

# CAPITOLO II

## IMPIANTI FOTOVOLTAICI

### 2.1 Generalità

Gli impianti fotovoltaici sono costituiti da uno o più moduli fotovoltaici collegati tra loro, in cui avviene la vera e propria trasformazione dell'energia solare in energia elettrica e da altri dispositivi che servono a rendere fruibile tale energia prodotta presso l'utenza. L'insieme di questi ulteriori dispositivi è detto Balance Of System (BOS).

Gli impianti fotovoltaici sono classificati in due categorie:

- Impianti isolati (*stand-alone*)
- Impianti connessi alla rete (*grid connected*)

#### *Impianti stand-alone*

Gli impianti stand-alone sono i sistemi non collegati alla rete elettrica e sono costituiti da moduli fotovoltaici, dal regolatore di carica e da un sistema di batterie che garantisce l'erogazione di corrente anche nelle ore di minore illuminazione o di buio. La corrente generata dal sistema fotovoltaico è una corrente continua e può direttamente essere utilizzata per l'alimentazione di carichi predisposti per tale tipo di corrente. Se l'utenza invece, è costituita da apparecchiature che prevedono una alimentazione in corrente alternata, è necessario anche un convertitore statico detto comunemente inverter.

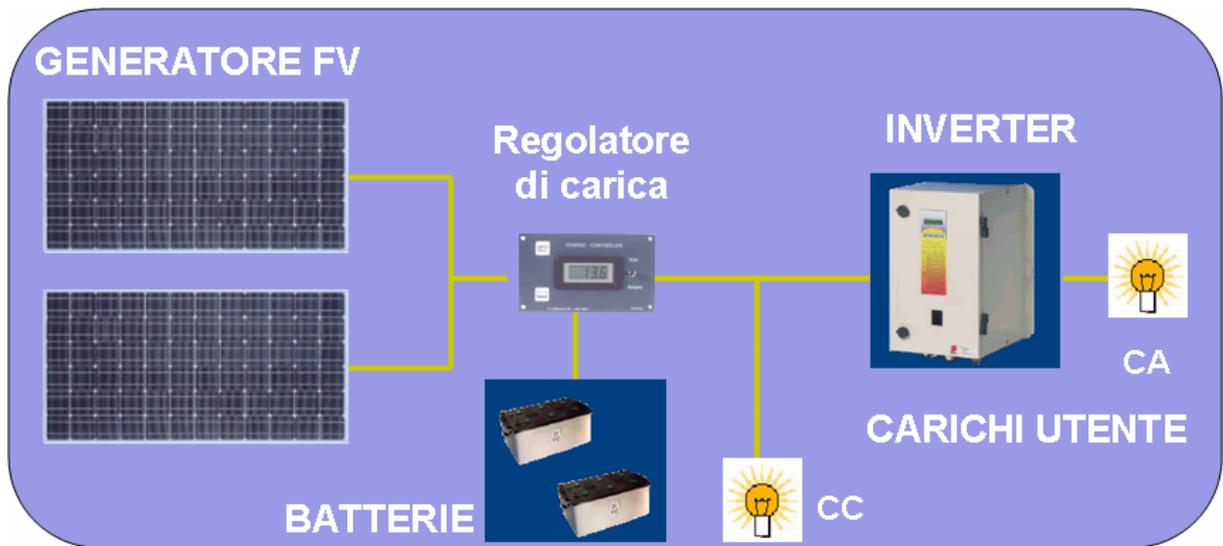


Figura 2.1-1- Schema a blocchi di un impianto fotovoltaico stand-alone.

Attualmente le applicazioni più diffuse servono ad alimentare:

- Abitazioni in zone difficilmente raggiungibili dalla rete elettrica nazionale (case di montagna isolate, abitazioni in parchi naturali, rifugi di montagna, abitazioni in piccole isole, ecc.);
- apparecchiature per il pompaggio dell'acqua, soprattutto in agricoltura;
- ripetitori radio, stazioni di rilevamento e trasmissione dati (metereologici e sismici), apparecchi telefonici;
- apparecchi di refrigerazione, specie per il trasporto medicinali;
- sistemi di illuminazione;
- segnaletica sulle strade, nei porti e negli aeroporti;
- alimentazione dei servizi nei camper.
- impianti pubblicitari, ecc

Secondo valutazioni dell'Enel i costi del collegamento alla rete elettrica (comprendenti un tronco in media tensione, un trasformatore su palo e la linea in bassa tensione) ammontano complessivamente a circa 20 mila euro/km. Poiché

un kWp fotovoltaico costa intorno ai 10 mila euro (includendo gli accumulatori e l'installazione), in certe circostanze l'impianto fotovoltaico può diventare competitivo a livello economico della tradizionale connessione alla rete. Basti pensare alle abitazioni nelle isole minori, ai rifugi montani, alle case di montagna isolate o in tutti quei posti (come ad esempio i paesi del terzo mondo) dove non esiste una centrale elettrica.

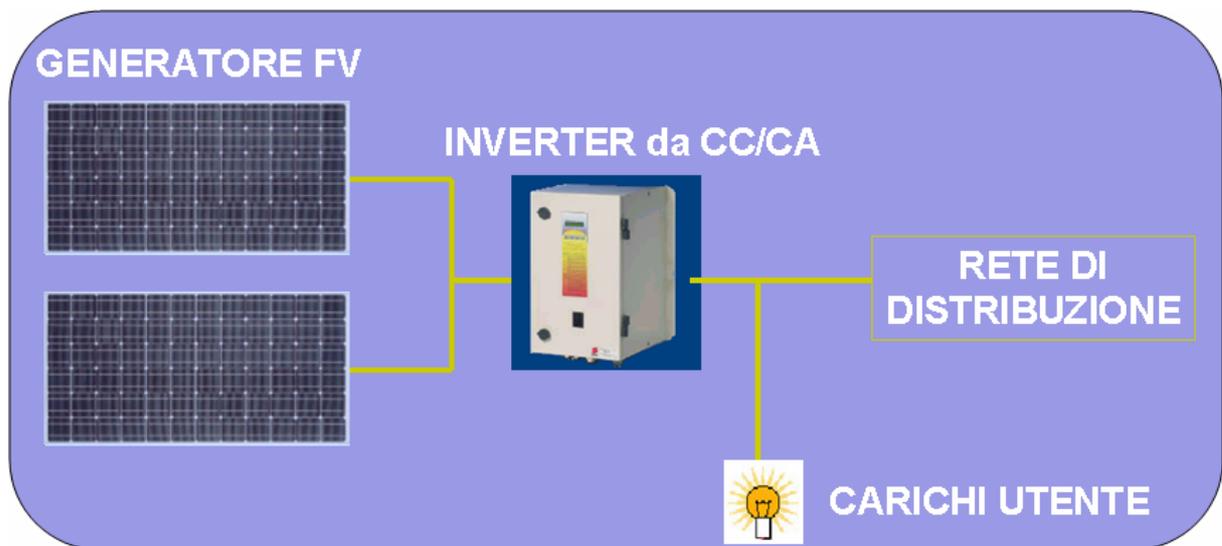
### *Impianti grid-connected*

Gli impianti fotovoltaici grid-connected si dividono a loro volta in:

- Sistemi fotovoltaici integrati negli edifici
- Grandi centrali fotovoltaiche

### *Sistemi fotovoltaici integrati negli edifici*

I sistemi fotovoltaici integrati negli edifici costituiscono un delle più promettenti applicazioni del fotovoltaico. Si tratta di sistemi che vengono installati su costruzioni civili o industriali per essere collegati alla rete elettrica di distribuzione in bassa tensione. 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 contabilizzato. Negli impianti integrati negli edifici vengono installati due contatori per contabilizzare gli scambi fra l'utente e la rete. Un inverter trasforma l'energia elettrica da corrente continua prodotta dal sistema fotovoltaico, in corrente alternata. I sistemi connessi alla rete, ovviamente, non hanno bisogno di batterie perché la rete di distribuzione sopperisce alla fornitura di energia elettrica nei momenti di indisponibilità della radiazione solare.



*Figura 2.1-2 – Schema a blocchi di un impianto fotovoltaico grid-connected*

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 cm a 210x350 cm.

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 ascensore e altre superfici opache) sempre che siano orientati verso Sud-Est o Sud-Ovest e non si trovino in una zona ombreggiata.

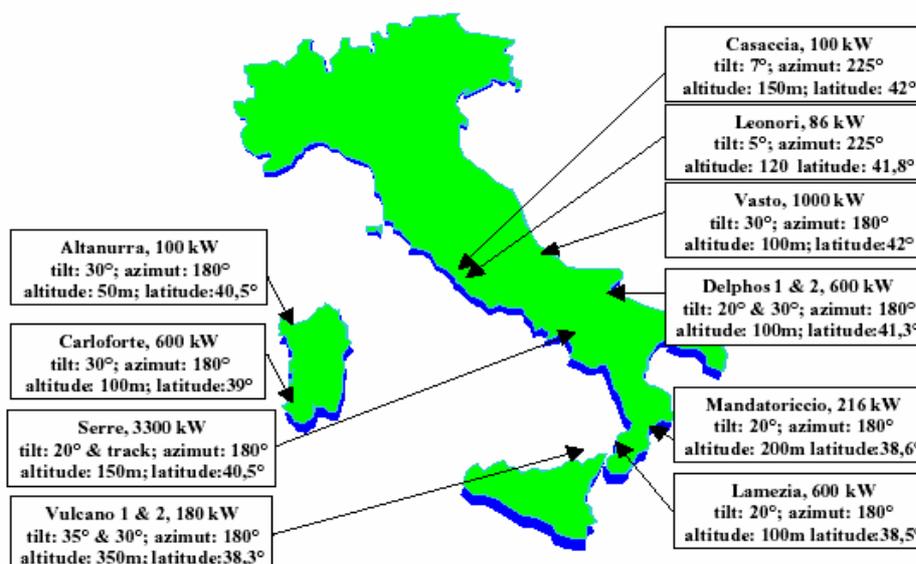
L'impiego di tali moduli fotovoltaici può essere di grande utilità come schermi frangisole o per ombreggiare ampie zone nel caso delle coperture fornita da fonti convenzionali.

### *Centrali fotovoltaiche*

Le centrali fotovoltaiche sono tutti quegli impianti grid-connected che superano i 50 kWp. In Italia sono state realizzate diverse centrali fotovoltaiche, i principali impianti sono:

- SERRE PERSANO (SA) 3.300 kWp (in Rete)
- VASTO (CH) 1.000 kWp (in Rete)
- DELPHOS (FG) 600 kWp (in Rete)
- CARLOFORTE (CA) 600 kWp (+900kW eolico) (in Rete)
- LAMEZIA TERME (CZ) 600 kWp (+600kW eolico) (in Rete)
- SALVE (LE) 600 kWp (+600kW eolico) (in Rete)
- CASACCIA (RM) 100 kWp (in Rete)
- ALTA NURRA (SS) 100 kWp (in Rete)
- LAMPEDUSA 100 kWp (Dissalatore)
- LIPARI 100 kWp (Dissalatore)
- NETTUNO (RM) 100 kWp (Alimentazione villaggio)
- VULCANO 180 kWp (Rete locale)
- ZAMBELLI (VR) 70 kWp (Pompaggio)
- TREMITI 65 kWp (Dissalatore)
- GIGLIO 45 kWp (Refrigerazione)

## LA LOCALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI



Le centrali fotovoltaiche producono un forte impatto ambientale dovuto alle grandi estensioni di terreno necessario per la sistemazione dei pannelli. A titolo di esempio la centrale di Serre occupa cinque ettari e mezzo di terreno (con una superficie di pannelli installati di 26.500 mq) per 3,3MW di energia elettrica prodotta. In un paese altamente antropizzato come l'Italia è impensabile raggiungere in questo modo produzioni di energia elettrica tali da poter soddisfare una consistente aliquota di domanda di energia elettrica complessiva che in questi ultimi anni è di circa 300 TWh e che nel futuro non potrà che aumentare.

Facendo un calcolo approssimativo (eseguito tramite un foglio di calcolo descritto in Appendice), ma che rende l'idea dell'ordine di grandezza dello spazio occupato dai pannelli fotovoltaici, per produrre 300 TWh l'anno, servirebbero 2.000 Km<sup>2</sup> di moduli fotovoltaici e circa 4.000 Km<sup>2</sup> (400.000 ettari) di spazio effettivamente occupato dalle centrali; circa l'1% del territorio italiano.

E' interessante inoltre confrontare l'occupazione di territorio delle centrali fotovoltaiche con altre centrali.

Ad esempio una centrale termoelettrica da 3.600 MW occupa una area pari a 50 ettari. Una centrale fotovoltaica di pari produzione dovrebbe occupare (senza considerare i problemi tecnologici e costruttivi che questo ipotetico impianto comporterebbe) 5000 ettari, praticamente dovrebbe occupare una area 100 volte maggiore.

Una centrale nucleare da 2.000 MW invece, deve avere un area di rispetto di 330 ettari, contro i 3.000 ettari necessari ad un impianto fotovoltaico per erogare la stessa potenza.

Diversamente gli impianti che non superano i 20kW, possono essere usati anche in ambiente urbano, sfruttando “aree morte”, ovvero inutilizzate, come tetti di edifici, scuole, ospedali, fabbriche, capannoni auto ecc.,. Inoltre essendo realizzati in prossimità degli utenti finali, annullerebbero completamente le perdite di trasporto di energia.

Uno studio della Commissione Europea ha rilevato che in Italia la superficie di tetti disponibili (con orientamento verso Sud, Est o Ovest) è di 370.000.000 m<sup>2</sup>, mentre quella delle facciate è di quasi 200.000.000 m<sup>2</sup>. Se questi spazi fossero coperti da moduli fotovoltaici, sarebbe possibile produrre circa 70 TWh/anno, vale a dire 70 mila milioni di kWh l'anno, pari al consumo annuo di energia elettrica di oltre 18 milioni di famiglie (considerando una media di 4.000 kWh/anno per nucleo familiare). Sono ovviamente calcoli ipotetici, ma che fanno comunque ben comprendere l'enorme potenziale offerto dagli impianti fotovoltaici.

## **2.2 Componenti di un impianto fotovoltaico**

### **2.2.1 Il generatore fotovoltaico**

Il generatore fotovoltaico è formato da un insieme di moduli fotovoltaici collegati tra di loro in serie o in parallele in modo da ottenere rispettivamente la tensione e la corrente totale necessaria.

Un insieme di moduli collegati meccanicamente tra di loro è detto *pannello*. Un insieme di moduli collegati in serie tra di loro è detto *stringa*. Più stringhe collegate tra di loro in parallelo formano il generatore fotovoltaico anche detto campo.

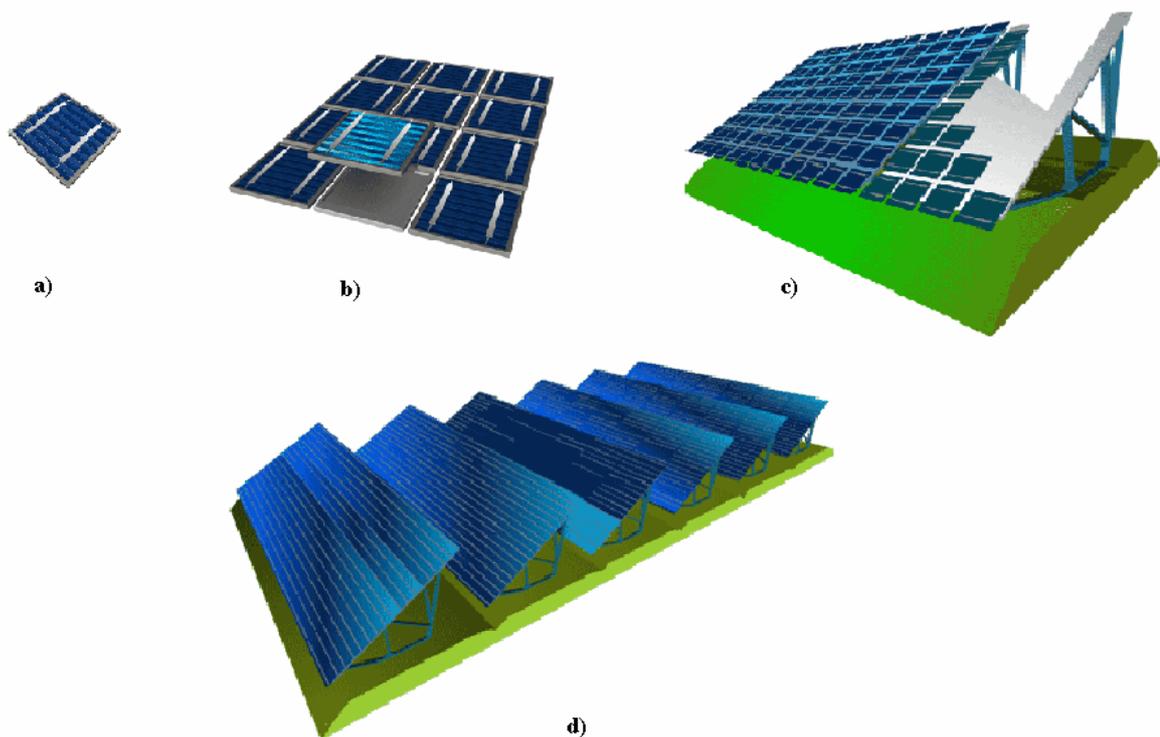


Figura 2.2-1- a) Cella; b) Modulo; c) Stringa; d) Campo fotovoltaico

I moduli sono fornite di *diodi di blocco* che hanno lo scopo di impedire che, qualora l'erogazione di potenza di un modulo che forma una stringa non sia bilanciata, gli squilibri di tensione così provocati non provochino dei ricircoli di corrente verso i moduli a tensione minore. Quindi nel caso di abbassamento di potenza (dovuto a vari motivi, come ad esempio l'oscuramento di una cella) di un modulo, quest'ultimo funziona da carico e non da generatore e rischia la rottura definitiva. Il diodo di blocco invece fa sì che in caso di abbassamento di tensione di un modulo, quest'ultimo venga "by-passato" elettricamente, impedendone il danneggiamento.

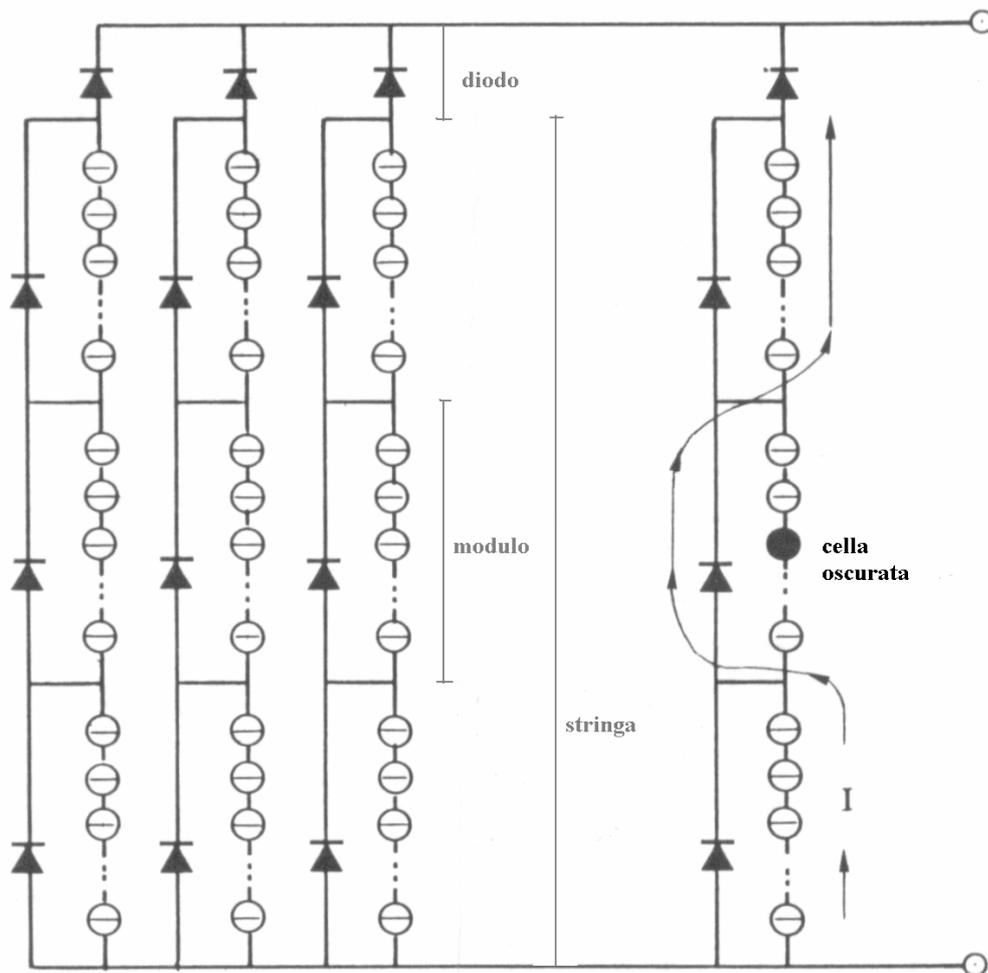


Figura 2.2-2 – Circuito equivalente di un generatore fv formato da diverse stringhe in parallelo; ed effetto dei diodi di blocco nel caso di oscuramento di una cella.

### Prestazioni di un generatore fotovoltaico

La tensione nominale del generatore fotovoltaico è pari alla somma delle tensioni nominali ( $V_N$ ) moduli che compongono ogni stringa, cioè,  $V_N \times n$ , dove  $n$  è uguale al numero di moduli in serie.

Analogamente la corrente nominale di un campo fotovoltaico è data dalla somma delle correnti nominali delle stringhe (uguale a quella di ogni modulo della stringa) che lo compongono, cioè  $I_N \times m$ , dove  $m$  è pari al numero di stringhe. I valori di tensione a vuoto  $V_{oc}$  e di corrente di corto circuito  $I_{cc}$  del

generatore, possono essere ottenuti dai rispettivi parametri  $V_{oc}$  e  $I_{cc}$  dei singoli moduli in modo analogo a quanto visto per la tensione nominale e la corrente nominale.

Il prodotto della tensione nominale e della corrente nominale è la *potenza di picco* ( $W_p$ ) dell'impianto, che come si è visto in precedenza è la potenza ottenibile dal generatore fotovoltaico in condizioni standard (temperatura celle  $25^\circ\text{C}$  e irraggiamento solare di  $1000\text{W}/\text{m}^2$ ).

### 2.2.2 Convertitore statico

I convertitori statici sono apparecchi elettronici in grado di convertire le grandezze elettriche tensione e corrente di un circuito in valore e/o forma. Fra le varie tipologie di convertitori statici di potenza, quelli in grado di convertire la corrente continua in corrente alternata vengono, in genere, identificati con la dizione tecnica *inverter*.

Negli impianti collegati alla rete, la tensione continua da convertire in alternata è quella del generatore fotovoltaico mentre, in quelli stand-alone, è quella presente al nodo generatore-batteria di accumulatori.

Per gli impianti grid-connected, l'inverter deve essere in grado di immettere energia nella rete di distribuzione collegata al sistema elettrico nazionale.

Le funzioni svolte dalle principali sezioni in cui è logicamente possibile suddividere un inverter sono le seguenti:

- 1) *Maximum Power Point Tracker (MPPT)*. Questo dispositivo ha lo scopo di individuare istante per istante quel particolare punto sulla caratteristica I-V del generatore fotovoltaico per cui risulta massimo il trasferimento di potenza verso il carico posto a valle. Il MPPT si rende necessario perché, come abbiamo in precedenza visto, la curva caratteristica I-V di una cella fotovoltaica, e quindi di un generatore fotovoltaico, non rimane costante

ma varia istantaneamente al modificarsi delle condizioni di irraggiamento solare e col variare della temperatura: queste continue variazioni provocano continuamente lo spostamento del punto di massima potenza.

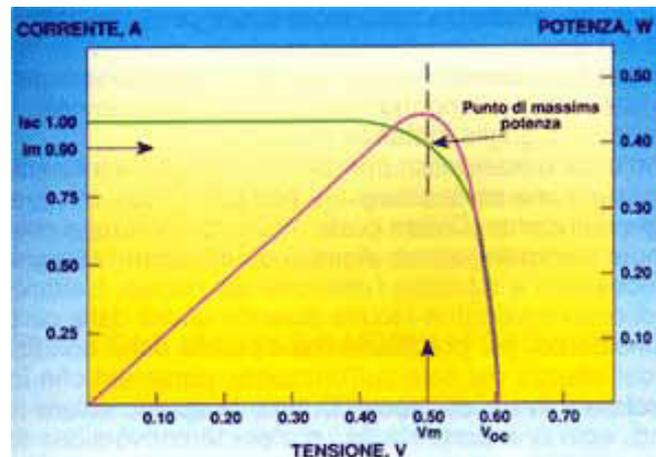


Figura 2.2-3 – Curva caratteristica e curva delle potenze

- 2) *Ponte di connessione*. E' il cuore dell'inverter e permette di passare dalla corrente continua alla corrente alternata facendo uso di dispositivi semiconduttori (transistori, tiristori, ecc) pilotati con sequenze di impulsi di comando controllati.
- 3) *Trasformatore*. Le funzioni del trasformatore sono due: la prima di adeguamento del livello di tensione di circuito primario con il valore richiesto dal carico e la seconda la separazione galvanica (o metallica) tra generazione fotovoltaica e utenza. Nei casi in cui non sia richiesta la separazione galvanica tra i circuiti a monte e a valle del trasformatore, la presenza di quest'ultimo non è strettamente necessaria in quanto l'innalzamento o la diminuzione della tensione del generatore ai valori richiesti dal carico può essere realizzata elettronicamente.

- 4) *Protezione di massima corrente.* Provvede a sezionare l'uscita dei circuiti di potenza quando viene superata una determinata soglia di corrente. In genere ogni macchina è dotata anche di un dispositivo di protezione con intervento magnetotermico utilizzato come ricalzo a salvaguardia dell'inverter stesso.
  
- 5) *Protezioni di interfaccia con la rete elettrica.* Gli impianti grid-connected devono essere in grado di disconnettersi automaticamente in caso di malfunzionamento di quest'ultima come, ad esempio, quando avviene una interruzione della fornitura di energia elettrica.

Al giorno d'oggi appartiene all'equipaggiamento standard degli inverter disponibili sul mercato anche un'interfaccia per PC oppure un display interno che rilevi tutti i dati notevoli di funzionamento dell'inverter.

Per la connessione in rete esistono inverter che presentano diversi schemi di connessione, raggruppabili essenzialmente in tre categorie:

- inverter centrale, per moduli o per stringa
- inverter con o senza trasformatore (interruzione galvanica)
- inverter con controllo trifase della rete o ENS (dispositivo di interruzione dell'erogazione da parte dell'inverter, inaccessibile ai gestori della rete)

Gli inverter senza trasformatori hanno in linea di principio un rendimento più alto dal momento che si evitano le dispersioni relative al trasformatore. Questo tipo di apparecchiature lavorano con tensioni di ingresso più alte anche se questo comporta maggiori provvedimenti per la sicurezza. Importante, per la definizione delle misure di sicurezza da applicare per il circuito a corrente continua, è la presenza o meno di un'interruzione galvanica tra ingresso e uscita dell'inverter. Per la protezione da un contatto indiretto (contatto con una parte conduttiva che per errore è sotto tensione) all'interno del circuito di corrente

continua si possono usare materiali isolanti della classe II. Se i moduli non posseggono la classe II per la protezione dai contatti indiretti è necessario che la tensione a vuoto del generatore FV non superi mai  $120 V_{CC}$  e l'inverter utilizzato deve avere un'interruzione sicura tra l'ingresso a corrente continua e la tensione alternata della rete; l'inverter deve anche avere la capacità di lavorare con tensioni di input adeguate a tensioni di sistema molto più basse. La maggior parte degli inverter disponibili sul mercato hanno un sistema di controllo dell'isolamento che verifica lo stato dei cavi in corrente continua.

La produzione annuale di energia di un impianto FV è definita tra l'altro anche dal grado di efficienza dell'inverter scelto e dalla sua capacità di adeguamento alla potenza del generatore FV. In generale gli inverter possono essere sottodimensionati. L'adeguamento di potenza tra l'inverter e il generatore, cioè il rapporto tra la potenza nominale dell'inverter e quella del generatore deve essere scelta in modo che l'inverter ottenga un grado di efficienza massimo sul funzionamento annuale. Un sovradimensionamento del generatore presenta il vantaggio che l'inverter lavora più spesso in campi di carico parziale e quindi con maggiore grado di rendimento di trasformazione. Il rapporto ottimale di adeguamento dipende fra l'altro anche dal sito e dall'orientamento del generatore FV (frequenza dell'intensità di irraggiamento) e dall'andamento della curva del grado di efficienza del rendimento dell'inverter in questione. Nel caso di un generatore dall'orientamento ottimale la potenza nominale di CC dell'inverter dovrebbe essere dall'80 al 100% della potenza nominale del generatore (valore di riferimento!). Il rapporto di adeguamento deve essere inferiore se l'impianto ha una disposizione verticale, per evitare ulteriori dispersioni date dal frequente carico parziale del sistema. Un'altra possibilità consiste nell'installare più inverter in combinazione master-slave.

Sono tre i diversi sistemi per l'erogazione di energia all'interno del gruppo degli impianti connessi in rete:

- *inverter centrale* con connessione in serie e parallela dei moduli fotovoltaici dalla parte del circuito in continua. La raccolta dell'energia avviene esclusivamente dalla parte della corrente continua.
- *inverter a stringa* (inverter orientato ai moduli) con connessione in serie dei moduli fotovoltaici dalla parte della continua e connessione in parallelo dalla parte dell'inverter. In alcuni inverter di questo tipo si possono collegare anche due o più stringhe.
- *inverter integrati nei moduli* per singoli moduli FV con connessione in parallelo dell'inverter dalla parte dell'inverter. La raccolta dell'energia avviene esclusivamente dalla parte dell'inverter.

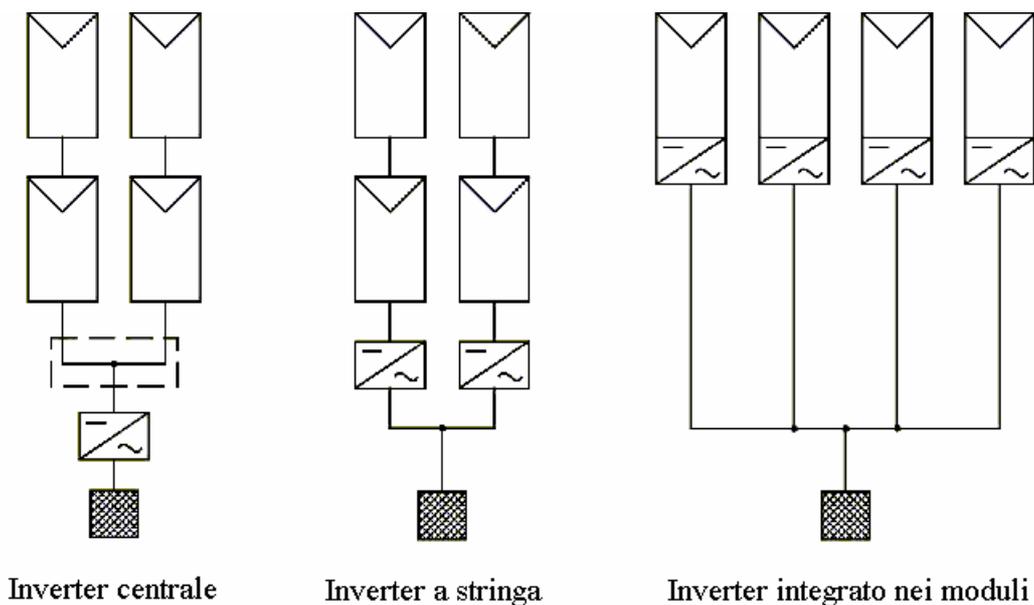


Figura 2.2-4: sistemi per l'erogazione dell'energia (da sin.: Inverter centrale, Inverter a stringhe, Inverter integrato nei moduli (Fonte: ISFH, Emmerthal)

Lo schema a inverter centrale è il più utilizzato perché contiene i costi.

Negli impianti con inverter centrale il generatore FV è composto da diverse stringhe in parallelo, ognuna composta da moduli connessi in serie. Le stringhe

vengono raccolte nella scatola di connessione del generatore e collegate mediante una linea principale all'inverter. La connessione in parallelo di più inverter di minore potenza in combinazione master-slave fa aumentare il grado di efficienza a carico parziale ma porta a un aumento dei costi di investimento.

Negli impianti con inverter a stringhe non è necessaria la scatola di connessione, poiché le stringhe si collegano direttamente all'inverter. Questo riduce il tempo di installazione dalla parte del circuito in continua.

Gli inverter integrati nei moduli sono di piccola taglia, con potenze da 100 W a 500 W. Questi vengono montati direttamente sul retro del modulo o nelle sue immediate vicinanze. In questo modo si evita tutta la parte delle connessioni in corrente continua.

Il costo specifico di un inverter centrale è in parte molto inferiore a quello degli inverter integrati nel modulo e inoltre gli inverter di bassa potenza hanno un grado di efficienza inferiore. Dall'altra parte un sistema con inverter centrale richiede una maggiore quantità di installazioni dalla parte del circuito in corrente continua, che a confronto con la tecnologia di installazione in alternata presenta costi maggiori. Gli inverter integrati nei moduli rendono superflua la presenza della scatola di connessione (compresi tutti gli altri relativi dispositivi necessari) e inoltre i circuiti di continua vengono in parte o completamente sostituiti da circuiti in alternata, meno costosi.

L'impiego di inverter a stringhe oppure integrati nei moduli rende necessario un sistema di rilevamento e di controllo dei dati e può rendere la manutenzione più onerosa. D'altro canto la regolazione "individuale" del punto di massima potenza MPPT può aumentare il grado di rendimento di tutto il sistema, soprattutto quando si parla di integrazione nell'edificio, poiché ogni elemento può funzionare al massimo indipendentemente dagli altri che in quel momento si trovano sottoposti per esempio ad altre condizioni di irraggiamento. Risulta anche più facile in questo modo realizzare un ampliamento dell'impianto per fasi.

### 2.2.3 Sistema di accumulo dell'energia

I sistemi fotovoltaici sono caratterizzati, per loro natura, da fluttuanza e imprevedibilità di prestazioni. Si rende quindi necessario, nella maggior parte dei casi, l'utilizzo di un sistema di accumulo dell'energia prodotta, che permetta di garantire all'utente le prestazioni richieste (tensione, corrente, frequenza, ecc.).

Negli impianti grid-connected il ruolo del sistema di accumulo è ricoperto dalla connessione alle rete elettrica pubblica, che riceve l'energia elettrica in surplus prodotta dall'impianto fotovoltaico e la cede di notte o durante il giorno quando la produzione non è sufficiente a garantire le esigenze di carico dell'utenza. In pratica la rete elettrica può essere assimilata ad una batteria di capacità infinita.

Negli impianti stand-alone, invece, possono essere utilizzati vari metodi per accumulare l'energia prodotta:

- Metodi meccanici:
  - *Accumulo idraulico*. Con questo metodo si permette di trasformare energia elettrica in energia potenziale e viceversa. Esso consiste nel pompare acqua da un basso livello fino all'altezza di un serbatoio disposto ad una certa quota. Durante i periodi in cui l'energia generata supera quella richiesta, l'eccesso di energia verrà accumulata sotto forma di energia potenziale pompando acqua nel serbatoio. Al contrario, nei periodi di elevate richieste energetiche, l'energia potenziale verrà ritrasformata in energia elettrica da delle piccole turbine. Il rendimento globale di questo sistema si aggira intorno al 60% - 70%. Uno degli svantaggi di questo metodo è che necessita di grandi quantitativi di acqua. Questo metodo diventa interessante nel caso di sistemi di pompaggio fotovoltaici, in questo caso l'acqua viene direttamente accumulata, togliendo così di mezzo l'uso delle piccole turbine.
  - *Accumulo ad aria compressa*. Questo metodo si basa nell'accumulare aria compressa in serbatoi metallici sotterranei, questo metodo più complesso del

metodo idrico, ha rendimenti maggiori ed è economicamente più vantaggioso di quest'ultimo.

▪ Metodi elettrochimici

- *Accumulo all'idrogeno*. I pannelli fotovoltaici producono energia elettrica adatta al processo di elettrolisi dell'acqua (energia elettrica in corrente continua e a bassa tensione). L'idrogeno prodotto con questo metodo, in genere, viene accumulato in contenitori metallici sotterrati ad alta pressione. Il processo inverso avviene utilizzando l'idrogeno come combustibile. Al momento la maggiore limitazione è dovuta al basso rendimento di questo sistema (inferiore al 50%).

- *Accumulo elettrochimico (batterie)*. Tra i diversi metodi di accumulo dell'energia elettrica, quello delle batterie si presenta come quello più usato per la sua affidabilità e praticità, avendo raggiunto una certa maturità tecnica. Gli accumulatori elettrochimici sono dispositivi in grado di assorbire una certa quantità di energia elettrica trasformandola in energia chimica per poi ritrasformarla nuovamente in energia elettrica, quando questa viene richiesta. Esistono diversi tipi di accumulatori che a seconda della loro costituzione hanno caratteristiche specifiche diverse. La batteria al piombo è lo standard normalmente utilizzato. Ha un rapporto qualità prezzo relativamente buono, ne esistono diversi tipi e viene prodotta in grandi numeri e capacità, e per questo viene scelta nella maggior parte degli impianti, soprattutto se di piccola taglia (fino a circa 200 W<sub>p</sub>). Al contrario delle batterie per automobili gli accumulatori al piombo per applicazioni fotovoltaiche sono state costantemente modificate per poter rispondere in maniera ottimale ai requisiti relativi a questo tipo di impiego (migliore stabilità dei cicli e minore autocorrosione portano a un maggiore durata). Le batterie al nickel-cadmio, al nickel e le OPzS sono invece molto più dispendiose di quelle al piombo e vengono impiegate solo in casi particolari.

Le caratteristiche di una batteria sono:

*Stato di carica (SOC).* E' la quantità di carica  $Q$  che può essere erogata dalla batteria, rapportata alla capacità  $C$  della batteria stessa:  $p = Q/C$ .

Quando  $Q = C$  ( $p=1$ ) la batteria è completamente carica. Sia  $Q$  che  $C$  dipendono dalla modalità con cui la batteria viene scaricata.

*Tensione di una cella.* La tensione nominale di una cella è assunta per convenzione pari a 2 Volt. In fase di carica, la tensione effettiva ai capi della cella va via via aumentando. Se essa raggiunge 2,4 Volt, si ha l'elettrolisi dell'elettrolito (ebollizione). La tensione di ebollizione  $V_e$  (2,4V), rappresenta in pratica un limite non valicabile. Quando invece la batteria viene scaricata la sua tensione va via via diminuendo. Dicesi tensione di scarica, la minima tensione  $V_f$  (1,8V) a cui la batteria può essere portata in fase di scarica.

*Capacità di una cella.* Viene misurata normalmente in Amperora: Ah e si intende la carica totale che può essere erogata dalla batteria a corrente costante a partire da uno stato di carica massimo fino ad arrivare alla tensione  $V_f$ .

*Corrente nominale.* Scaricando la batteria a corrente costante in 10 ore, il valore costante della corrente sarà dato da  $I_{10} = C/10h$ . Si definisce anche la corrente nominale,  $I_n$ , pari a 10 volte  $I_{10}$ . la frazione della corrente nominale,  $f$ , è definita come il rapporto tra la corrente  $I$  e la corrente nominale  $I_n$ :  $f = I/I_n$ .

*Contenuto in carica.* Si intende la carica che può essere estratta dalla batteria a partire da quello stato.

Le curve caratteristiche di una batteria risultano generalmente indipendenti dalla taglia della batteria (cioè dalla sua capacità), purché al posto della corrente  $I$  si usi la frazione di corrente nominale  $f$  e al posto della carica  $Q$  la frazione di carica  $p = Q/C$

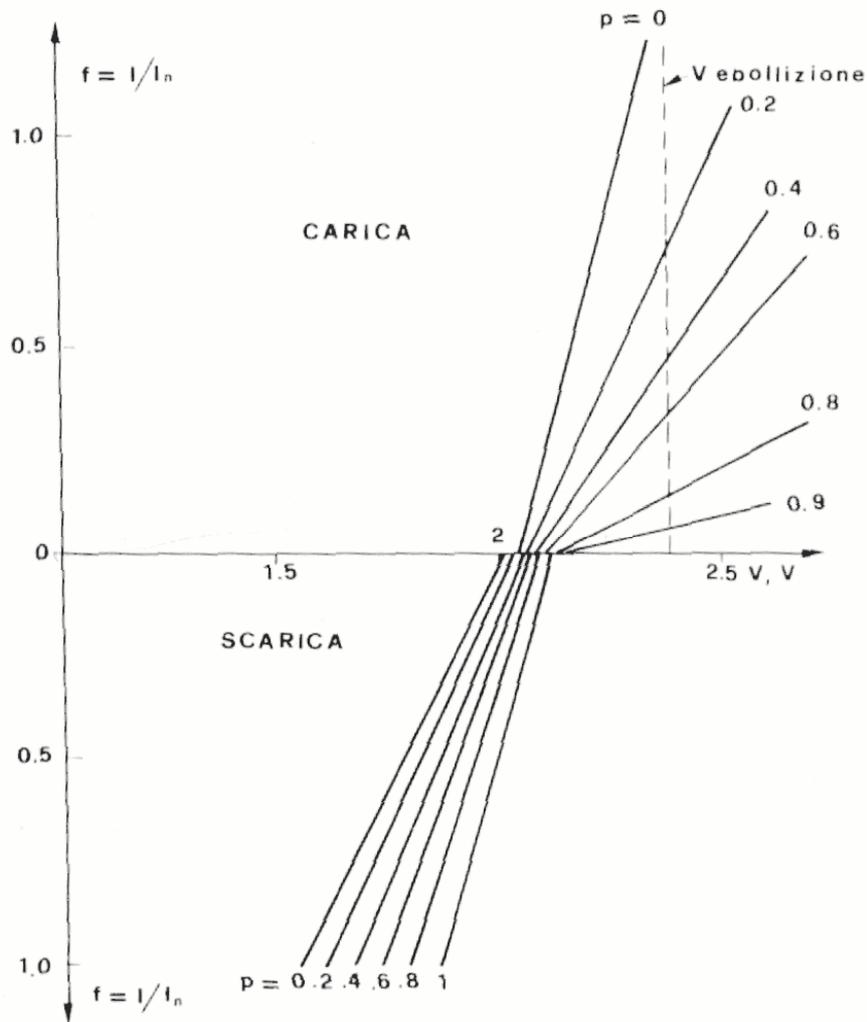


Figura 2.2-5- Curve caratteristiche “universali” per batterie piombo-acido

Le batterie possono essere collegate tra loro in serie o in parallelo. Nel collegamento in serie il polo positivo di una batteria viene collegato con il polo negativo di un'altra. In questo modo si sommano le tensioni e le capacità in Wh, mentre le capacità in Ah non cambiano. Nel collegamento in parallelo, invece, si collegano tra loro i poli uguali, ottenendo la somma delle capacità in Ah e in Wh, mentre la tensione rimane costante. Il collegamento in serie è in pratica quello unicamente usato perché consente di ottenere la tensione richiesta dal

sistema, mentre nel collegamento in parallelo la carica risulterebbe sempre non uniforme e la durata di vita delle batterie nettamente inferiore.

#### *2.2.4 Regolatore di carica*

La principale funzione di un regolatore di carica è quello di proteggere l'accumulo tramite batterie piombo-acido da sovraccarichi e da eccessive scariche in modo da aumentarne la vita utile e farlo lavorare in un intervallo di tensioni adeguate all'utilizzo.

Un buon regolatore deve offrire:

- Affidabilità.
- Semplicità costruttiva: per correnti inferiori a 30 – 40° (tensioni 12/24V) il mercato offre regolatori compatti e totalmente elettronici, mentre per generatori di taglia maggiore si ricorre a regolatori a controllo elettronico con attuazione elettromeccanica.
- Regolazione ON-OFF: consiste nella completa connessione o sconnessione del generatore fotovoltaico dalla batteria quando la tensione della stessa oltrepassa una prestabilita soglia.
- Regolazione con MPPT.