deve essere estremamente puro e con struttura monocristallina. Le tecnologie sviluppate permettono di ottenerlo partendo dal silicio metallurgico. Questo tipo di silicio è molto costoso, fortunatamente per le celle solari è sufficiente un grado inferiore di purezza e per questo vengono spesso usati gli scarti dell'industria elettronica.

Anche tra il silicio di grado solare esistono notevoli differenze di costi: quello monocristallino, a fronte di una alta efficienza energetica, ha dei costi di produzione maggiori e dei consumi energetici per la loro produzione molto più elevati rispetto al silicio amorfo.

Il componente base di un impianto FV è la cella fotovoltaica, che è in grado di produrre circa 1,5 Watt di potenza in condizioni standard, vale a dire quando essa si trova ad una temperatura di 25 °C ed è sottoposta ad una potenza della radiazione pari a 1000 W/m².

La potenza in uscita da un dispositivo FV quando esso lavora in condizioni standard prende il nome di potenza di picco (Wp) ed è un valore che viene usato come riferimento. L'output elettrico reale in esercizio è in realtà minore del valore di picco a causa delle temperature più elevate e dei valori più bassi della radiazione. Più celle assemblate e collegate tra di loro in una unica struttura formano il modulo fotovoltaico.

Il modulo FV tradizionale è costituito dal collegamento in serie di 36 celle, per ottenere una potenza in uscita pari a circa 50 Watt, ma oggi, soprattutto per esigenze architettoniche, i produttori mettono sul mercato moduli costituiti da un numero di celle molto più alto e di conseguenza di più elevata potenza, anche fino a 200 Watt per ogni singolo modulo. A seconda della tensione necessaria all'alimentazione delle utenze elettriche, più moduli possono poi essere collegati in serie in una "stringa". La potenza elettrica richiesta determina poi il numero di stringhe da collegare in parallelo per realizzare finalmente un generatore fotovoltaico. Il trasferimento dell'energia dal sistema fotovoltaico all'utenza avviene attraverso ulteriori dispositivi, necessari per trasformare ed adattare la corrente continua prodotta dai moduli alle esigenze dell'utenza finale. Il complesso di tali dispositivi prende il nome di BOS (Balance of System). Un componente essenziale del BOS, se le utenze devono essere alimentate in corrente alternata, è l'inverter, dispositivo che converte la corrente continua in uscita dal generatore FV in corrente alternata.

Data la loro modularità, i sistemi fotovoltaici presentano una estrema flessibilità di impiego. La principale classificazione dei sistemi fotovoltaici divide i sistemi in base alla loro configurazione elettrica rispettivamente in: sistemi autonomi ("*stand alone*") e sistemi connessi alla rete elettrica ("*grid connected*"). I sistemi connessi alla rete elettrica si dividono a loro volta in: centrali fotovoltaiche e sistemi integrati negli edifici.

La quantità di energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico dipende da numerosi fattori: superficie dell'impianto, posizione dei moduli FV nello spazio (angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale ed angolo di orientamento rispetto al

Sud), valori della radiazione solare incidente nel sito di installazione, efficienza dei moduli FV, efficienza del BOS, altri parametri (p.es. temperatura di funzionamento).

Le voci che costituiscono il costo di un sistema fotovoltaico sono:

1. costi di investimento,
2. costi d'esercizio (manutenzione e personale),
3. e altri costi (assicurazioni e tasse).

Il costo d'investimento è in prima approssimazione diviso al 50% tra i moduli ed il resto del sistema. Nel corso degli ultimi due decenni il prezzo dei moduli è notevolmente diminuito al crescere del mercato. Tuttavia, il prezzo del kWp installato, prossimo ai 8.000 euro, è ancora tale da rendere questa tecnologia non competitiva dal punto di vista economico con altri sistemi energetici, se non in particolari nicchie di mercato o in presenza di meccanismi di incentivazione.

I sistemi fotovoltaici, specialmente se integrati negli edifici, non hanno praticamente impatto ambientale (se non per i processi industriali di produzione delle celle) e sono oggi particolarmente ben visti da tutta l'opinione pubblica.

La loro silenziosità, l'assenza di qualsiasi emissione, il loro sfruttare direttamente l'energia solare hanno giustamente contribuito alla creazione di quella immagine di energia "pulita" a cui sono associati i pannelli fotovoltaici. Spesso infatti, quando si parla di energie rinnovabili, viene immediatamente fatta l'associazione con l'energia ottenibile direttamente dal sole mediante i pannelli fotovoltaici.

I benefici ambientali ottenibili dall'adozione di sistemi FV sono proporzionali alla quantità di energia prodotta, supponendo che questa vada a sostituire dell'energia altrimenti fornita da fonti convenzionali.

Per produrre un kWh elettrico vengono bruciati mediamente l'equivalente di 2,56 kWh sotto forma di combustibili fossili e di conseguenza emessi nell'aria circa 0,53 kg di anidride carbonica (CO₂) (fattore di emissione del mix elettrico italiano alla distribuzione).

Si può dire quindi che ogni kWh prodotto dal sistema fotovoltaico evita l'emissione di 0,53 kg di anidride carbonica.

Questo ragionamento può essere ripetuto per tutte le tipologie di inquinanti. L'impatto visivo delle centrali fotovoltaici è sicuramente minore di quello delle centrali termoelettriche o di qualsiasi grosso impianto industriale; in particolare le installazioni hanno bassa altezza. L'integrazione negli edifici privati permette addirittura di essere virtualmente invisibile se si sfrutta la copertura dell'edificio, oppure di ottenere notevoli soluzioni architettoniche con le facciate fotovoltaiche.

In definitiva i vantaggi principali dei sistemi fotovoltaici possono essere considerati:

1. la modularità del sistema;
2. le esigenze di manutenzione ridotte (dovute all'assenza di parti in movimento);
3. la semplicità d'utilizzo. Infatti, un piccolo sistema isolato FV ha il vantaggio di produrre energia elettrica esattamente dove serve e nella quantità vicina alla effettiva domanda; un impatto ambientale praticamente nullo ossia non contribuisce all'effetto serra, alle patologie respiratorie, alle piogge acide.

FONTI E RIFERIMENTI

[1]: <http://enelgreenpower.enel.it/it/>

[2]: <http://web.tiscali.it/appuntiericerche/Scienze/energia.HTML>

[3]: <http://www.isesitalia.it/>

[4]: [energialab](#) (ing. Doria, Forni, Andretta, Puglioli)

energia!lab

il laboratorio per la gestione dell'energia
