

Energia solare

Introduzione

Nel nostro Paese, l'irraggiamento medio annuo va dai 3,6 kWh per m² al giorno della Pianura Padana ai 4,7 kWh per m² al giorno del Centro-Sud, ai 5,4 kWh per m² al giorno della Sicilia: ne deriva che alcune regioni hanno un potenziale produttivo molto elevato, anche se l'intero territorio nazionale gode comunque di condizioni molto favorevoli all'installazione di impianti di produzione solare. L'Italia è uno dei maggiori Paesi produttori di energia solare ed è all'avanguardia anche nel settore della ricerca e delle innovazioni tecnologiche. Secondo il Gestore dei Servizi Energetici (GSE) gli impianti in esercizio collegati alla rete elettrica in Italia nel 2015 sono 688.398, per una potenza installata di 18.892 MW. Quindi tra il 2014 e il 2015 il numero degli impianti fotovoltaici è cresciuto del 6,2%, mentre la potenza installata dell'1,6%.

(Fonte: GSE, Rapporto Statistico "Energia da Fonti Rinnovabili in Italia - 2015").

Conoscere il solare

Che cos'è

Si dice solare l'energia radiante sprigionata dal Sole per effetto di reazioni nucleari (fusione dell'idrogeno) e trasmessa alla Terra sotto forma di radiazione elettromagnetica. Le radiazioni elettromagnetiche sono costituite da fotoni. Il fotone è una particella neutra che si propaga nel vuoto, alla velocità di circa 300.000 chilometri al secondo, con una energia che dipende dalla sua frequenza e con massa che si considera nulla quando è a riposo (non in movimento). L'intensità delle radiazioni solari che arrivano ogni anno sulla superficie terrestre equivale a 80 mila miliardi di tonnellate di petrolio equivalente (le cosiddette TEP, che individuano una quantità di energia pari a quella prodotta da una tonnellata di petrolio). Questa è una quantità infinitesimale rispetto alla produzione di energia che avviene nel Sole grazie alle reazioni nucleari; ma è anche una quantità enorme, se si pensa che la domanda mondiale di energia è pari solo a 8 miliardi di TEP l'anno. Questa energia viene assorbita dall'atmosfera e dalla superficie terrestre e si trasforma in energia eolica, idraulica e chimica. Ogni forma di vita presente sulla Terra esiste grazie all'energia inviata dal Sole. Ogni cosa, a partire da ciò che mangiamo ogni giorno, è legata, direttamente o indirettamente, ad essa. Anche i combustibili fossili, derivati dall'alterazione chimico-fisica di organismi viventi preistorici, contengono energia solare. La radiazione solare, nonostante raggiunga al massimo la potenza di 1 chilowatt per metro quadrato (irraggiamento al suolo in condizioni di giornata serena e sole a mezzogiorno), resta la fonte energetica più abbondante e pulita sulla Terra.

Il Sole

Il Sole è la stella a noi più vicina e quella che consente la vita sulla Terra. Il Sole è una sfera con un diametro di 1,4 milioni di chilometri (109 volte quello della Terra) e una massa circa 300.000 più grande di quella terrestre. È formato per il 75% da idrogeno, il 23% di elio e solo il 2% di elementi più pesanti. Produce il proprio calore trasformando l'idrogeno in elio nella sua parte più interna, dove la temperatura raggiunge i 15 milioni di gradi centigradi (alla superficie la temperatura è di circa 6000 gradi centigradi). La reazione di trasformazione si chiama fusione nucleare e mette insieme quattro nuclei di idrogeno (protoni) per formare un nucleo di elio, liberando grandi quantità di energia. Questa energia, sotto forma di fotoni, si irradia nello spazio. Si definisce costante solare, la radiazione che incide perpendicolarmente su una superficie unitaria posta al limite superiore dell'atmosfera ed è pari a 1350 watt per metro quadrato. Questo valore, moltiplicato per la superficie della sezione della Terra (raggio medio terrestre al quadrato per pi greco) ci fornisce la quantità di energia che la Terra riceve dal Sole ogni secondo: 173.000 terawatt.

Il bilancio energetico sulla Terra

Un raggio di Sole arriva sulla superficie terrestre dopo un viaggio di 150 milioni di chilometri che percorre in 8 minuti.

L'energia solare ricevuta dalla Terra, è pari a circa 170.000 terawatt (unità di misura pari a 10 watt alla dodicesima, utilizzata per quantificare l'energia solare). Di questi, 50.000 terawatt sono riflessi dagli strati superiori dell'atmosfera, 30.000 vengono assorbiti dall'atmosfera e 90.000 raggiungono la superficie terrestre.

La maggior parte di questi ultimi viene riflessa (per esempio dagli specchi d'acqua) o assorbita. Una piccola parte, invece, si trasforma: 400 terawatt fanno evaporare l'acqua dei mari e la trasformano in nubi, 370 terawatt mettono in moto il vento e 80 terawatt vengono trasformati dalla fotosintesi delle piante in energia chimica.

I 30.000 terawatt assorbiti dall'atmosfera e i 90.000 che raggiungono la superficie terrestre, vengono poi immessi nuovamente in atmosfera sotto forma di radiazione infrarossa e irraggiati verso lo spazio. In questo modo il bilancio energetico resta costante come pure la temperatura dell'atmosfera e della superficie terrestre. L'effetto serra, ovvero il fenomeno naturale di riscaldamento degli strati più bassi dell'atmosfera che normalmente consente la vita sulla Terra, ultimamente si è accentuato per effetto di alcune attività umane, con conseguenze spesso molto gravi (per esempio cambiamenti climatici).

Il bilancio solare sulla Terra

Il Sole illuminerà e riscalderà la Terra fino a quando non si saranno esaurite le sue riserve d'idrogeno, ovvero tra circa 5 miliardi di anni. La radiazione solare raggiunge la superficie terrestre in maniera non omogenea. Ciò dipende dalla sua interazione con l'atmosfera e dall'angolo d'incidenza dei raggi solari. L'angolo d'incidenza varia in base a due fattori: la rotazione della Terra intorno al proprio asse, determinante per l'alternarsi del giorno con la notte, e l'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al piano dell'orbita, che provoca una variazione stagionale dell'altezza massima del Sole sull'orizzonte. Quando il Sole è perpendicolare alla superficie terrestre, si ha la massima concentrazione dei suoi raggi al suolo. Invece, se i raggi solari raggiungono la superficie terrestre con una certa inclinazione, la stessa quantità di energia si disperde su una superficie più grande. Per questo l'energia solare può essere sfruttata con la massima intensità solo entro una fascia compresa tra il 45° di latitudine nord e sud.

La radiazione utile

Dell'enorme flusso di energia che arriva dal Sole sulla Terra solo una parte può essere trasformata in energia utile. La quantità di energia solare in arrivo sulla superficie terrestre che può essere utilmente "raccolta" dipende dall'irraggiamento del luogo. L'irraggiamento è infatti la quantità di energia solare incidente su una superficie unitaria in un determinato intervallo di tempo, tipicamente un giorno (si misura in chilowattora per metro quadro per giorno). Il valore della radiazione solare che arriva sull'unità di superficie (in determinato istante) viene invece denominato radianza (si misura in chilowatt per metro quadro). L'irraggiamento è influenzato dalle condizioni climatiche locali (nuvolosità, foschia, ecc.) e dipende dalla latitudine del luogo: come è noto cresce quanto più ci si avvicina all'equatore. In Italia l'irraggiamento medio annuo va dai 3,6 kWh per m² al giorno della Pianura Padana ai 4,7 kWh per m² al giorno del Centro-Sud, ai 5,4 kWh per m² al giorno della Sicilia. In località favorevoli è possibile raccogliere annualmente circa 2.000 chilowattora da ogni metro quadro di superficie, il che è l'equivalente energetico di 1,5 barili di petrolio per metro quadro.

Un po' di storia

Da sempre l'uomo sa ciò che succede quando un raggio di Sole illumina un corpo. Se questo è di colore chiaro o è uno specchio, l'energia del Sole viene riflessa. Se è scuro, la radiazione solare viene assorbita e il corpo si riscalda. Su questo principio si basa il primo collettore solare, inventato nel 1767 dallo svizzero Horace de Saussure: una "pentola nera" utilizzata dai primi pionieri americani per riscaldare l'acqua e cucinare mentre viaggiavano verso l'Ovest. Nel 1891, Clarence Kemp brevettò il primo scaldatore d'acqua ad energia solare. L'idea piacque, ma l'uomo conosceva già sistemi più semplici ed economici per riscaldare acqua. Solo ottanta anni più tardi, a seguito della crisi energetica del 1973 e del conseguente aumento del prezzo del petrolio, lo scaldatore d'acqua di Kemp avrebbe assunto una forma più moderna, diventando quel pannello solare che oggi si sta diffondendo rapidamente.

Oltre a quello termico, l'uomo ha recentemente imparato a sfruttare anche l'effetto elettromagnetico delle radiazioni solari. Si tratta di convertire i raggi del Sole in energia elettrica mediante appositi dispositivi. Il procedimento, noto come conversione o effetto fotovoltaico, fu scoperto nel 1839 dal fisico Bequerel, ma la prima applicazione commerciale si ebbe solo nel 1954 negli Stati Uniti, quando i laboratori Bell realizzarono la prima cella fotovoltaica in silicio monocristallino con un rendimento pari al 6%. I primi passi della conversione fotovoltaica sono dunque avvenuti nell'industria dei semiconduttori e dell'informatica.

Un grosso incentivo nello sviluppo di questa tecnologia, è venuto dall'impiego di celle al silicio nei generatori di energia elettrica per satelliti o navicelle spaziali. La prima di queste applicazioni risale al 1958. Oggi le principali applicazioni sono terrestri e la produzione industriale di celle fotovoltaiche è aumentata, dagli anni Sessanta ad oggi, con una conseguente ricaduta dei prezzi di produzione. Sono stati raggiunti rendimenti notevoli, fino al 10-15%, che potranno rendere sempre più competitivo lo sfruttamento dell'energia solare nella produzione di elettricità.

Un po' di numeri nel mondo

La capacità fotovoltaica installata nel mondo nel 2015 ha raggiunto i 227 GW, grazie ai 50 GW installati durante l'anno. L'Italia nel 2015 si è posizionata al 5° posto per potenza installata, dopo Cina, Germania, Giappone, Stati Uniti, e prima di Francia Spagna, India, Australia. Nell'analizzare i dati, occorre tenere presente anche l'estensione dei vari Stati a confronto: è significativo che un Paese piccolo come l'Italia possa competere con un gigante come gli USA.

Se si analizzano i dati delle diverse aree geografiche del mondo, si può osservare come l'Europa abbia sempre svolto il ruolo di pioniere in questo campo, ed ora detiene il primato della maggior potenza installata con 95 GW (il 42% della potenza installata mondiale), contro i 25,6 GW degli USA: visto il divario, è assai probabile che l'Europa continui ancora per molto a svolgere il suo ruolo di leader nel settore fotovoltaico. Il Giappone è uno dei Paesi emergenti in questo campo, mentre solo a partire dagli anni 2007-2008 si è iniziato a vedere incrementi significativi anche nel resto del mondo.

Per quanto riguarda il solare termico, le tecnologia per riscaldare l'acqua grazie all'energia solare si stanno diffondendo in molti paesi. Cina, Stati Uniti, Germania e Turchia sono stati i Paesi protagonisti del mercato del solare termico nel 2015. In particolare nel 2015 il 71% della capacità termica globale era installato in Cina. Nel 2015 sono stati installati 21 Gigawatt termici (GWth) in tutto il mondo e la potenza totale installata ha raggiunto 456 GWth.

(Fonte: *Renewables 2016 Global Status Report*)

Un po' di numeri in Italia

L'Italia è il Paese del Sole, non solo nelle canzoni popolari e nell'immagine che ne hanno i turisti, ma anche dal punto di vista energetico. Nel nostro Paese, l'irraggiamento medio annuo va dai 3,6 kWh per m² al giorno della Pianura Padana ai 4,7 kWh per m² al giorno del Centro-Sud, ai 5,4 kWh per m² al giorno della Sicilia: ne deriva che alcune regioni hanno un potenziale produttivo molto elevato, anche se l'intero territorio nazionale, in realtà, gode comunque di condizioni molto favorevoli all'installazione di impianti di produzione solare. L'Italia è uno dei maggiori Paesi produttori di energia solare ed è all'avanguardia anche nel settore della ricerca e delle innovazioni tecnologiche.

A partire dal 2007, anno in cui si è registrato il boom dell'energia solare in Italia, la crescita non si è arrestata. Nel 2015 si è registrato un incremento dell'1,6% della potenza installata rispetto al 2014. Secondo il Gestore dei Servizi Energetici (GSE) gli impianti da fonte solare in esercizio in Italia nel 2015 erano 688.398 (+6,2% rispetto al 2014) per una potenza installata di 18.892 MW.

In particolare dei 688.398 impianti, ben il 58% ha potenza compresa tra 3 e 20 kW. Un ulteriore 33% è costituito dagli impianti piccoli (< 3 kW), che nel 2015 hanno raggiunto le 228.267 unità, per una potenza installata di 627 MW. Per quanto riguarda gli impianti con potenza compresa fra 20 kW e 1 MW, nel 2015 hanno raggiunto le 10.566 unità, per una potenza installata totale pari a 7.266 MW, mentre quelli superiori ad 1 MW hanno raggiunto le 1.127 unità, con una potenza totale installata pari a 4.126 MW.

Nel 2015 la regione Lombardia si è riconfermata al primo posto in termini di numerosità di impianti (101.403 unità), seguita dal Veneto (93.168 unità) e dall'Emilia Romagna (56.951 unità). Le regioni che hanno evidenziato i maggiori tassi di crescita sono state la Liguria (8,8%) e il Lazio e l'Emilia Romagna (8,3%). In termini di potenza, invece, il primato è spettato alla Puglia (2.600 MW), seguita da Lombardia (2.109 MW) ed Emilia Romagna (1.898 MW). Le variazioni più rilevanti rispetto all'anno precedente per quanto riguarda la potenza installata si sono registrate in Liguria (+5,4%) e in Campania (+2,9%). (NOTA: la maggiore numerosità degli impianti fotovoltaici riscontrata nelle regioni del nord e del centro è da attribuirsi anche alla elevata densità abitativa di queste regioni).

Il 44% della capacità installata è al Nord, il 37% al Sud e il 19% al Centro. In particolare è la Puglia, con il 13,8%, ad avere la massima potenza installata, seguita da Lombardia (11,2%) ed Emilia Romagna (10%). La mappa a livello provinciale sulla distribuzione percentuale della potenza evidenzia il contributo sostanziale di alcune Province del Nord: Cuneo, Brescia, Ravenna e Torino rispettivamente con il 2,9%, il 2,2% e il 2% dei 18.892 MW totali. Nel Sud Italia, Lecce col 3,6% fornisce i contributi più elevati a livello nazionale. Nelle Regioni del Centro si distinguono Roma e Viterbo con rispettivamente il 2,2% e il 2%. L'analisi delle cifre, da sola, non è però sufficiente a dare il quadro del settore fotovoltaico in Italia e a individuare le regioni più "virtuose" e "solari": nell'osservare i dati, occorre tenere presente la densità abitativa delle regioni, elevatissima ad esempio in Lombardia e molto bassa in regioni come il Trentino Alto Adige, la Valle d'Aosta, la Basilicata o il Molise. GSE pubblica periodicamente i dati degli impianti fotovoltaici in Italia e un atlante completo degli impianti fotovoltaici nel nostro Paese (ATLASOLE).

(Fonte: GSE, Rapporto statistico "Energia da Fonti Rinnovabili in Italia – 2015")

Produzione di energia

Sistemi solari

Si definiscono **sistemi solari passivi** quelli in cui l'energia solare viene utilizzata direttamente. Le serre, ad esempio, sono strutture di vetro che permettono il passaggio del Sole in entrata, ma non ne fanno uscire il calore. In questo modo, esse possono mantenere al loro interno temperature superiori a quelle esterne. Vi sono poi i distillatori solari nei quali, in uno spazio chiuso e coperto da lastre trasparenti esposte al Sole, l'acqua marina evapora, condensandosi poi sotto forma di acqua priva di sali e, pertanto, riutilizzabile. Nei **sistemi solari attivi**, invece, l'energia solare viene raccolta e trasformata in energia termica o elettrica prima di essere utilizzata. Sono sistemi di questo genere i **pannelli solari termici**, i **collettori a concentrazione**, impiegati nella produzione di energia termica, e i **pannelli solari fotovoltaici**, per la produzione di energia elettrica. Le tecnologie migliori permettono anche la cogenerazione di più tipologie di energia ed è possibile accumulare l'energia termica in molti modi e per differenti usi.

Pannelli solari termici

I pannelli solari termici catturano l'energia del Sole e la utilizzano per produrre acqua calda (fino a 60-70 gradi centigradi) che, accumulata in un apposito serbatoio, può essere utilizzata sia per gli usi domestici (per esempio per il riscaldamento delle abitazioni e dell'acqua) sia per quelli industriali sia per la produzione di energia elettrica su vasta scala attraverso le centrali termoelettriche solari.

Esistono diverse tipologie di pannelli solari termici:

- **Pannelli a piastra**
- **I collettori a concentrazione**
- **Collettori a tubi sottovuoto**

Pannelli a piastra

Il sistema a pannelli solari è composto da due elementi: il **pannello solare** vero e proprio e il **serbatoio d'accumulo**. Il primo è composto da un assorbitore di calore solare, ossia da una lastra d'acciaio o di rame, all'interno della quale passano i tubi in cui scorre il fluido che deve essere riscaldato dal Sole: in genere si tratta di acqua addizionata con antigelo per tollerare il freddo invernale. Sopra l'assorbitore è posta una lastra di vetro che fa passare i raggi solari in entrata, ma non li fa uscire, in modo che l'ambiente sottostante si mantenga caldo. Il serbatoio contiene uno scambiatore di calore che permette di trasmettere il calore dal liquido riscaldato nell'assorbitore all'acqua dell'impianto idraulico di casa. I pannelli solari termici vengono installati in posizione fissa, se possibile orientati verso sud, in modo da ricevere la massima quantità di radiazioni. Un metro quadrato di collettore solare può scaldare da 40 a 300 litri di acqua al giorno a 45-60 gradi centigradi. L'efficienza varia a seconda delle condizioni climatiche e della tipologia del collettore dal 30% all'80%. Il rendimento dei pannelli solari è aumentato negli ultimi dieci anni di circa 30%.

Collettori a concentrazione

I collettori a concentrazione sono pannelli solari termici che utilizzano un sistema di specchi che riflette i raggi del Sole facendoli convergere su un ricevitore. I collettori possono essere di tipo lineare, quando concentrano i raggi del Sole sul segmento di una retta, o possono concentrare i raggi in un punto, riscaldando il fluido in uscita dal pannello a temperature superiori ai 100 gradi centigradi. L'energia termica così prodotta può essere direttamente inviata agli utilizzatori. Oppure il calore prodotto dai vari concentratori solari può azionare i motori che sono attivati dal calore a medie e alte temperature (per esempio per pompare acqua o altre applicazioni meccaniche). L'energia termica può anche essere trasformata in energia elettrica grazie a centrali termoelettriche solari. In questi impianti l'energia termica catturata dai collettori viene impiegata per trasformare l'acqua in vapore che, a sua volta, aziona una turbina accoppiata ad un generatore di energia elettrica. Si tratta di centrali pulite e con un impatto ambientale molto ridotto rispetto a quelle alimentate con combustibili fossili, dal momento che l'unica emissione che producono nell'atmosfera è costituita dal vapore.

Collettori a tubi sottovuoto

Esistono anche pannelli solari termici detti collettori a tubi sottovuoto che sono composti da tubi di vetro speciale sottovuoto, ricoperti da uno strato che trasforma la luce solare in calore. In questo caso l'assorbitore di calore è di forma circolare ed è alloggiato all'interno della cavità sottovuoto dei tubi stessi; in questo modo il fluido che conduce il calore evapora e, cedendo il suo calore all'estremità superiore del tubo, si condensa e ritorna in basso. A differenza dei pannelli a piastra, questa tipologia di collettori sottovuoto non conduce calore (essendo l'aria il migliore isolamento), per cui non si verificano perdite e pertanto il loro rendimento è superiore. Quindi questi collettori richiedono una minore superficie espositiva rispetto alle altre tipologie di pannelli e sono capaci di trattenere il calore accumulato anche in condizioni atmosferiche molto rigide, garantendo prestazioni elevate e costanti durante l'intero arco dell'anno. Per questi motivi possono essere utilizzati anche in zone con un'insolazione medio-bassa o con condizioni climatiche particolarmente rigide durante l'inverno, come in alta montagna o nei paesi nordici.

Accumulatori di energia

Come per altre fonti rinnovabili anche per l'energia solare uno dei limiti da superare è l'irregolarità dell'energia disponibile, per cui i sistemi di accumulo sono un aspetto importante per l'evoluzione e la diffusione delle tecnologie sviluppate. L'energia prodotta dagli impianti termosolari non deve essere limitata alle sole ore di insolazione né trovano ostacolo nelle fluttuazioni dei passaggi nuvolosi. A tale scopo, due tecniche sono state già largamente collaudate. Esse offrono anche un migliore fattore di utilizzo dell'installazione e quindi un costo minore per la produzione di energia elettrica:

- **accumulo dell'energia termica:** il calore prodotto viene usato per riscaldare un mezzo dal quale, al momento opportuno, si estrae il calore per produrre l'energia elettrica. Questi dispositivi sono di basso costo, alta efficienza e permettono di mantenere l'impianto operativo durante i picchi della domanda e durante le ore notturne. Essi hanno anche il vantaggio di eliminare, in molti casi, le fluttuazioni dovute ai fenomeni nuvolosi.
- **sistemi ibridi solare-metano:** durante i periodi prolungati di assenza di calore solare l'energia mancante può essere data dal metano, con riduzione dei costi. Un sistema ibrido può essere economicamente conveniente anche per potenze di energia solare modesta.

I pannelli solari fotovoltaici

Il fotovoltaico è una tecnologia che consente di trasformare direttamente la luce solare in energia elettrica sfruttando il cosiddetto **effetto fotovoltaico**. Esso si basa sulle proprietà che hanno alcuni materiali semiconduttori come il silicio che, opportunamente trattato, genera energia elettrica quando viene colpito dalle radiazioni solari. Le celle fotovoltaiche sono il dispositivo più elementare capace di operare tale conversione; ogni cella produce circa 1,5 watt di potenza in condizioni standard, cioè quando si trova ad una temperatura di 25 gradi centigradi ed è sottoposta ad una potenza della radiazione pari a 100 watt al metro quadro. La potenza in uscita da un impianto fotovoltaico in condizioni standard si chiama "**potenza di picco**" (Wp): esprime la potenza elettrica erogata da un generatore fotovoltaico con un irraggiamento di 1.000 watt per metro quadro, temperatura dei moduli di 25 gradi centigradi e una massa d'aria pari a 1,5. In realtà l'energia elettrica prodotta è minore del valore del picco a causa delle temperature più elevate e dei valori più bassi della radiazione. Molte celle assemblate e collegate tra loro in un'unica struttura formano un **modulo fotovoltaico**. Il modulo tradizionale è formato da una serie di 36 celle, per ottenere una potenza in uscita di circa 50 watt, ma attualmente, soprattutto per esigenze architettoniche, si trovano in commercio moduli con un numero molto più alto di celle e quindi si raggiungono potenze fino a 200 watt per ogni singolo modulo. Per aumentare la potenza elettrica è necessario collegare più moduli: più moduli formano un **pannello** e, analogamente, più pannelli formano una **stringa**.

Gli impianti solari

Le centrali termoelettriche solari

Le torri solari

Tra i collettori a concentrazione vi sono le torri solari che consistono in un sistema di specchi che inseguono il moto del Sole, chiamati **eliostati**, che riflettono l'energia solare su di un recettore montato in cima ad una torre localizzata al centro. Il calore solare è raccolto da un fluido (un sale fuso) che ha anche la funzione di accumulo di energia. Con il calore accumulato nei sali fusi si produce del vapore (565 gradi centigradi), allo scopo di fare girare un turbo-generatore elettrico.

Specchi parabolici lineari

Esistono poi gli **specchi parabolici lineari** denominati con il termine **SEGS** (*Solar Electric Generating System*): essi sono usati per focalizzare i raggi solari su un lungo tubo ricevente posizionato lungo la linea dei concentratori. Un mezzo portatore di calore, ad esempio olio, pompato attraverso i tubi ricettori, alimenta una centrale. Il calore solare è trasformato in vapore allo scopo di far funzionare un turbo-generatore elettrico. La temperatura tipica di operazione è di 390 gradi centigradi. Tali impianti oggi hanno dimensioni tipiche dell'ordine da 30 a 80 megawatt elettrici e bruciano anche una certa quantità di combustibile fossile (gas naturale nel miglior caso) per produrre energia quando l'energia solare non è sufficiente.

Gli impianti fotovoltaici

L'impianto fotovoltaico è l'insieme di componenti meccanici, elettrici ed elettronici che captano l'energia solare, la trasformano in energia elettrica, fino a renderla disponibile all'utilizzo da parte dell'utente finale. Esistono due tipi di

sistemi fotovoltaici: gli impianti con accumulo e quelli senza. I primi sono provvisti di batterie al piombo per accumulare energia elettrica durante le ore di Sole, utilizzandola poi quando il Sole non c'è.

Impianti isolati

Sono i sistemi non collegati alla rete elettrica nazionale che alimentano direttamente alcune apparecchiature. Posseggono anche un sistema di batterie che garantisce l'erogazione di corrente anche nelle ore di minore illuminazione o di buio. Questi impianti risultano tecnicamente ed economicamente vantaggiosi nei casi in cui la rete elettrica è assente o difficilmente raggiungibile. Sono diffusi soprattutto nei paesi in via di sviluppo per utenze di carattere rurale che le utilizzano anche per il pompaggio dell'acqua. In Italia sono stati realizzati molti impianti fotovoltaici di elettrificazione rurale e montana soprattutto al Sud, nelle isole e sull'arco alpino. Attualmente le applicazioni più diffuse servono per alimentare:

- apparecchiature per il pompaggio dell'acqua;
- ripetitori radio, stazioni di rilevamento e trasmissione dati (meteorologici e sismici), apparecchi telefonici;
- apparecchi di refrigerazione, specie per il trasporto di medicinali;
- sistemi di illuminazione;
- segnaletica sulle strade, nei porti e negli aeroporti;
- alimentazione dei servizi nei camper;
- impianti pubblicitari, ecc.

Impianti collegati alla rete elettrica

Sono impianti stabilmente collegati alla rete elettrica nazionale. Nelle ore in cui il generatore fotovoltaico non è in grado di produrre l'energia necessaria a coprire la domanda di elettricità, la rete fornisce l'energia richiesta. Viceversa, se il sistema fotovoltaico produce energia elettrica in più, il surplus viene trasferito alla rete. Tali sistemi non hanno bisogno di batterie perché la rete di distribuzione sopperisce alla fornitura di energia elettrica nei momenti di indisponibilità della radiazione solare.

Sono stati realizzati impianti centralizzati di produzione di energia elettrica fotovoltaica di grande potenza. Tra i principali impianti solari in Italia spicca la centrale ENEL di Serre, in provincia di Salerno. Entrato in funzione alla fine del 1994, questo impianto con una superficie totale di sette ettari, ha una potenza di 3.3 megawatt e una produzione annua di 3,6 milioni di chilowattora.

In realtà, attualmente si vanno sempre più diffondendo, grazie anche agli incentivi pubblici, piccoli sistemi distribuiti sul territorio con potenza non superiore a 20 chilowatt (intesa come potenza di picco). Gli impianti più diffusi hanno potenze tra 1,5 e 3 chilowatt. Questi impianti vengono installati sui tetti o sulle facciate degli edifici e contribuiscono a soddisfare la domanda di energia elettrica degli utenti.

Impianti integrati negli edifici

Essi costituiscono una delle più promettenti applicazioni di fotovoltaici. Si tratta di sistemi che vengono installati su costruzioni civili o industriali per essere collegati alla rete elettrica di distribuzione nazionale. La corrente generata dai moduli fotovoltaici viene immessa nella rete interna dell'edificio utilizzatore e in parallelo nella rete di distribuzione pubblica. In questo modo può essere, a seconda dei casi, consumata dall'utenza locale oppure ceduta, per la quota eccedente al fabbisogno, alla rete stessa.

I moduli fotovoltaici possono essere utilizzati come elementi di rivestimento degli edifici anche in sostituzione di

componenti tradizionali. A questo scopo l'industria fotovoltaica e quella del settore edile hanno messo a punto moduli architettonici integrabili nella struttura dell'edificio che trovano sempre maggiore applicazione nelle facciate e nelle coperture delle costruzioni. La possibilità di integrare i moduli fotovoltaici nelle architetture e di trasformarli in componenti edili ha notevolmente ampliato gli orizzonti di applicazione del fotovoltaico e quelli dell'architettura che sfrutta questa forma di energia.

Un impiego di particolare interesse è rappresentato infatti dalle "**facciate fotovoltaiche**". I moduli per facciata sono composti da due lastre di vetro fra le quali sono interposte celle di silicio tenute insieme da fogli di resina. La dimensione di questi moduli può variare da 50x50 centimetri a 210x350 centimetri. Inoltre, dal momento che tanto più bassa è la temperatura dei moduli fotovoltaici durante l'irraggiamento solare, maggiore è il loro rendimento energetico, le facciate fotovoltaiche trovano la loro migliore applicazione nelle zone "fredde" delle facciate (parapetti, corpi degli ascensori e altre superfici opache) sempre che siano orientati verso Sud-Est o Sud-Ovest e non si trovino in una zona ombreggiata. L'impiego di tali moduli fotovoltaici può essere di grande utilità come schermi frangisole o per ombreggiare ampie zone nel caso delle coperture, per esempio delle pensiline di attesa dei mezzi pubblici.

Come posizionare un impianto

Per ottenere la massima produzione di energia, in fase di progettazione di un impianto, bisogna studiare l'irraggiamento e l'insolazione del sito. Questo consente di decidere l'inclinazione e l'orientamento della superficie del dispositivo captante.

Per la latitudine del nostro Paese, la posizione ottimale della superficie del pannello risulta quella a copertura dell'edificio con esposizione a Sud e con un angolo di inclinazione di circa 20-30 gradi centigradi rispetto al piano orizzontale. Ma anche la disposizione sul piano verticale del palazzo, cioè in facciata, riesce a conseguire ottimi risultati. Naturalmente l'importante è posizionare il pannello in modo da evitare zone d'ombra.

I sistemi termo-fotovoltaici

Dall'insieme delle tecnologie termosolari per la produzione di acqua calda e fredda e da quelle termosolari per la produzione di energia elettrica, derivano i **sistemi di cogenerazione termo-fotovoltaici**.

Un esempio di tali sistemi consiste in pannelli nei quali sono integrati un collettore termosolare e celle fotovoltaiche, dove l'energia primaria è quella solare diretta. E' un sistema interessante nel caso in cui il fluido termico sia in grado di regolare la temperatura delle celle fotovoltaiche, le quali generalmente hanno maggiore efficienza ad una temperatura di 20-25 gradi centigradi. Un pannello termo-fotovoltaico solare è in grado di produrre la stessa quantità di acqua calda di un pannello tradizionale ed in aggiunta può erogare una potenza di 175 watt elettrici in una giornata di pieno sole.

Il solare termodinamico

Il **solare termodinamico** permette di generare energia elettrica usando l'energia solare per riscaldare acqua e trasformarla in vapore per azionare delle turbine, in modo analogo ad una centrale termoelettrica tradizionale. In questo caso non è necessario bruciare combustibili fossili per produrre vapore, ma l'energia per riscaldare l'acqua viene direttamente dal Sole. Poichè la centrale funziona ad alta temperatura, non è ovviamente possibile utilizzare dei semplici pannelli solari termici, ma occorrono dei dispositivi particolari per concentrare l'energia solare in punti precisi e ristretti, in modo da raggiungere le alte temperature necessarie: un po' come si fa quando si vuole accendere un fuoco usando una lente e un raggio di sole! L'intermediario è un fluido detto "**termovettore**", dalle elevate capacità di scambio termico, che riceve l'energia solare trasformata in energia termica e la cede poi all'acqua, che, convertita in vapore, azionerà le turbine della centrale, producendo energia elettrica. Molte delle più grandi centrali in progetto nel mondo sono ora di questo tipo. I vantaggi rispetto alla produzione con metodo fotovoltaico sono un maggior rendimento e una minor superficie occupata dall'impianto.

La ricerca in questo campo si occupa del miglioramento delle tecnologie e delle strutture per concentrare l'energia

solare, studiando le migliori disposizioni dei diversi elementi.

Sono così stati progettati impianti di diversi tipo:

- **impianti con campo di specchi e torre centrale** (*Solar Tower*), dove la radiazione solare viene concentrata mediante specchi concavi, detti **eliostati**, su un ricevitore sulla sommità di una torre, alta un centinaio di metri: qui il fluido termovettore viene riscaldato a temperature di diverse centinaia di gradi e successivamente alimenta un ciclo termodinamico tradizionale per la produzione di energia. Gli elio stati ruotano in modo che la quantità di energia solare concentrata sul ricevitore sia costante;
- **impianti a collettori parabolici lineari** (*Parabolic Trough*): allineamenti di specchi parabolici lineari concentrano la radiazione non in un punto, ma su un tubo ricevitore, riempito con il fluido termovettore;
- **impianti a collettori parabolici circolari, o a disco parabolico** (*Dish Stirling*): un grande specchio parabolico, del diametro di alcuni metri, concentra l'energia solare su un collettore, posto nel punto focale dello specchio, dove scorre un gas termovettore. L'energia termica viene trasformata in energia elettrica tramite un motore Stirling. I dischi parabolici possono essere collegati tra loro in cluster (raggruppamenti) di centinaia di esemplari, che costituiscono così una solar farm;
- **impianti a collettori lineari di Fresnel**: in questo caso gli elio stati sono lineari e sono posti orizzontalmente in prossimità del suolo. Riflettono la radiazione solare su un tubo ricevitore posto a una decina di metri da terra. Tra tutti i sistemi, i riflettori Fresnel sono quelli a più basso costo.

Ambiente e territorio

Benefici dell'energia solare

L'energia solare è silenziosa, non è inquinante e consente di ottenere immediatamente un fluido caldo che può essere impiegato sia come acqua calda sanitaria, sia come riscaldamento, sia per vari usi industriali.

I benefici ambientali derivanti dall'installazione di sistemi fotovoltaici possono essere espressi in termini di emissioni evitate: si quantificano, cioè, le emissioni che si sarebbero prodotte per la generazione di una pari quantità di energia elettrica tramite sistemi termoelettrici.

Per esempio si è stimato che una famiglia di quattro persone consuma con uno scaldabagno elettrico circa 7,7 chilowattora al giorno. In Italia per produrre un chilowattora elettrico le centrali termoelettriche immettono in atmosfera mediamente 0,58 chilogrammi di anidride carbonica, uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra. Quindi per uno scaldabagno elettrico si producono in media circa 4,5 chilogrammi di CO₂ al giorno. Con impianti ibridi solare-gas, cioè impianti solari integrati con caldaie a gas, che assicurano acqua calda durante tutto l'anno, a Roma una famiglia di quattro persone può risparmiare circa 0,69 chilogrammi di CO₂ al giorno.

Quindi l'energia solare potrebbe ridurre in modo significativo l'uso di combustibili fossili, poiché finalmente potrebbe rappresentare una fonte di energia elettrica su grande scala, in modo particolare in Italia dove i livelli di insolazione sono elevati.

Convertire direttamente il sole in energia elettrica è una scelta che potrà essere molto vantaggiosa non solo negli insediamenti urbani, ma anche nelle zone emarginate e remote, specie nel Terzo Mondo. Qui la combinazione di sistemi fotovoltaici con altre fonti rinnovabili esistenti può portare l'energia elettrica anche ai villaggi e alle comunità più isolate per assicurare illuminazione, telecomunicazioni, pompe, ma anche per dissalare l'acqua del mare e quella salmastra dei pozzi, per conservare i prodotti della pesca e dell'agricoltura, e refrigerare farmaci e vaccini.

La densità di potenza dell'energia solare

In meno di un'ora la Terra riceve dal Sole una quantità di energia pari all'intero consumo mondiale di un anno. L'energia

solare, a differenza di altre fonti di energia, è presente in tutte le zone del pianeta (seppur con alcune differenze dipendenti dalla latitudine) ed è una fonte che ci accompagnerà ancora per miliardi di anni. L'energia solare, quindi, oltre ad essere abbondante e ben distribuita, è anche una risorsa rinnovabile. Queste caratteristiche renderebbero il Sole la principale fonte energetica se non fosse che l'energia solare ha una bassa potenza ed è intermittente su scala locale. Infatti, il flusso di energia dal Sole dipende dall'alternanza del giorno e della notte e dalla variabilità delle condizioni meteorologiche.

Poca potenza per una grande energia

Un parametro molto utile per valutare quanto "vale" l'energia è la densità di potenza, detta anche radianza, che indica la radiazione solare per unità di superficie (Watt al metro quadro, W/mq). La quantità di energia solare che arriva sulla superficie della Terra, sottratte tutte le riflessioni e gli assorbimenti che avvengono in atmosfera, è di 85.000 miliardi di W. Sapendo che la superficie della Terra è pari a 5,1 miliardi di Km², risulta che su ogni metro quadrato di superficie terrestre arrivano circa 170 W/mq, valore che si riduce notevolmente quando lo si converte in potenza utilizzabile. Gli attuali stili di vita dei Paesi industrializzati richiedono una densità di potenza che va dai 20-100 W/mq per un'abitazione ai 300-900 W/mq per un'acciaiera: risulta evidente che, allo stato attuale della tecnologia del solare, non è possibile far funzionare la maggior parte delle grandi strutture ad alta richiesta di energia, come le industrie e gli ospedali. La principale sfida tecnologica dei nostri giorni è quella di riuscire ad immagazzinare l'immensa energia proveniente dal Sole e renderla disponibile con la giusta intensità laddove ci sia una domanda di energia.

L'impatto sul paesaggio

L'impatto ambientale di un impianto ad energia solare deve essere valutato considerando l'intero ciclo di vita e in particolare la fase di costruzione dell'impianto, la fase in cui l'impianto è installato e produce energia e, infine, la fase di dismissione. L'impatto che deriva dalla costruzione di un impianto fotovoltaico è paragonabile a quello generato dalla produzione di un qualsiasi prodotto dell'industria chimica. Durante la lavorazione dei pannelli, infatti, vengono utilizzate sostanze molto tossiche, che richiedono particolari misure di sicurezza per la tutela dei lavoratori, dell'ambiente e delle persone che lo abitano. I prodotti utilizzati variano a seconda della tipologia di pannello: per i pannelli al silicio cristallino si utilizzano acido cloridrico e triclorosilano, mentre per i pannelli al silicio amorfo vengono impiegati silano, fosfina e diborano. Le sostanze utilizzate per i pannelli non al silicio sono ancora più tossiche e inquinanti di quelle sopra citate. Ad esempio, per produrre i pannelli CIS (rame, indio, selenio) si utilizza il seleniuro di idrogeno mentre per quelli CdTe (telloruro di cadmio) si impiega il cadmio, che è tossico e cancerogeno, così come il seleniuro di idrogeno. Tuttavia i benefici ambientali generati nel tempo di vita di un sistema fotovoltaico (mediamente pari a 20-25 anni) sono già ora largamente superiori al danno provocato nelle fasi di produzione dei pannelli.

Al momento della dismissione dell'impianto, bisognerà trattare il pannello come un rifiuto speciale, dato che contiene numerose sostanze tossiche, come il piombo, il cadmio, il rame, il selenio, ecc. Per quanto riguarda la fase operativa dell'impianto, l'unico impatto è quello sul paesaggio, che varia a seconda della tipologia, dell'estensione e della collocazione degli impianti. I parchi fotovoltaici sono impianti di notevole dimensione, che vengono solitamente installati a terra su ampi spazi aperti sottraendo, pertanto, il territorio ad altri usi. L'impatto visivo delle centrali fotovoltaiche è comunque minore rispetto a quello delle centrali termoelettriche o di qualsiasi altro grande impianto industriale; questo è dovuto essenzialmente al fatto che gli impianti sono molto più bassi di un impianto industriale. L'impatto visivo degli impianti di piccole e medie dimensioni è sicuramente inferiore a quello di un grande impianto e con alcuni accorgimenti i pannelli fotovoltaici e solari possono inserirsi bene nel paesaggio. Occorre comunque valutare la compatibilità paesaggistica di ogni impianto, ad esempio limitando l'uso dei pannelli fotovoltaici nelle città d'arte, nei centri storici o nelle zone ad elevato valore naturalistico, sfruttando, invece, le aree marginali non utilizzate, come i tetti di capannoni o le aree da bonificare, o installando i pannelli sui tetti delle case delle aree urbane. L'integrazione architettonica degli impianti fotovoltaici negli edifici permette di ridurre notevolmente il loro impatto visivo. Infatti, un impianto si dice integrato quando i moduli fotovoltaici diventano elementi strutturali dell'edificio stesso, come ad esempio tetti, facciate, finestre, ecc. In questo modo, il pannello fotovoltaico da elemento estraneo diventa parte integrante dell'edificio.