

ALLEGATO A: La tecnologica fotovoltaica

A. 1 La radiazione solare

La radiazione solare è definita come l'energia elettromagnetica emessa dal sole. All'interno del sole, a temperature di alcuni milioni di gradi centigradi, avvengono incessantemente reazioni termonucleari di fusione, che sprigionano enormi quantità di energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche. L'energia irradiata si propaga nello spazio, e dopo aver attraversato l'atmosfera arriva sulla superficie terrestre.

L'irraggiamento è definito come la radiazione solare per unità di tempo e di superficie ed è pari a **1360 W/m²** (costante Solare) fuori dall'atmosfera terrestre, e **1000 W/m²** sulla superficie terrestre, a livello del mare, in condizioni meteorologiche ottimali e con sole allo zenit.

L'energia dispersa dai raggi del sole varia in funzione dello strato di atmosfera che attraversano, quindi varia in funzione della latitudine del luogo e della stagione.

La parte della radiazione solare che attraversa l'atmosfera e giunge al suolo può essere scomposta in 3 componenti, indipendentemente dalla lunghezza d'onda, di seguito definite.

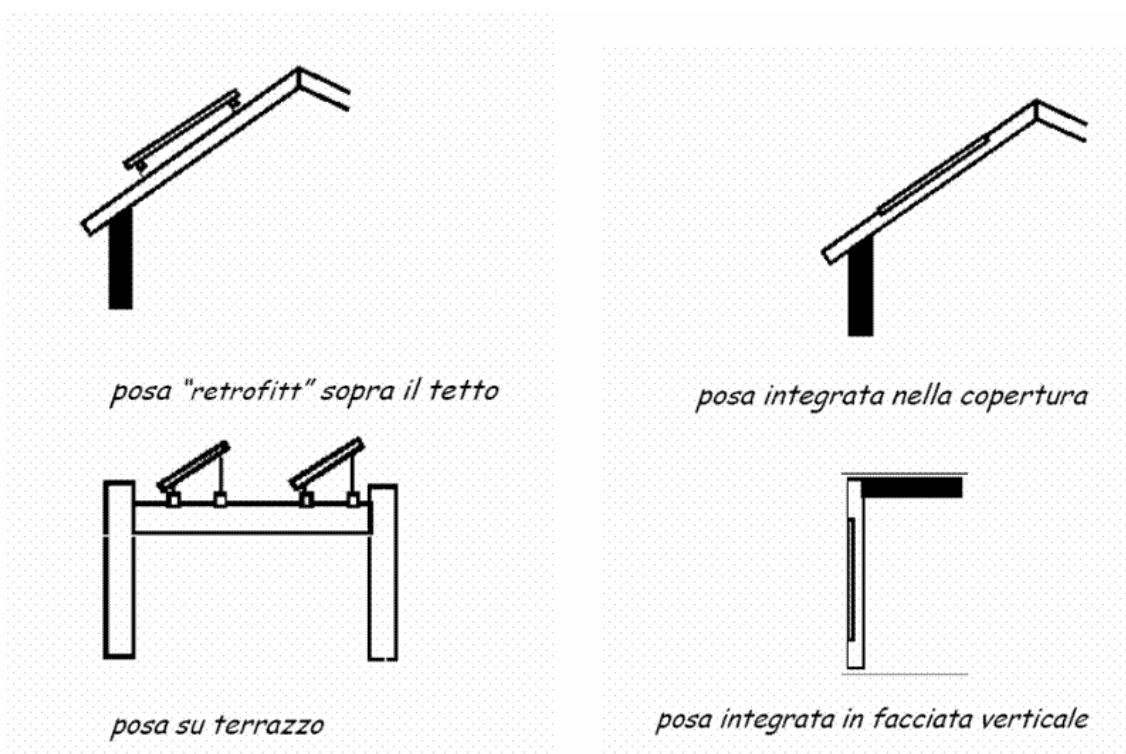
- **DIRETTA:** radiazione che giunge al suolo direttamente dal disco solare, nel centro Europa la radiazione diretta è equiparabile mediamente alla radiazione diffusa a causa della frequente presenza di nebbia e nuvole, ma a sud è la componente preponderante.
- **DIFFUSA:** radiazione che giunge al suolo dopo essere stata riflessa e in parte assorbita dalle molecole (di vapore e pulviscolo) sospese in atmosfera.
- **ALBEDO:** radiazione riflessa dal suolo (parte più difficile da calcolare e in genere presente solo in orari molto circoscritti), è la parte meno rilevante, salvo in condizioni particolari come nel caso di una superficie ghiacciata o vicino a corpi d'acqua (laghi o mare); spesso è possibile farne solo una stima. E' data sia da una riflessione della luce diffusa sia da una riflessione della luce diretta.

A.4 Modalità di posa in opera

Secondo il tipo di applicazione a cui l'impianto è destinato, le condizioni di installazione, le scelte impiantistiche, il grado di integrazione nella struttura edilizia con cui si interfaccia, si distinguono varie tipologie di impianto.

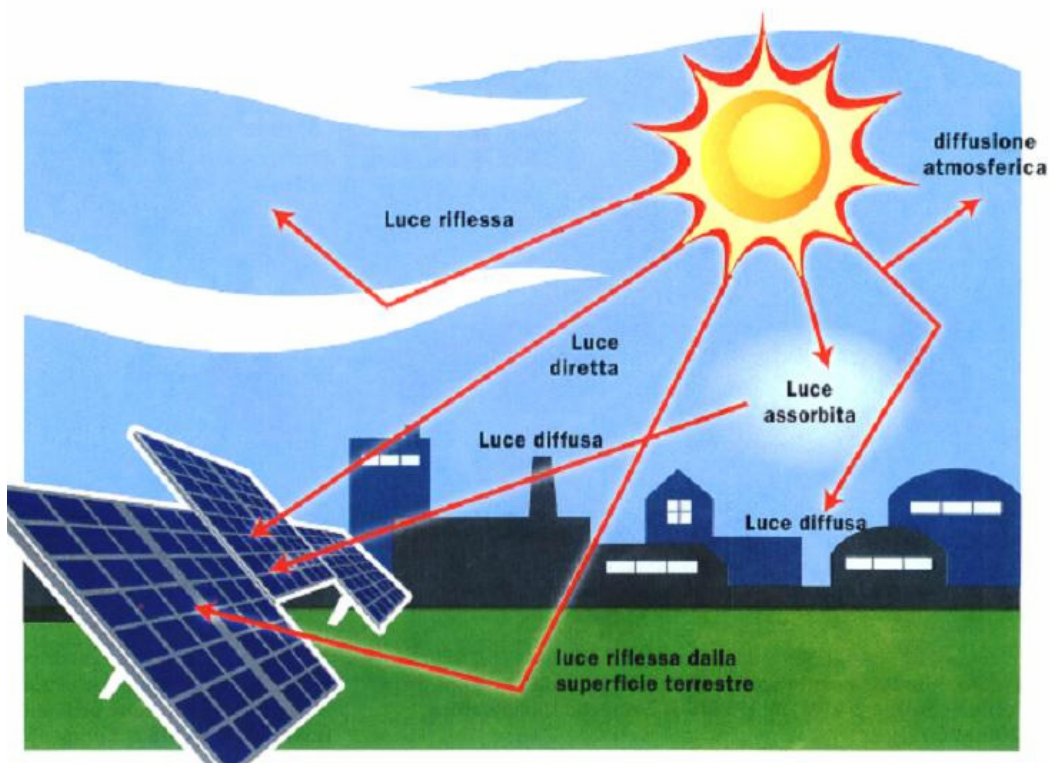
I moduli fotovoltaici possono essere collocati su qualsiasi pertinenza dell'immobile di proprietà dell'utente.

Le principali soluzioni tecniche e architettoniche per l'installazione di un impianto sono illustrate in Figura.



Modalità di posa in opera dei moduli FV (fonte: ENEL)

La posa integrata nella struttura degli edifici sta trovando sempre maggiore applicazione e sta ampliando gli orizzonti di utilizzo del fotovoltaico. A tal proposito si sottolinea che gli impianti FV in posa integrata possono beneficiare di tariffe incentivanti (Conto Energia) maggiorate del 10% rispetto a quelle previste per le pose non integrate (o "retrofit").



Componenti della radiazione solare nell'atmosfera

Il modo in cui si suddivide la radiazione solare nelle componenti diretta, riflessa e diffusa dipende dalle condizioni meteorologiche e in particolare dalla nuvolosità: se il cielo è nuvoloso la maggior parte della radiazione disponibile al suolo è diffusa, mentre se il cielo è limpido la maggior parte è diretta.

La radiazione è inoltre legata alle caratteristiche di un sito. Se questo si trova ad essere circondato da montagne, sarà costretto a rinunciare a parte della radiazione solare diretta in diversi periodi dell'anno.

A.2 I generatori fotovoltaici

Il componente principale di un impianto fotovoltaico è il generatore fotovoltaico, cioè più pannelli composti da celle di silicio (semiconduttore).

Una volta che i fotoni del raggio luminoso proveniente dal sole colpiscono gli elettroni del silicio questi cominciano a muoversi generando energia elettrica continua che può essere, successivamente trasportata ed utilizzata.

La cella fotovoltaica è il componente elementare del sistema ed è costituita da una sottile “fetta” di un materiale semiconduttore, quasi sempre silicio (l'elemento più diffuso in natura dopo l'ossigeno), di spessore pari a circa 0,3 mm. Può essere rotonda o quadrata e può avere una superficie compresa tra i 100 e i 225 cm².



Una cella fotovoltaica

Il silicio viene drogato mediante l'inserimento su una faccia di atomi di boro (drogaggio p) e sull'altra faccia con piccole quantità di fosforo (drogaggio n).

Nella zona di contatto tra i due strati a diverso drogaggio si determina un campo elettrico; quando la cella è esposta alla luce, per effetto fotovoltaico, si generano delle cariche elettriche e, se le due facce della cella sono collegate ad un utilizzatore, si avrà un flusso di elettroni sotto forma di corrente elettrica continua.

Attualmente il silicio, mono e policristallino, impiegato nella costruzione delle celle è lo stesso utilizzato dall'industria elettronica, che richiede materiali molto puri e quindi costosi. Tra i due tipi il silicio policristallino è il meno costoso, pur avendo rendimenti leggermente inferiori.

Per ridurre il costo della cella sono in studio nuove tecnologie che utilizzano il silicio amorfo e altri materiali policristallini, quali il seleniuro di indio e rame e il tellurio di cadmio.

Se nei pannelli ad uso aerospaziale i rendimenti raggiungono anche il 50%, valori tipicamente riscontrabili nei prodotti commerciali a base silicea si attestano intorno ai seguenti valori di rendimento:

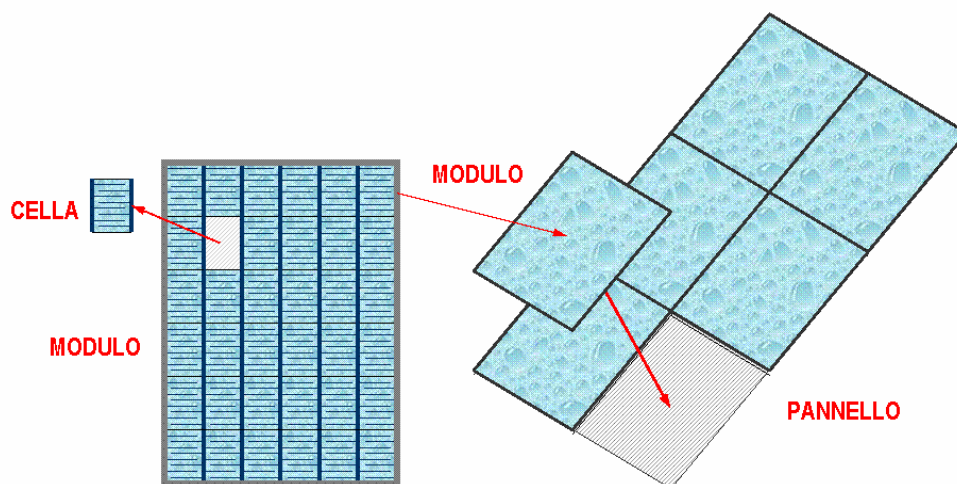
- **16%** nei moduli in **eterogiunzione**;
- **14%** nei moduli in **silicio monocristallino**;
- **13%** nei moduli in **silicio policristallino**;
- **10%** nei moduli in **silicio microsferico**;
- **6%** nei moduli con celle in **silicio amorfo**.

Una cella fotovoltaica di dimensioni 100 cm² si comporta come una minuscola batteria, e nelle condizioni di irraggiamento tipiche dell'Italia (1 kW/mq), alla temperatura di 25°C fornisce una corrente di 3 A , con una tensione di 0,5 V e una potenza pari a 1,5-1,7 w (picco).

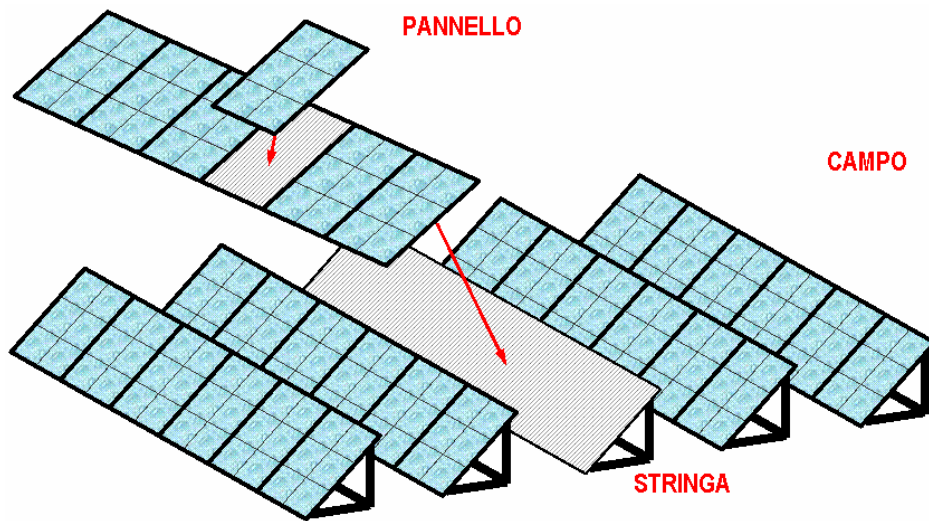
Un generatore fotovoltaico è costituito da un insieme di moduli fotovoltaici collegati in modo da ottenere i valori di potenza e tensione desiderati. I moduli sono costituiti da un insieme di celle.

In commercio, attualmente, i più diffusi sono costituiti da 36 celle di silicio mono o policristallino disposte su 4 file parallele collegate in serie. Hanno superfici che variano da 0,5 ad 1 mq.

Più moduli collegati in serie formano un pannello, ovvero una struttura rigida ancorabile al suolo o ad un edificio.



Cella, modulo e pannello fotovoltaico



Pannello, stringa e campo fotovoltaico

Un insieme di pannelli, collegati elettricamente in serie costituisce una stringa. Più stringhe, collegate generalmente in parallelo, per fornire la potenza richiesta, costituiscono il generatore (o campo) fotovoltaico.

La potenza di picco di un generatore fotovoltaico si esprime in kWp (kilowatt di picco) e rappresenta la potenza teorica massima che può produrre nelle condizioni standard di insolazione e temperatura dei moduli (1000 W/m² e 25° C).

Per calcolare la potenza di picco complessivamente installabile è sufficiente considerare la superficie necessaria unitaria.

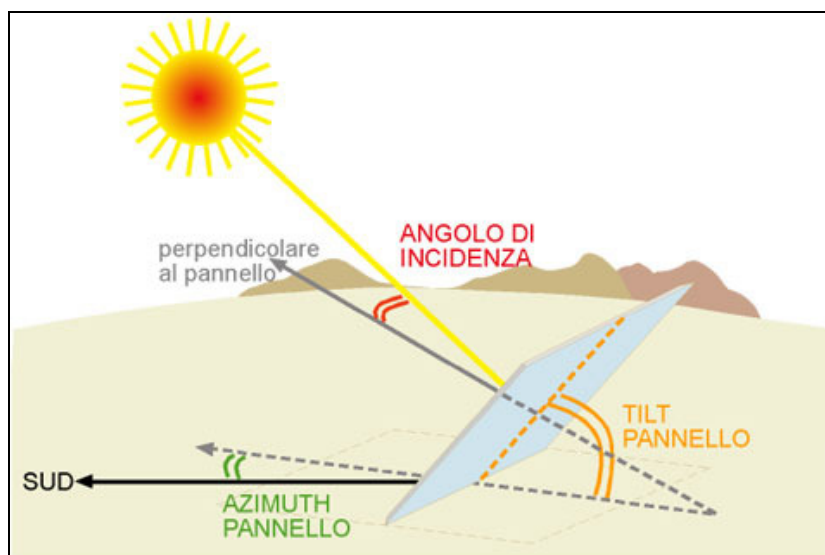
Si tenga conto che impianto di potenza nominale pari ad 1 kWp corrisponde a una superficie complessiva di moduli pari a circa 8 mq se in silicio monocristallino e 10 mq se in silicio policristallino.

A.3 Posizionamento dei pannelli

L'assorbimento di energia da parte di un impianto fotovoltaico dipende poi dal posizionamento dell'elemento captante (modulo o pannello), caratterizzato principalmente da due parametri:

1. **tilt**: l'inclinazione rispetto al piano orizzontale;
2. **azimuth**: l'angolo di orientamento rispetto al Sud.

Tali concetti sono illustrati in Figura.



Angolo di tilt e angolo di azimuth

Per ogni località e ogni condizione esistono un'inclinazione e un orientamento ottimali che danno la massima radiazione solare disponibile; tali condizioni sono azimuth pari a zero e angolo di tilt pari alla latitudine del luogo di installazione con correzioni che dipendono dalla nuvolosità del luogo o dalla presenza di ostacoli che possano causare ombreggiamento.

La produzione di energia elettrica su base media annua nell'emisfero Nord è massima per l'esposizione Sud con angolo di inclinazione pari alla latitudine locale sottratta di 10° circa.

Scostamenti contenuti rispetto alla posizione ottimale danno delle perdite di energia a volte del tutto trascurabili: si possono evitare le antiestetiche strutture d'acciaio montate sui tetti per dare ai pannelli inclinazioni diverse da quella della falda, privilegiando l'integrazione architettonica. Per tenere conto dell'effetto dell'angolo di orientamento ed inclinazione sull'efficienza dell'impianto è opportuno utilizzare i fattori di conversione elencati Tabella.

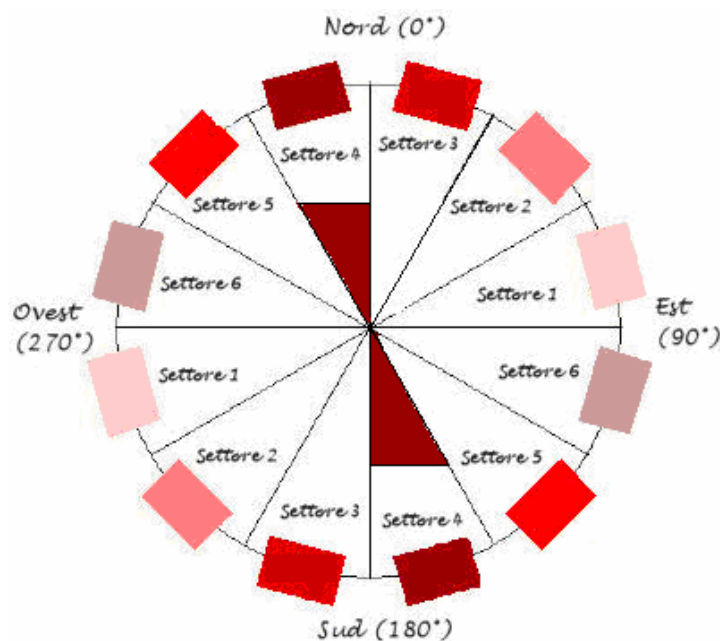
Fattore di correzione in base ad inclinazione ed orientamento dei moduli (fonte: Phèbus)

INCLINAZIONE \ ORIENTAMENTO		FATTORI DI CORREZIONE PER LE DIVERSE SITUAZIONI DI INCLINAZIONE E ORIENTAMENTO			
		0° 	30° 	60° 	90° 
Est 		0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est 		0,93	0,96	0,88	0,66
Sud 		0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest 		0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest 		0,93	0,90	0,78	0,55

In questo lavoro sono stati analizzati le diverse variabili territoriali e architettonici quali l'orientamento, l'inclinazione, gli ingombri esistenti e gli elementi edilizi e naturalistici.

A.3.1 Angolo di azimuth

L'orientamento della struttura è stata determinata in funzione dell'asse principale dell'edificio che è normalmente corrispondente alla direzione delle falde. Lo spettro di orientamento è stato suddiviso in sei settori ognuno di ampiezza pari a 30°.



Suddivisione in settori dell'angolo di azimuth

Il grafico in Figura evidenzia come le esposizioni migliori siano quelle verso sud (settore 3 e 4). Spostandosi verso Est e verso Ovest l'idoneità architettonica dovuta all'orientamento diminuisce fino a raggiungere situazioni poco favorevoli (settori 1 e 6).

In un intervallo di angoli di azimut compresi tra -45° e $+45^\circ$ rispetto al Sud (angolo di azimut compreso tra sud-est e sud-ovest) i valori della radiazione incidente non si discostano significativamente dal valore massimo. Orientando infatti i sistemi fotovoltaici a Sud-Est oppure a Sud-Ovest si avrebbe una perdita pari a solo il 5%.

A.3.2 Angolo di tilt

L'inclinazione ottimale dei pannelli è compresa tra i 30° e i 40° . Questa inclinazione è quindi condizionata dalla tipologia architettonica del tetto dell'edificio, mentre nel caso di posa su tetti piatti o su terreno questo problema non si pone potendo montare i pannelli su apposite strutture inclinate.

Una superficie orientata a sud viene raggiunta dal 90% dell'irradiazione annuale massima per un'inclinazione che va da 0° a 60° circa. Questa percentuale diminuisce con orientamenti meno idonei fino a perdere ben il 35% della radiazione massima nell'applicazione su facciata verticale.

A.3.3 Ostacoli artificiali e ombreggiatura naturale

Gli ingombri, se non movibili, come canne fumarie e finestre rappresentano una limitazione di spazio e una possibile fonte d'ombra. Questi elementi devono essere studiati a livello di fattibilità.

Altri fattori di attenzione e di valutazione sono l'orografia e la presenza di edifici che possono creare coni d'ombra, limitando la produzione elettrica fotovoltaica.



Applicazione su tetto inclinato “retrofit”



Applicazione su tetto piano



Applicazione a terra