

Energia solare: fotovoltaico

Prof. Carmine Napoli

INTRODUZIONE

Quasi tutta l'energia disponibile può essere fatta risalire al sole, come:

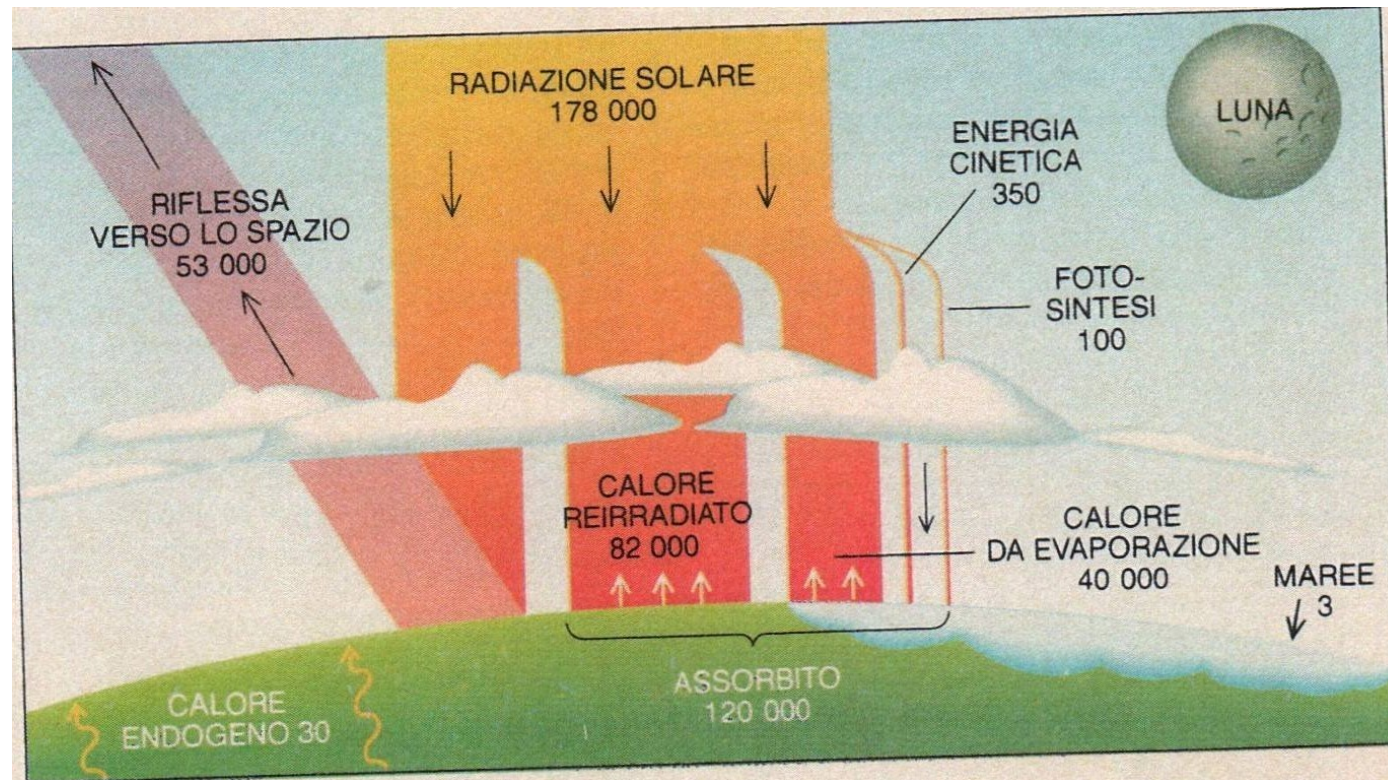
- l'energia solare: fotovoltaica e termica,
- l'idroelettrica,
- della biomassa,
- del vento;

Anche i combustibili fossili come petrolio e gas naturale, sono energia solare che ha investito la terra milioni di anni e che mediante processi biologici ha cambiato forma e, successivamente, si è accumulata.

Le forme di energia energie non direttamente legate al sole sono:

- la nucleare
- la geotermica
- delle maree.

La terra è investita da 170000 terawatt-anno di energia ma solo una piccola frazione è utilizzata.



CLASSIFICAZIONE:

L'energia del sole può essere utilizzata secondo più modalità:

- Termico
 - A bassa temperatura
 - Ad alta temperatura
- Fotovoltaico
- Biomassa

Il SOLE:

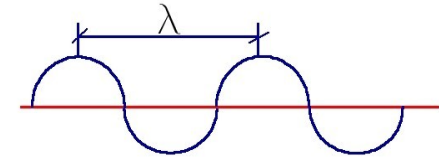
Il sole è una sfera posta a 150 milioni di chilometri dalla terra ed avente diametro di $1,39 \cdot 10^6$ km

Esso può essere paragonato ad un enorme reattore di fusione; è formato per lo più da idrogeno (89%), da elio (19 %) ed, in minima parte, dagli altri elementi, esso ha una temperatura superficiale di 5760 K, ma al suo interno si possono avere temperatura di milioni di gradi.

Con la fusione si ha la trasformazione di idrogeno in elio, durante il processo una parte di materia diventa energia, che, in parte, viene irradiata nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche. Una minima parte dell'energia irradiata arriva sulla terra.

LA COSTANTE SOLARE

Le onde che arrivano sulla terra hanno una lunghezza d'onda compresa tra 0,2 e 3 μm , esse trasportano energia; l'unità base è il fotone.



Le terra riceve una potenza pari a $1,7 \cdot 10^7 \text{ kW}$ di questa:

- il 30% viene riflessa nello spazio,
- il 47% viene convertito in calore a bassa temperatura ed è irradiata nello spazio ,
- il 23% genera quello che si chiama ciclo dell'acqua (evaporazione e precipitazione nella biosfera),
- lo 0,5% si trasforma in energia cinetica del vento, delle onde, e convertita biologicamente.

La quantità di energia che arriva su una superficie unitaria, quando la terra si trova ad una distanza media dal sole, è definita 'costante solare' ed è:

$$I = 1353 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Volendo definire, con una buona approssimazione, il valore della costante ,in particolare giorno dell'anno ,si può usare la relazione

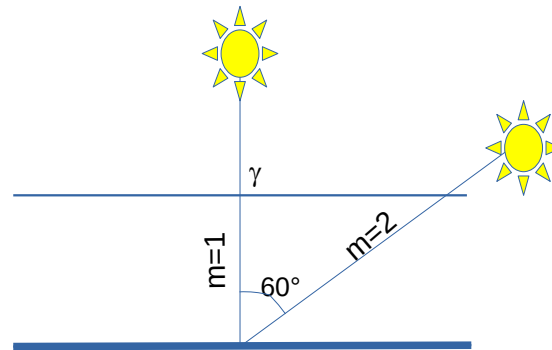
$$I_n = \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot 1353$$

dove n è l'ennesimo giorno dell'anno

si hanno i valori

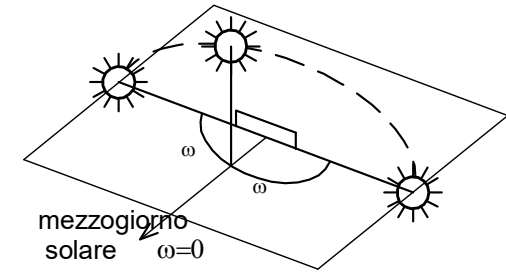
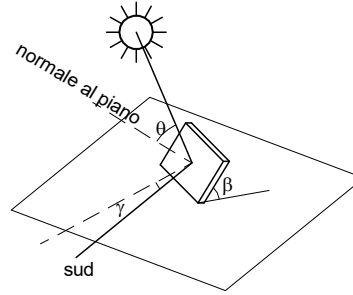
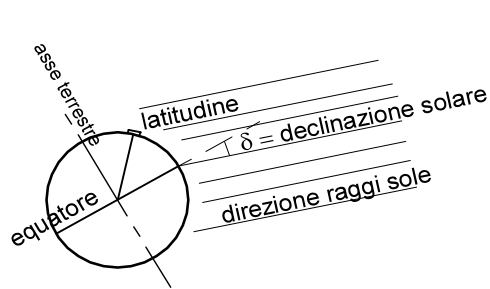
1° gennaio	1° marzo	1° maggio	1° luglio	1° settembre	1° novembre
1377,6	1349,8	1376,2	1314,9	1397,5	1311,8

Il percorso ottico della radiazione dipende dalla posizione del sole nella giornata



se m rappresenta la distanza da percorrere nell'atmosfera quando il sole è a picco, con una angolazione di 60° il percorso raddoppia.

PARAMETRI GEOMETRICI



- β inclinazione della superficie captante: angolo formato tra il piano preso in esame e quello orizzontale
- γ angolo azimutale della superficie: discostamento angolare della superficie captante rispetto al sud
- θ angolo di incidenza solare: angolo misurato tra la normale al piano di captazione e la direzione del raggio di incidenza del sole
- ω angolo orario: ogni ora corrisponde ad un angolo orario del sole di 15° .
A mezzogiorno si ha $\omega=0$, alle 9 $\omega=-45$ alle 15 $\omega=+45$

- α altitudine solare: posizione angolare del sole rispetto al piano orizzontale.
- δ declinazione solare: è l'angolo tra la posizione del sole a mezzogiorno ed il piano dell'equatore, assumendo il Nord positivo. Un calcolo approssimato può essere fatto con la relazione
$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[360 \left(\frac{280+n}{365} \right) \right]$$

Tutti i parametri indicati variano nel tempo in quanto la terra si muove nello spazio e ruota su se stessa.

Considerando un superficie ferma sulla terra, l'energia radiante che riceve dal sole varia in quanto varia continuamente la sua posizione rispetto al sole.

In ogni caso essa potrà ricevere al massimo una energia pari alla costante solare I di cui è detto in precedenza, poco più di un kW per metro quadrato.

Esistono delle relazioni matematiche che permettono di ricavare l'energia che arriva sulla superficie, sia come valore istantaneo che come valore medio, in genere per i calcoli è necessario conoscere il valore medio di energia relativa ad un giorno.

La radiazione media incidente su una superficie orizzontale al di fuori dell'atmosfera è:

$$H_0 = \frac{24}{\pi} \cdot I_n \cdot \left(\cos L \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin L \sin \delta \right)$$

dove ω_s sono gli angoli orari all'alba ed al tramonto in corrispondenza di un angolo di incidenza di 90° e piano orizzontale

$$\omega_s = \arccos(-\tan L \tan \delta)$$

È possibile dividere la radiazione in due tipologie.

Si chiama radiazione diretta $\overline{B_h}$ la radiazione che raggiunge il suolo direttamente senza trovare ostacoli

Si chiama radiazione diffusa $\overline{D_h}$ la radiazione che raggiunge il suolo dopo essere stata deviata da un ostacolo

La radiazione totale $\overline{H}_h$ è la somma delle radiazioni diffusa e diretta.

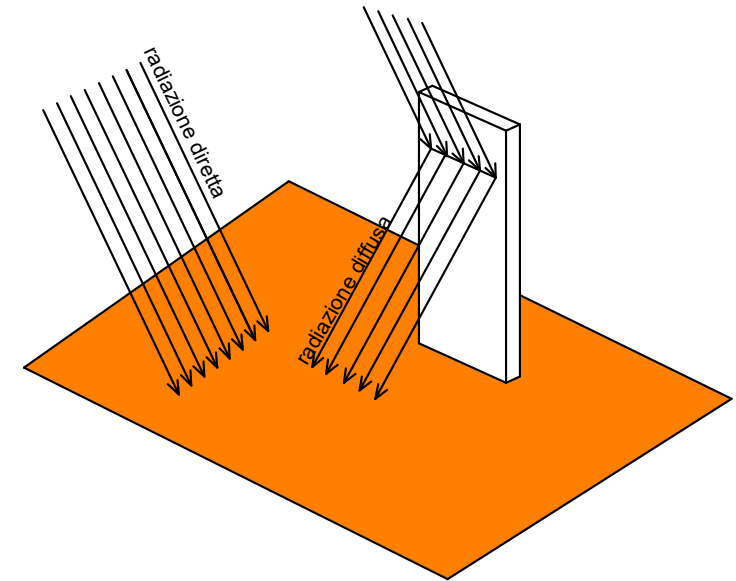
Il valore che essa può assumere dipende dalla posizione della località e dal suo clima, e dall'indice di nuvolosità

Per il rilevamento della radiazione sono state create varie stazioni eliofanometriche (in provincia di Salerno a Capo Palinuro) che hanno permesso di definire delle tabelle da cui ricavare i dati cercati.

Partendo dai valori tabellati è possibile ricavare la radiazione solare media su un piano inclinato e variamente orientato.

Con opportune relazioni è possibile ricavare l'andamento orario della radiazione solare.

Per finire: con opportuni calcoli (lunghi ma non complessi) si riesce a ricavare l'energia solare che arriva su una superficie comunque orientata ed in tutte le ore del giorno



EFFETTO FOTOVOLTAICO

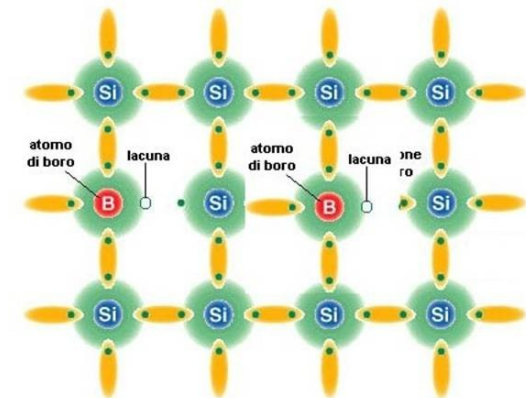
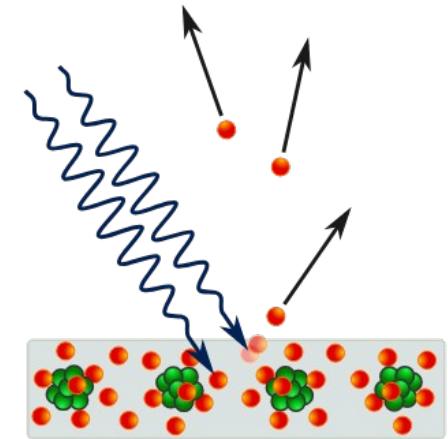
L'effetto fotoelettrico, rappresenta il fenomeno per cui la superficie di un corpo, investito da un flusso di onde elettromagnetiche, emette un flusso di elettroni in base al tipo di materiale del corpo e della lunghezza d'onda del flusso.

L'effetto fotovoltaico è strettamente legato all'effetto fotoelettrico è anche chiamato effetto fotovoltaico di contatto, esso interessa i semiconduttori e consiste nella creazione di una forza elettromotrice all'interno del corpo quando esso è investito da un fascio di onde elettromagnetiche.

Si deve ricordare che nei semiconduttori gli elettroni sono legati all'atomo, per cui non possono spostarsi liberamente.

Essi possono spostarsi solo tra un atomo ed un altro, in questo caso l'atomo che riceve l'elettrone si carica negativamente l'atomo che perde l'elettrone si carica positivamente si dice che acquista una lacuna.

In un semiconduttore il passaggio di corrente rappresenta il moto degli elettroni, ma anche quello delle lacune.



Avvicinando due corpi formati da elementi differenti gli elettroni si possono disporre per cui gli atomi di un elemento acquistano elettroni e gli atomi dell'altro li perdono (acquistano una lacuna)

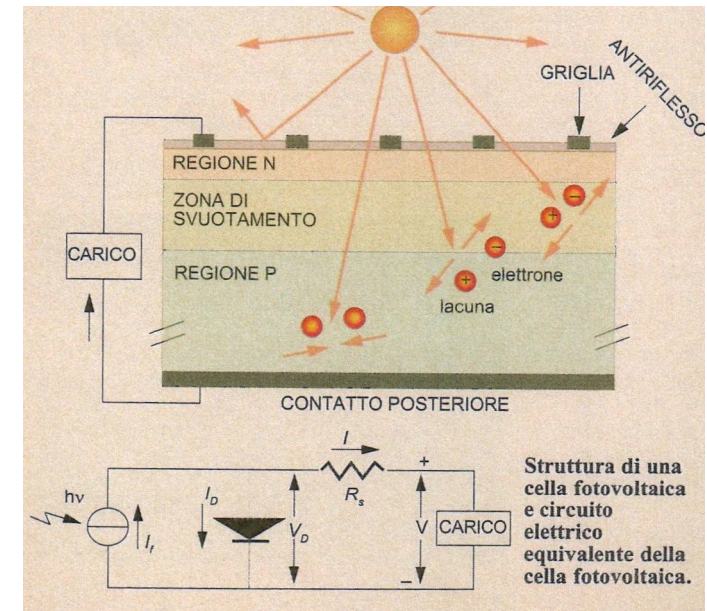
La giunzione p-n è un corpo, formato due elemento a contatto, lo stato con eccesso di lacune si chiama stato **p** quello con eccesso di elettroni si chiama stato **n**, la giunzione è la superficie di contatto tra i due corpi.

L'immagine a lato rappresenta la struttura di una cella fotovoltaica.

Si nota la presenza della regione N, della regione P e di una regione intermedia.

Per quello che si è detto tra le due zone **N** e **P** esiste una forza elettromotrice (differenza di potenziale).

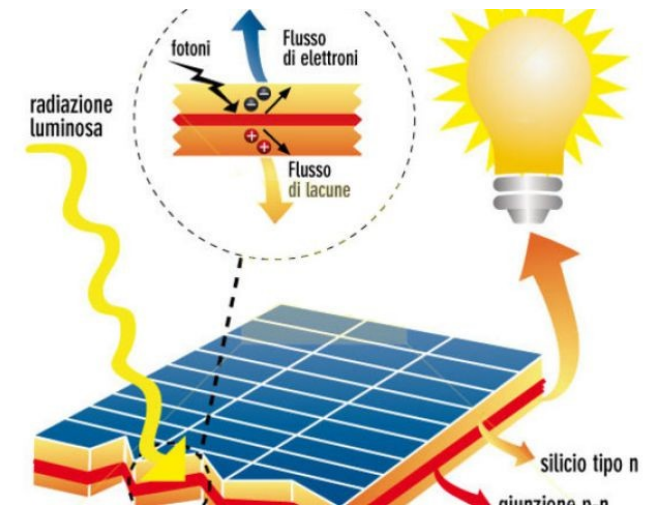
Quando arriva il raggio di luce esso fa uscire gli elettroni dalla propria orbita, trovandosi in un campo elettrico si sposteranno, lasceranno la zona P per andare verso la zona N.



Posizionando all'esterno delle due zone sue elettrodi è possibile collegare questi ultimi con un circuito, gli elettroni percorrono il circuito ritornando nella cella dove un nuovo raggio di luce li fa spostare tra N e P e ricomincia il percorso.

Una cella fotovoltaica può fornire una differenza di potenziale molto bassa, ma opportunamente collegate, in serie o in parallelo è possibile ottenere la tensione desiderata.

La corrente generata può essere utilizzata sul posto, in questo caso l'impianto fotovoltaico non è collegato alla rete elettrica nazionale, oppure può essere ceduta alla rete, l'impianto deve essere collegato alla rete elettrica nazionale.



LA CELLA FOTOVOLTAICA.

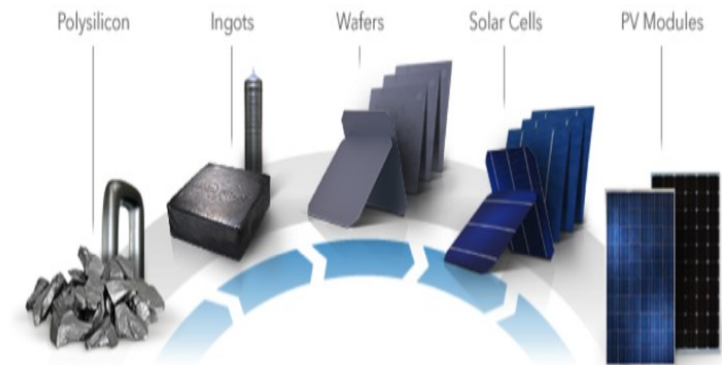
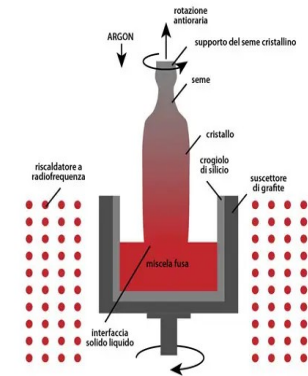
Il materiale maggiormente utilizzato per fabbricare le celle è il silicio, che è uno degli elementi che compongono la sabbia.

Il silicio viene portato ad una alta temperatura e viene creato il silicio metallico che è puro al 98%.

Mediante dei processi chimico-fisici esso viene ulteriormente purificato fino ad avere impurezze inferiori alla parte su dieci milioni, questo silicio policristallino è detto silicio di tipo elettronico.

Il silicio adesso viene fuso in crogiolo, con una opportuna raffreddamento si ottiene un ‘salame’, avente una struttura monocristallina.

Questo salame viene tagliato in fette sottilissime (spessore di 0,4 mm) che sono pulite e lappate.



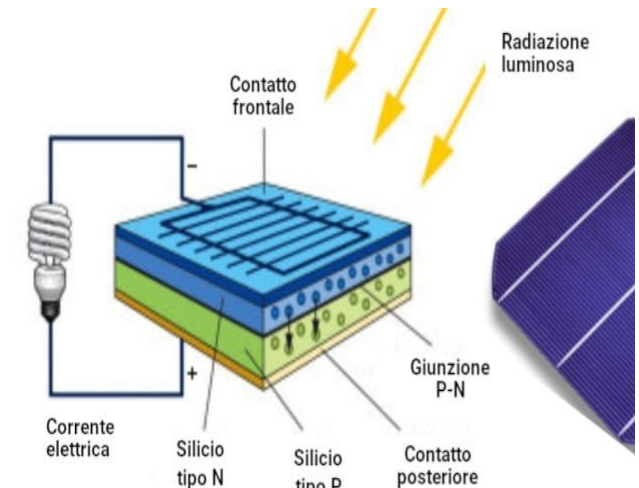
Sulle due facce si fanno attecchire degli strati di Boro e Fosforo un tipo per faccia ottenendo un disco che presenta una giunzione p-n.

Le due facce della cella sono opportunamente metallizzate, la faccia superiore si depone un sottile strato di materiale antiriflettente e protettivo.

Saldando un filo sulla faccia superiore ed uno sulla faccia inferiore quando la cella è esposta alla radiazione solare tra i due fili si genera una differenza di potenziale.

Le celle possono essere prodotte di varie dimensioni , in genere di 2,3,4 pollici di diametro.

L'efficienza delle cella è intorno al 20%, pannelli ad alta efficienza raggiungono una efficienza del 23%.



IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Un impianto fotovoltaico è un impianto elettrico costituito essenzialmente dall'assemblaggio di più moduli fotovoltaici che sfruttano l'energia solare per produrre energia elettrica mediante effetto fotovoltaico, della necessaria componente elettrica .

Gli impianti fotovoltaici sono principalmente suddivisi in 2 grandi famiglie:

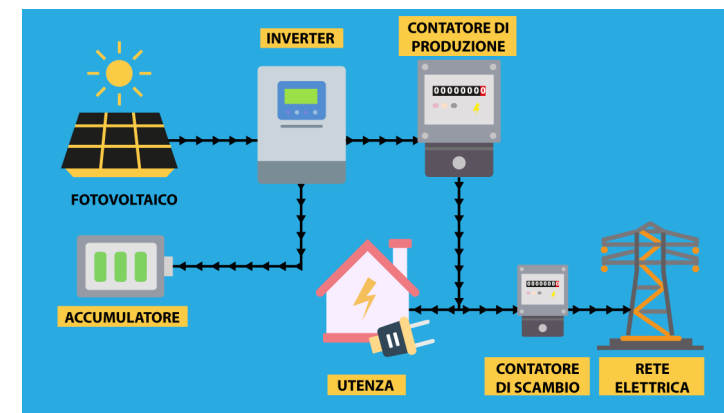
- impianti ad isola
- impianti connessi in rete

Gli impianti "ad isola" (detti anche "off-grid"): non sono connessi ad alcuna rete di distribuzione, per cui sfruttano direttamente sul posto l'energia elettrica prodotta e accumulata in un accumulatore di energia (batterie).

Esistono anche in modelli provvisori, facilmente smontabili e trasportabili;



Gli impianti "connessi in rete" (detti anche grid-connected): sono impianti connessi ad una rete elettrica di distribuzione esistente e gestita da terzi e spesso anche all'impianto elettrico privato da servire;



CONVERTITORI

Può capitare di avere una macchina a corrente continua che deve essere collegata ad una rete nella quale circola corrente alternata, ma può succeder anche l'inverso: si deve collegare una macchina a corrente alternata con una sorgente che fornisce corrente continua, per effettuare il collegamento si usano i convertitori. Un convertitore statico è una macchina elettrica, senza organi in movimento, che serve a permettere il collegamento.

Un convertitore statico è costruito con componenti elettronici di potenza a semiconduttore (ad esempio diodi, transistor e tiristori), e mediante il suo utilizzo si possono ottenere:

- raddrizzatori, che convertono da corrente alternata a corrente continua
- inverter, che convertono la corrente continua in alternata
- chopper (o frazionatori) per la conversione continua/continua
- convertitori ac/ac per la conversione alternata/alternata

INVERTER

Questi convertitori fanno la conversione da corrente continua in corrente alternata

La frequenza può essere qualsiasi fra 20Hz e 100 kHz (si ricorda che la frequenza di rete in Europa è 50 Hz).

Una volta scelta la frequenza di uscita essa non deve cambiare anche se cambia la tensione di alimentazione, questo vale anche per la tensione

Le applicazioni degli inverter sono molteplici oltre a quella ovvia di avere una tensione di uscita continua di una certa potenza quando la sorgente è a tensione alternata come capita in un gruppo batterie caricato da un generatore eolico, si ricorda come un inverter, cambiando la frequenza della corrente, permette la variazione del numero di giri di un motore elettrico.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

dove f è la frequenza di rete p il numero di coppia di poli

BIBLIOGRAFIA

Metodologie di Risparmio Energetico - Hoepli Editore

Gred R.Davis ed altri – Energia Per il Pianeta Terra – Quaderno Le scienze n° 96

Pacchetto multimediale “Bioenergia ed altre fonti”, programma operativo 940025 Ministero della Pubblica Istruzione

CALCOLO IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Per calcolare un impianto fotovoltaico, bisogna, innanzitutto, determinare il fabbisogno energetico per l'edificio che si vuole collegare all'impianto, riferito ad un determinato periodo, che in genere è un anno.

Questo può essere ricavata dalle bollette elettriche, ma anche da una analisi degli elettrodomestici installati e dal loro tempo di utilizzo.

Sempre dagli elettrodomestici installati analizzando adesso la contemporaneità del loro uso si calcola la potenza necessaria dell'impianto (kW) .

Infine, si stimano i costi di installazione dei componenti (pannelli, inverter, strutture, ecc.) e i risparmi energetici annuali per calcolare il tempo di ammortamento dell'investimento.