

## ...argomenti...

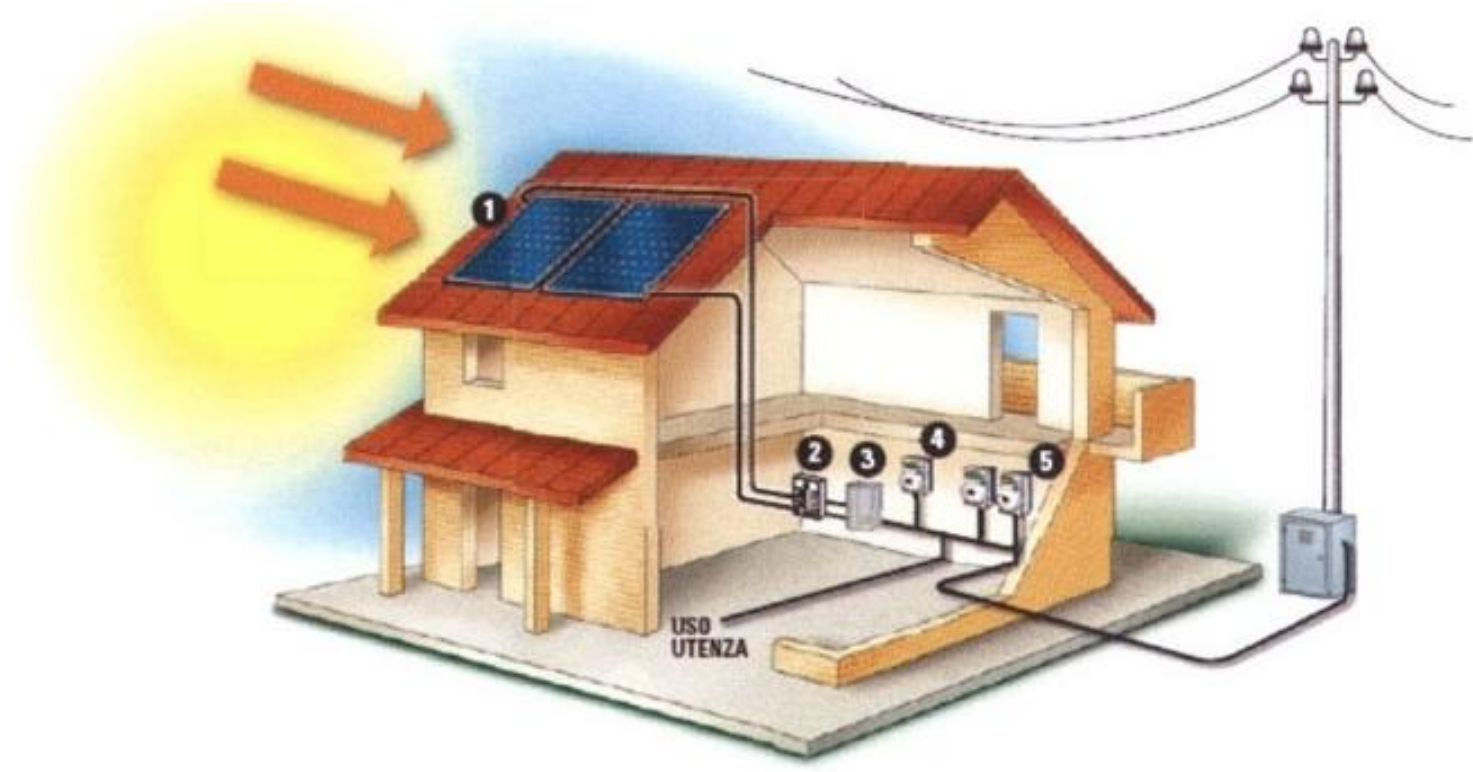
### **Solare fotovoltaico**

- Tipologie di impianto e componenti
- Criteri di dimensionamento
- Dimensionamento semplificato

# Solare fotovoltaico

## FUNZIONALITA' E OBIETTIVI

- L'impianto solare fotovoltaico ha la funzione di **convertire l'energia elettromagnetica** contenuta nella radiazione solare **in energia elettrica** direttamente utilizzabile oppure vendibile alla rete elettrica nazionale.



# Configurazioni di un impianto fotovoltaico

## IMPIANTO CONNESSO ALLA RETE ELETTRICA NAZIONALE (GRID-CONNECTED)

- L'energia elettrica non può essere accumulata, quindi quella prodotta o viene immediatamente utilizzata dalle utenze dell'abitazione oppure viene ceduta alla rete.

### Impianto fotovoltaico connesso alla rete (grid-connected)



Immagine tratta da Greenergytech.it

# Configurazioni di un impianto fotovoltaico

## IMPIANTO IN ISOLA (STAND-ALONE)

- L'energia prodotta viene accumulata nelle batterie e può essere **utilizzata** dalle utenze in un **tempo successivo** a quello di produzione.





# Configurazioni di un impianto fotovoltaico

## CONFRONTO *GRID-CONNECTED* VS *STAND-ALONE*

GRID-CONNECTED	STAND-ALONE
<p><b>Pro</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Continuità di servizio: in mancanza di sole le utenze sono alimentate dalla rete elettrica.</li><li>• Nessuno spreco di energia: quella in surplus viene venduta alla rete elettrica (GSE - Gestore Servizi Energetici).</li><li>• Minori costi di investimento e manutenzione.</li><li>• (In passato) Maggiori incentivi.</li><li>• Ritorni economici vantaggiosi.</li></ul> <p><b>Contro</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dipendenza dalla rete elettrica.</li><li>• Necessità di contemporaneità produzione-consumi per poter utilizzare direttamente l'energia autoprodotta senza immetterla in rete (economicamente più conveniente).</li></ul>	<p><b>Pro</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Indipendenza dalla rete elettrica.</li></ul> <p><b>Contro</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Continuità di servizio incerta se viene utilizzata più energia di quella prodotta dall'impianto e accumulata dalle batterie.</li><li>• Possibile spreco di energia se viene prodotta più energia di quella accumulabile dalle batterie.</li><li>• Maggiori costi sia di investimento che di manutenzione (le batterie sono costose e hanno vita breve).</li></ul>

# Componenti di un impianto fotovoltaico

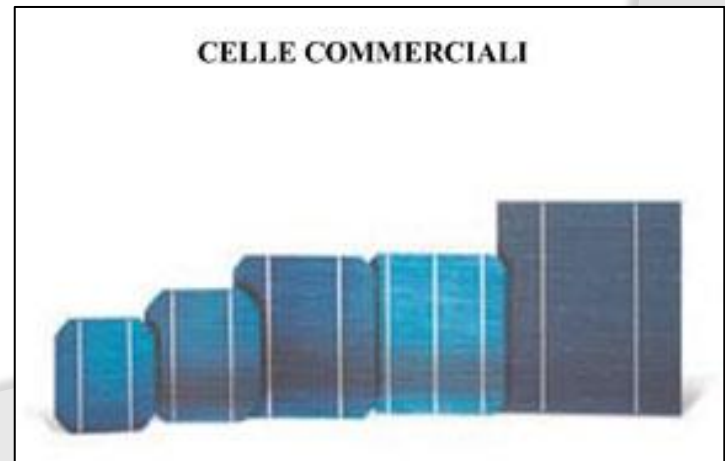
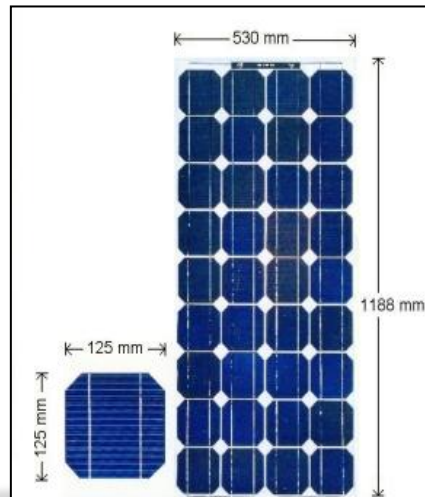
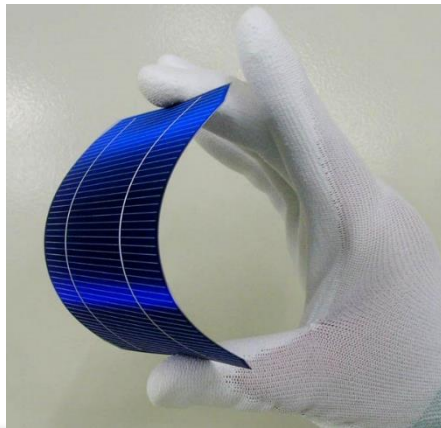
## COMPONENTI

- L'impianto fotovoltaico è composto dai seguenti elementi principali:
  1. **Modulo fotovoltaico** (o pannello fotovoltaico)  
Rappresenta l'elemento preposto alla captazione della radiazione solare e alla sua conversione in energia elettrica.
  2. **Sistemi di conversione** (inverter)  
Dispositivi elettronici in grado di permettere il funzionamento ottimale dei moduli nonché la connessione tra il sistema fotovoltaico (in corrente continua) ed il sistema elettrico nazionale (in corrente alternata).
  3. **(Eventuali) sistemi di accumulo** (batterie) e **regolatori di carica**  
Presenti solo nei sistemi non connessi alla rete elettrica nazionale (stand-alone), servono ad accumulare l'energia elettrica prodotta.
  4. **Sistemi di protezione e manovra** (quadri elettrici)  
Contengono gli interruttori automatici per la protezione dai guasti.
  5. **Contatori dell'energia**  
Contabilizzano l'energia prodotta, quella immessa e prelevata da rete.
  6. **Cavi, connettori, carpenteria, sistemi di fissaggio, ecc**

# Moduli fotovoltaici

## CELLE E MODULI FOTOVOLTAICI

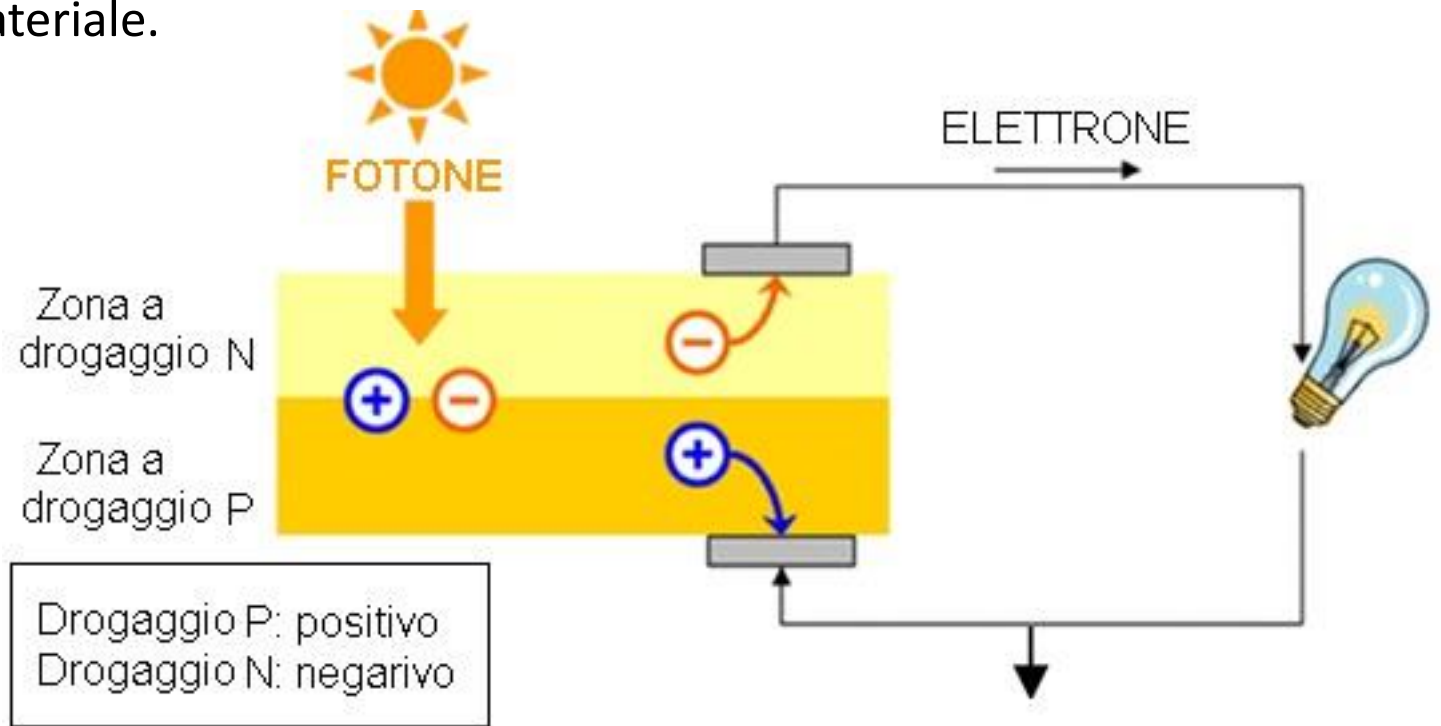
- Il modulo fotovoltaico può trovarsi in **diverse forme, dimensioni, configurazioni** (es. piano, a concentrazione, flessibile, ecc).
- In ogni caso esso è **composto da una o più celle fotovoltaiche**, nelle quali avviene la conversione dell'energia solare in energie elettrica.



# Moduli fotovoltaici

## EFFETTO FOTOVOLTAICO

- Il principio di funzionamento delle celle fotovoltaiche è l'**effetto fotovoltaico**.
- Questo si realizza quando **un elettrone** presente **nella banda di valenza** di un materiale (generalmente **semiconduttore**) passa alla **banda di conduzione** a causa dell'**assorbimento di un fotone** sufficientemente energetico incidente sul materiale.



- Scoperto nel 1839 da Bacquerel, studiato da Einstein che ottenne il premio nobel per la fisica nel 1921. Prova della natura corpuscolare della luce.

# Moduli fotovoltaici

## MATERIALI

- I materiali che presentano un effetto fotovoltaico sono normalmente **semiconduttori** in quanto il **divario energetico** (energy gap) tra la banda di valenza e quella di conduzione **non è troppo elevato**.
- Le celle fotovoltaiche più comunemente usate **si distinguono sia per materiale che per microstruttura**:
  - **microstruttura monocristallina**:
    - Silicio (Si) monocristallino
  - **microstruttura policristallina**:
    - Silicio (Si) policristallino
  - **microstruttura a film sottile**:
    - Silicio (Si) amorfo
    - Tellururo di cadmio (CdTe)
    - Solfuro di cadmio (CdS)
    - Arseniuro di gallio (GaAs)
    - Diseleniuro di indio e rame (CIS)
    - Diseleniuro di indio, rame e gallio (CIGS)

# Moduli fotovoltaici

## SILICIO MONOCRISTALLINO, POLICRISTALLINO E AMORFO

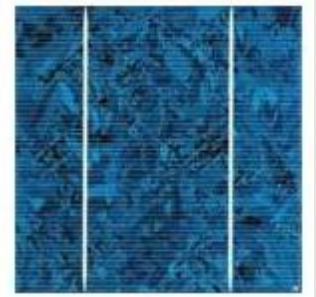
- **Silicio monocristallino**

Viene prodotto attraverso un processo di accrescimento cristallino da fase liquida molto sofisticato e costoso. Si ottiene un unico grande cristallo che poi viene sezionato. E' il prodotto più puro e più pregiato, lo stesso che si usa per i micro-chip.



- **Silicio policristallino**

E' ciò che si ottiene dal raffreddamento del silicio fuso senza le tecniche di accrescimento del monocristallo. Si formano quindi dei cristalli di piccole dimensioni (millimetri o centimetri di diametro) connessi da zone amorphe. E' un prodotto di medio pregio che ha un ottimo rapporto qualità/prezzo.



- **Silicio amorfo**

è ottenuto tramite deposizione da fase vapore del silicio su un supporto che ne definisce anche la forma. La struttura degli atomi è completamente disorganizzata, senza cristalli. E' il prodotto con minore efficienza, ma permette di produrre celle di qualsiasi forma e anche flessibili.



# Moduli fotovoltaici

## CONFRONTO TRA MATERIALI

	Si monocristallino	Si multicristallino	Si amorfo	GaAs	CdTe	CIS (CULNSe <sub>2</sub> )
<b>Rendimento cella</b>	14-17%	12-14%	4-6% singolo 7-10% tandem	32,5% (lab.)	10%	12%
<b>Vantaggi</b>	Alto rendimento stabile tecnologia affidabile	< rendimento costo < fabbricazione più semplice miglior occupazione dello spazio	costo < < necessità di materiale ed energia nella fabbricazione buon rendimento con basso irraggiamento flessibile	Alta resistenza alle alte temperature (ok per i concentratori)	Basso costo	Molto stabile
<b>Svantaggi</b>	Costo E grigia Quantità di materiale necessaria alla fabbricazione Complessità	Complessità Sensibilità alle impurità	Basso rendimento Degrado iniziale Stabilità negli anni	Tossicità Disponibilità del materiale	Tossicità Disponibilità del materiale	Tossicità (Cd)

- La stragrande maggioranza degli impianti fotovoltaici è realizzata con moduli in **silicio monocristallino e policristallino**.



# Moduli fotovoltaici piani

## PARAMETRI DI TARGA

- I **principali parametri tecnici** che caratterizzano i moduli fotovoltaici sono i seguenti:
  - **Potenza nominale di picco ( $P_n$ ):**  
Potenza elettrica che erogherebbe il modulo in condizioni standard (irraggiamento ( $P_i$ ) di **1000 W/m<sup>2</sup>** ( $A_i = 1\text{m}^2$ ) e temperatura di 25°C). Si misura in "Chilowatt di picco" [kWp]. La potenza prodotta in condizioni diverse viene fornita attraverso delle curve.
  - **Area del modulo ( $A_{\text{mod}}$ ):**  
Superficie occupata dal pannello. Si misura in metri quadri [m<sup>2</sup>].
- Operando il rapporto tra la potenza incidente e la potenza generata per unità di superficie si ottiene l'**efficienza nominale del pannello**.

$$\varepsilon = \frac{P_n / A_{\text{mod}}}{P_i / A_i} = \frac{P_n / A_{\text{mod}}}{1/1} = \frac{P_n}{A_{\text{mod}}} \quad [\text{adim}]$$

# Moduli fotovoltaici piani

## OCCUPAZIONE DI SPAZIO

- Operando il rapporto tra l'area del pannello e la potenza generata si ottiene l'**ingombro specifico (IS)**, ossia la **superficie netta di pannelli necessaria a produrre un 1kWp di potenza elettrica**. Questo è anche pari al reciproco dell'efficienza.

$$IS = \frac{A_{\text{mod}}}{P_n} = \frac{1}{\varepsilon} \quad \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{kWp}} \right]$$

## ESEMPIO NUMERICO

- Un pannello fotovoltaico ha potenza nominale pari a 250 Wp ed una superficie di 1,7 m<sup>2</sup>. Calcolare l'efficienza di conversione e l'ingombro specifico.

$$\varepsilon = \frac{P_n}{A_{\text{mod}}} = \frac{0,25}{1,7} = 0,147$$

Il 14,7% dell'energia solare incidente viene convertita in energia elettrica.

$$IS = \frac{1}{\varepsilon} = 6,8 \quad \frac{\text{m}^2}{\text{kWp}}$$

Sono necessari 6,8 metri quadri di pannelli per realizzare un chilowatt di potenza di picco.

# Sistemi di conversione (inverter)

## FUNZIONALITA' E CARATTERISTICHE

- L'**inverter** è un dispositivo elettronico con le seguenti funzionalità:
  - **Regola il funzionamento dei moduli fotovoltaici** ottimizzando costantemente il loro punto di lavoro (combinazione di tensione e corrente), a seconda delle condizioni di irraggiamento, per **massimizzare la potenza prodotta dall'impianto** (MPPT - Maximum Power Point Tracker).
  - **Converte la tensione continua (DC)** del campo fotovoltaico **in tensione alternata (AC)** tipica della rete elettrica nazionale. Ciò permette la connessione dei due sistemi.
  - **Verifica lo stato di funzionamento dell'impianto** ed eventualmente segnala guasti che si dovessero verificare.
  - **Altro**: eventuale telecontrollo, monitoraggio, contabilizzazione dell'energia, ecc.



# Sistemi di conversione (inverter)

## EFFICIENZA DI CONVERSIONE

- **L'inverter dissipa una parte dell'energia** che lo attraversa a causa del funzionamento non ideale del sistema di conversione.
- Oltre all'inverter **anche i cavi e gli altri componenti elettrici dissipano** una parte dell'energia.
- Comunemente si considera un **valore globale del rendimento di tutti gli apparati elettrici** (denominati **BOS** - Balance Of System):

$$\eta_{BOS} = 0,85 \div 0,95$$

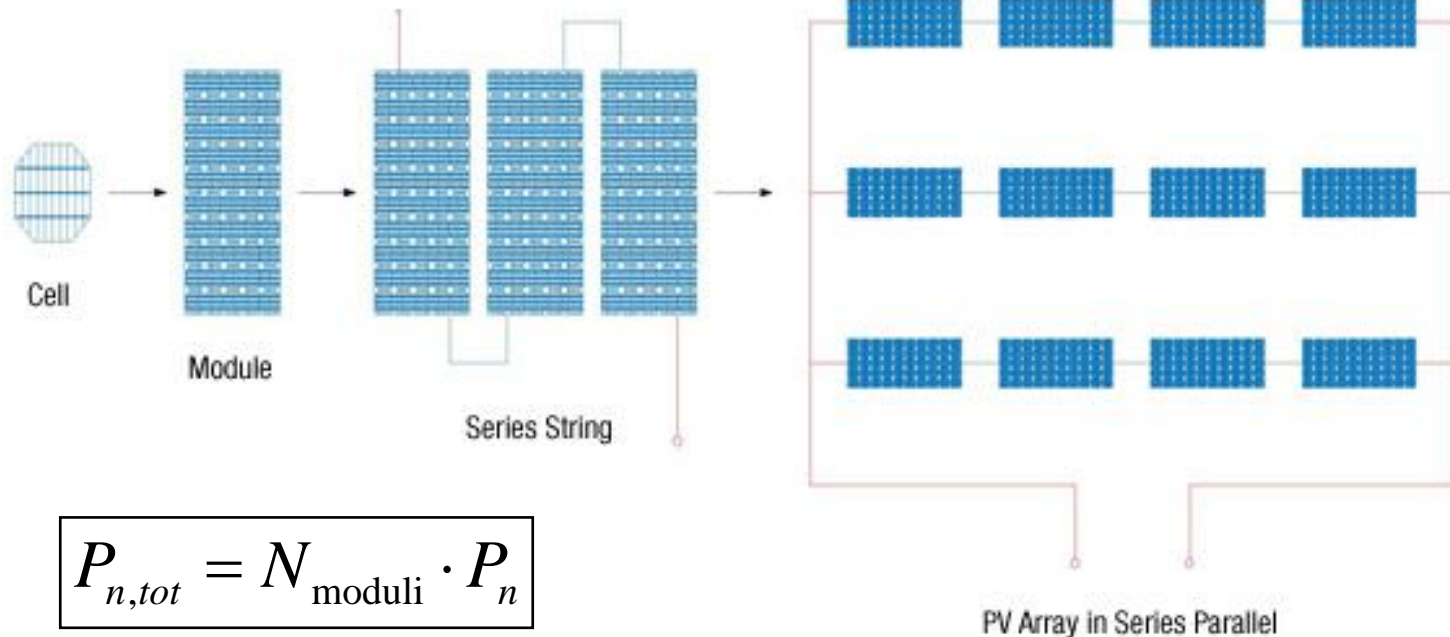
L'energia utile sarà solo l'85%-95% di quella prodotta, il resto viene perso sotto forma termica.

- Il valore più o meno alto **dipende dall'efficienza dell'inverter**, dalle **temperature** ambientali, dalla **lunghezza dei cavi** di collegamento, dall'assorbimento di eventuali **sistemi ausiliari** (es. sistemi di raffreddamento, telecomando, monitoraggio, ecc), dalla presenza di **trasformatori**, ecc.

# Campi fotovoltaici

## MODULI, STRINGHE, CAMPI

- I moduli fotovoltaici hanno potenze da alcune decine ad alcune centinaia di Watt. Per realizzare un impianto di potenza più elevata è **necessario connettere tra loro un certo numero di moduli** secondo la seguente pratica:
  1. Si collegano **in serie i singoli moduli** a formare le **stringhe**;
  2. Se collegano **in parallelo più stringhe** (della stessa lunghezza) a formare il **campo**;
  3. Il **campo** si collega ad un ingresso dell'**inverter**.

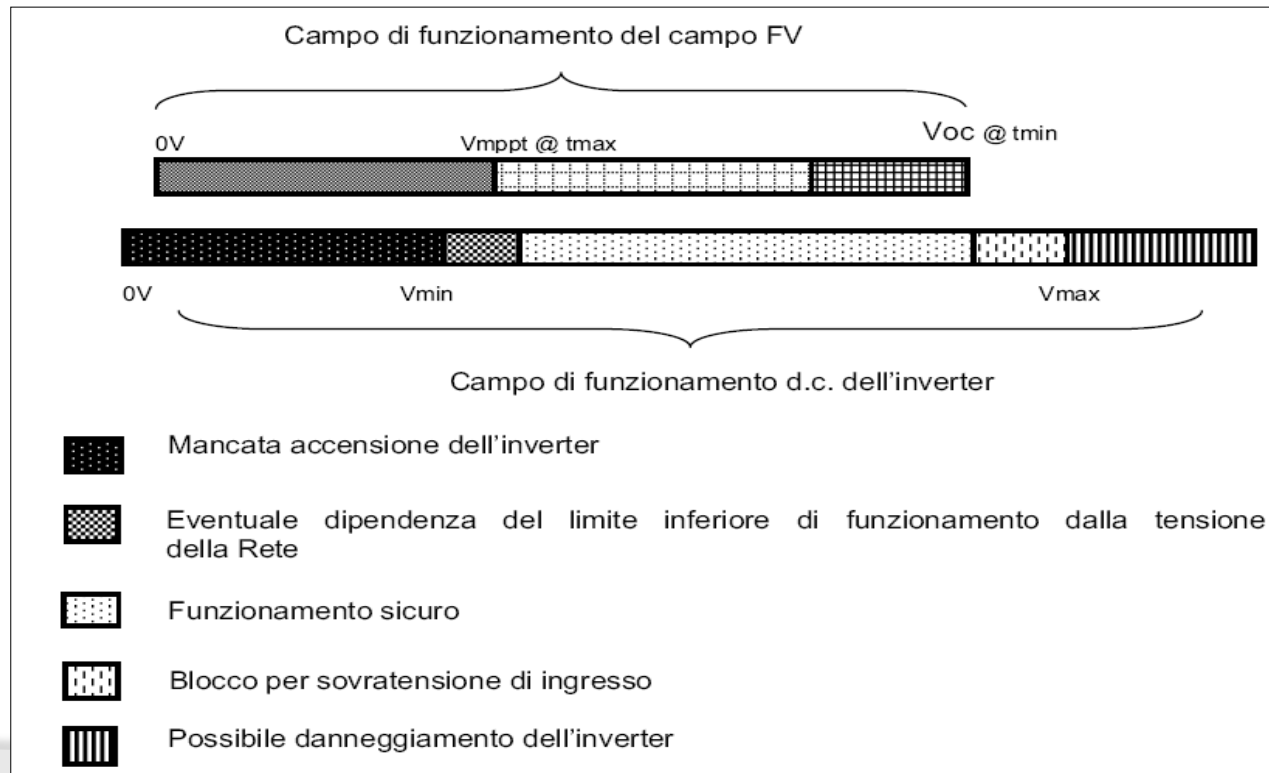


$$P_{n,tot} = N_{moduli} \cdot P_n$$

# Campi fotovoltaici

## MODULI, STRINGHE, CAMPI

- La **potenza nominale del campo** è la **somma delle potenze** dei singoli moduli.
- La **composizione del campo** (numero di moduli a stringa e numero di stringhe a campo) non può essere casuale ma **deve essere compatibile** con le caratteristiche elettriche dell'**inverter** (tensioni, correnti, potenze).
- Molti produttori di inverter offrono dei *tool* gratuiti per la verifica.



# Campi fotovoltaici

## TIPOLOGIE

- Le principali tipologie di campi fotovoltaici sono le seguenti:

- con **moduli piani**:

- **fissi tradizionali**;



- **fissi innovativi**;



- **ad inseguimento ad un asse**  
o a due assi;



- con **moduli a concentrazione**:

- **ad inseguimento a due assi**.

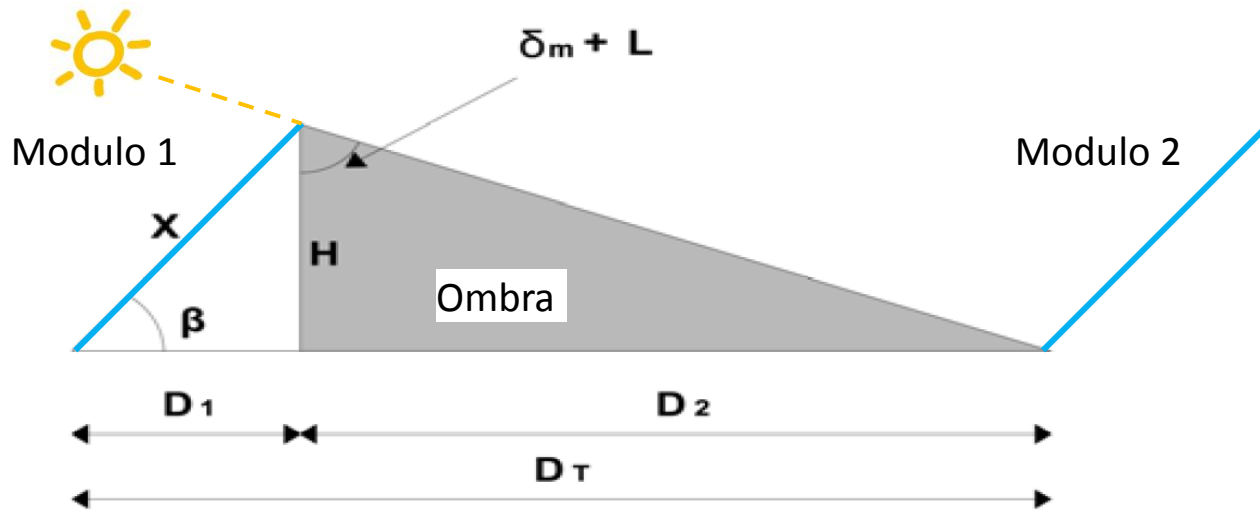




# Campi fotovoltaici

## CALCOLO DELLO SPAZIO TRA FILE DI MODULI

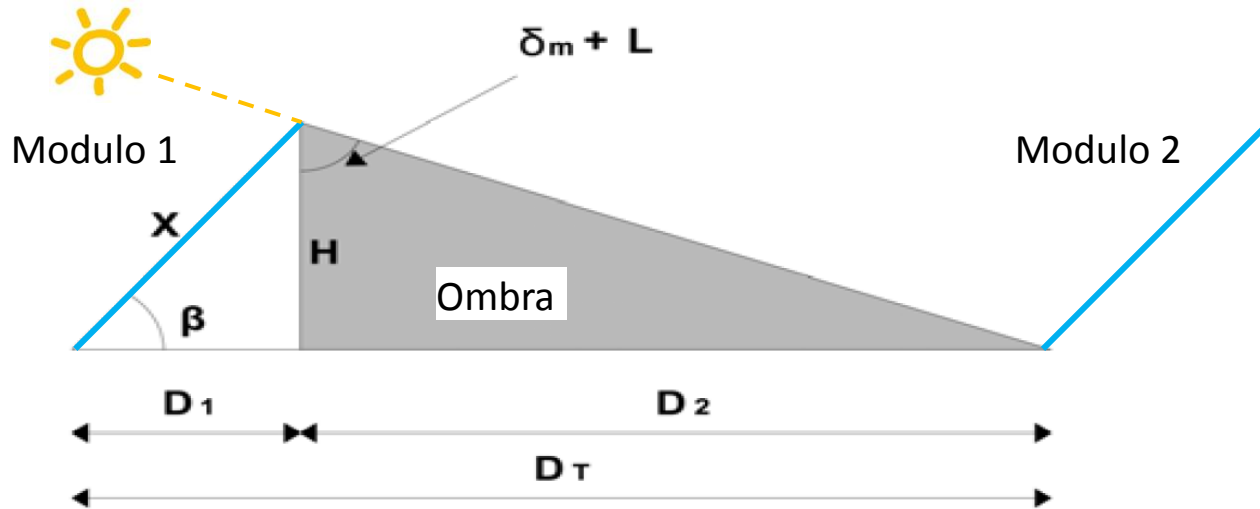
- Nel caso di installazione di più file di moduli su un piano orizzontale sorge il **problema dell'ombreggiamento reciproco**.



- Per il calcolo dell'**interdistanza tra le file di moduli** ( $D_T$ ) si considera di evitare l'ombreggiamento nel **giorno peggiore dell'anno** (solstizio d'inverno), **nell'ora migliore** (ore 12).
- E' possibile utilizzare interdistanze maggiori nel caso si voglia ulteriormente ridurre la perdita di irraggiamento, ma l'occupazione di spazio aumenta sensibilmente rispetto ai benefici energetici.

# Campi fotovoltaici

## CALCOLO DELLO SPAZIO TRA FILE DI MODULI



$$D_T = D_1 + D_2$$

..dove:  $D_1 = X \cdot \cos \beta$

$$D_2 = H \cdot \operatorname{tg}(\delta_m + L)$$

..dove:  $H = X \cdot \operatorname{sen} \beta$

..da cui:

$$D_T = X \left[ \cos \beta + \tan(\delta_m + L) \cdot \operatorname{sen} \beta \right]$$

[m]

### Legenda variabili:

$D_T$  = Interdistanza file di moduli [m]

$X$  = Altezza del modulo [m]

$\beta$  = Angolo di inclinazione moduli [gradi]

$\delta_m$  = Angolo di declinazione solare massima (angolo tra il sole e l'asse delle equatore nel giorno del solstizio invernale) = **23,5°**

$L$  = Angolo di latitudine [gradi]

# Dimensionamento di un impianto FV grid-connected

## CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

- A differenza del solare termico, **un impianto fotovoltaico connesso in rete non ha problemi di spreco di energia**, poiché l'energia in surplus viene venduta in rete.
- Inoltre i **consumi elettrici** sono molto più **costanti** durante l'anno rispetto ai consumi termici.

**..QUINDI..**

- Il **criterio** di dimensionamento dei piccoli impianti si basa sempre sul **soddisfacimento di una parte o della totalità del fabbisogno elettrico annuale** delle utenze.

# Impianti fotovoltaici

## CALCOLO DELL'ENERGIA PRODUCIBILE

- L'energia annuale producibile da un impianto fotovoltaico si calcola comunemente in due modi:
  1. Attraverso **software di calcolo** (es. **PVGIS** <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>)
  2. Attraverso **calcoli analitici semplificati**, come riportato di seguito:

$$E_{fv} = N_{\text{mod}} \cdot I \cdot f_c \cdot A_{\text{mod}} \cdot \eta_{fv} \cdot \eta_{BOS} = N_{\text{mod}} \cdot I \cdot f_c \cdot P_n \cdot \eta_{BOS}$$

..dove:

[kWh / anno]

$E_{fv}$  = Energia elettrica annuale prodotta dall'impianto fotovoltaico [kWh/anno]

$N_{\text{mod}}$  = Numero di moduli fotovoltaici dell'impianto

$I$  = Radiazione solare annua su 1m<sup>2</sup> di superficie orizzontale [kWh/m<sup>2</sup>/anno];  
valutabile come descritto nella lezione sul solare termico.

$f_c$  = Fattore correttivo per orientamento e inclinazioni specifiche (ved. tabella)

$A_{\text{mod}}$  = Area di un modulo fotovoltaico [m<sup>2</sup>]

$\eta_{fv}$  = Efficienza di conversione nominale dei moduli fotovoltaici

$\eta_{BOS}$  = Efficienza di conversione dei BOS

$P_n$  = Potenza nominale di picco di un modulo [kWp]

# Impianti fotovoltaici

## CALCOLO DELL'ENERGIA PRODUCIBILE

- Tabelle del fattore  $f_c$  per le varie latitudini:

<b>fc (Nord Italia)</b>	<b>Inclinazione</b>							
<b>Orientamento</b>	0°	10°	15°	20°	30°	40°	60°	90°
0° (SUD)	1,00	1,07	1,09	1,11	1,13	1,12	1,03	0,74
± 15°	1,00	1,06	1,09	1,10	1,12	1,11	0,99	0,74
± 30°	1,00	1,06	1,07	1,09	1,10	1,09	0,96	0,73
± 45° (SO - SE)	1,00	1,04	1,06	1,07	1,07	1,05	0,93	0,72
± 90° (OVEST - EST)	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,89	0,77	0,57

<b>fc (Centro Italia)</b>	<b>Inclinazione</b>							
<b>Orientamento</b>	0°	10°	15°	20°	30°	40°	60°	90°
0° (SUD)	1,00	1,07	1,09	1,11	1,13	1,12	1,03	0,72
± 15°	1,00	1,07	1,09	1,11	1,12	1,12	1,02	0,72
± 30°	1,00	1,06	1,08	1,09	1,10	1,09	0,99	0,71
± 45° (SO - SE)	1,00	1,04	1,06	1,07	1,07	1,05	0,96	0,70
± 90° (OVEST - EST)	1,00	0,99	0,97	0,96	0,92	0,87	0,76	0,56

<b>fc (Sud Italia)</b>	<b>Inclinazione</b>							
<b>Orientamento</b>	0°	10°	15°	20°	30°	40°	60°	90°
0° (SUD)	1,00	1,06	1,08	1,10	1,11	1,10	0,99	0,68
± 15°	1,00	1,06	1,08	1,09	1,10	1,09	0,99	0,68
± 30°	1,00	1,05	1,07	1,08	1,08	1,07	0,96	0,68
± 45° (SO - SE)	1,00	1,04	1,05	1,06	1,06	1,03	0,93	0,67
± 90° (OVEST - EST)	1,00	0,99	0,97	0,96	0,92	0,87	0,75	0,55

# Impianti fotovoltaici

## ESEMPI NUMERICI

- **ESEMPIO 1: Calcolo di potenza, producibilità, efficienza e interdistanza**

Calcolare l'energia producibile da un impianto fotovoltaico con 12 moduli di dimensioni 1000x1650mm e potenza nominale 230 Wp, installato su un tetto piano a Roma (latitudine  $41,9^\circ$ ), con moduli appoggiati sul lato corto, con inclinazione di  $30^\circ$  e orientamento SUD-EST. L'irraggiamento annuale sul piano orizzontale è pari a 1'511 kWh/anno e l'efficienza dei B.O.S. è pari a 0,88. Calcolare inoltre la potenza nominale dell'impianto, l'efficienza di conversione dei moduli fotovoltaici e l'interdistanza tra le file di moduli.

# Impianti fotovoltaici

## ESEMPI NUMERICI

### • ESEMPIO 1: Calcolo di potenza, producibilità, efficienza e interdistanza

Calcolare l'energia producibile da un impianto fotovoltaico con 12 moduli di dimensioni 1000x1650mm e potenza nominale 230 Wp, installato su un tetto piano a Roma (latitudine 41,9°), con moduli appoggiati sul lato corto, con inclinazione di 30° e orientamento SUD-EST. L'irraggiamento annuale sul piano orizzontale è pari a 1'511 kWh/anno e l'efficienza dei B.O.S. è pari a 0,88. Calcolare inoltre la potenza nominale dell'impianto, l'efficienza di conversione dei moduli fotovoltaici e l'interdistanza tra le file di moduli.

**Energia:**

$$E_{fv} = N_{\text{mod}} \cdot I \cdot f_c \cdot P_n \cdot \eta_{BOS} = 12 \cdot 1511 \cdot 1,07 \cdot 0,23 \cdot 0,88 = 3927 \text{ kWh / anno}$$

**Potenza nominale:**

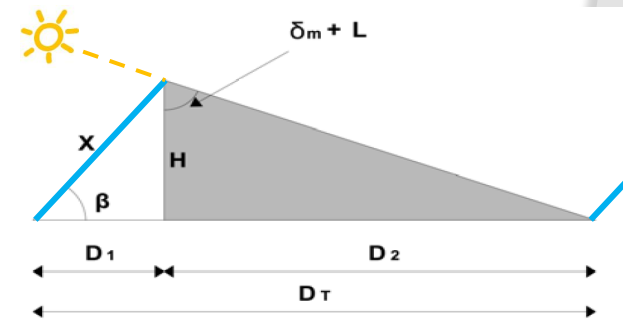
$$P_{n\_tot} = N_{\text{mod}} \cdot P_n = 12 \cdot 0,23 = 2,76 \text{ kWp}$$

**Efficienza di conversione:**

$$\varepsilon = \frac{P_n}{A_{\text{mod}}} = \frac{0,23}{1,00 \cdot 1,65} = 0,139$$

**Interdistanza:**

$$D_T = X [\cos \beta + \tan(\delta_m + L) \cdot \text{sen} \beta] = 1,65 \cdot [\cos 30 + \tan(23,5 + 41,9) \cdot \text{sen} 30] = 3,23 \text{ m}$$





# Impianti fotovoltaici

## ESEMPI NUMERICI

- **ESEMPIO 2: Dimensionamento di un impianto fotovoltaico**

Calcolare il numero di moduli fotovoltaici necessari per coprire il 90% del fabbisogno elettrico di una villetta, pari a 3500 kWh/anno. I moduli scelti hanno una potenza di 240W e verranno installati su una copertura inclinata con tilt di  $20^\circ$  e azimuth di  $-15^\circ$  situata a Palermo. L'irraggiamento annuale sul piano orizzontale è pari a 1'784 kWh/anno e l'efficienza dei B.O.S. è pari a 0,91. Calcolare inoltre la potenza nominale dell'impianto e lo spazio necessario considerando che i moduli hanno dimensione 950x1700mm.

# Impianti fotovoltaici

## ESEMPI NUMERICI

### • ESEMPIO 2: Dimensionamento di un impianto fotovoltaico

Calcolare il numero di moduli fotovoltaici necessari per coprire il 90% del fabbisogno elettrico di una villetta, pari a 3500 kWh/anno. I moduli scelti hanno una potenza di 240W e verranno installati su una copertura inclinata con tilt di 20° e azimuth di -15° situata a Palermo. L'irraggiamento annuale sul piano orizzontale è pari a 1'784 kWh/anno e l'efficienza dei B.O.S. è pari a 0,91. Calcolare inoltre la potenza nominale dell'impianto e lo spazio necessario considerando che i moduli hanno dimensione 950x1700mm.

**Numero di moduli (formula dell'energia invertita):**

$$N_{\text{mod}} = \frac{E_{\text{necessaria}}}{I \cdot f_c \cdot P_n \cdot \eta_{\text{BOS}}} = \frac{0,9 \cdot 3500}{1784 \cdot 1,09 \cdot 0,24 \cdot 0,91} = 7,42 \rightarrow 8 \text{ moduli}$$

**Potenza nominale:**

$$P_{n\_tot} = N_{\text{mod}} \cdot P_n = 8 \cdot 0,24 = 1,92 \text{ kWp}$$

**Occupazione di spazio:**

$$A_{\text{tot}} = N_{\text{mod}} \cdot A_{\text{mod}} = 8 \cdot 0,95 \cdot 1,70 = 12,92 \text{ m}^2$$

Si ipotizza che i moduli siano affiancati l'uno all'altro: essendo la copertura già inclinata si posizionano complanari ad essa e quindi non c'è bisogno di distanziarli. Ciò non vale nel caso di moduli inclinati rispetto al piano di posa.

# Esempi di installazioni

## TRADIZIONALI RESIDENZIALI





# Esempi di installazioni

## TRADIZIONALI INDUSTRIALI





# Esempi di installazioni

INNOVATIVO



# Esempi di installazioni

## INNOVATIVO

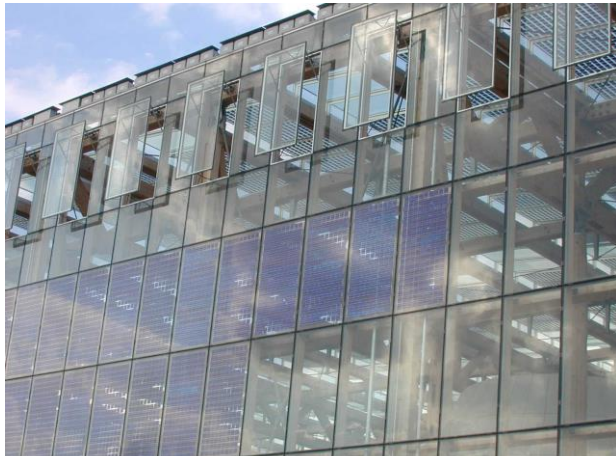
- Kanazawa Bus Terminal – Kanazawa, Japan
- Size: 3000 m<sup>2</sup> Electricity production: 120 kW



Photo used with permission from Taiyo Kogyo Corporation



- MSK Fukuoka Factory – Fukuoka, Japan
- Size: 180 m<sup>2</sup>••Electricity production: 7 kW



Academy Mont-Cenis



# Esempi di installazioni

## INNOVATIVO



University of Erlangen, Research Centre for  
Molecular Biology (Germania)





# Esempi di installazioni

## INNOVATIVO



# L'integrazione architettonica

## **Non Integrati**

L'impianto è separato dall'edificio



## **Parzialmente Integrati**

L'impianto è posizionato sull'edificio

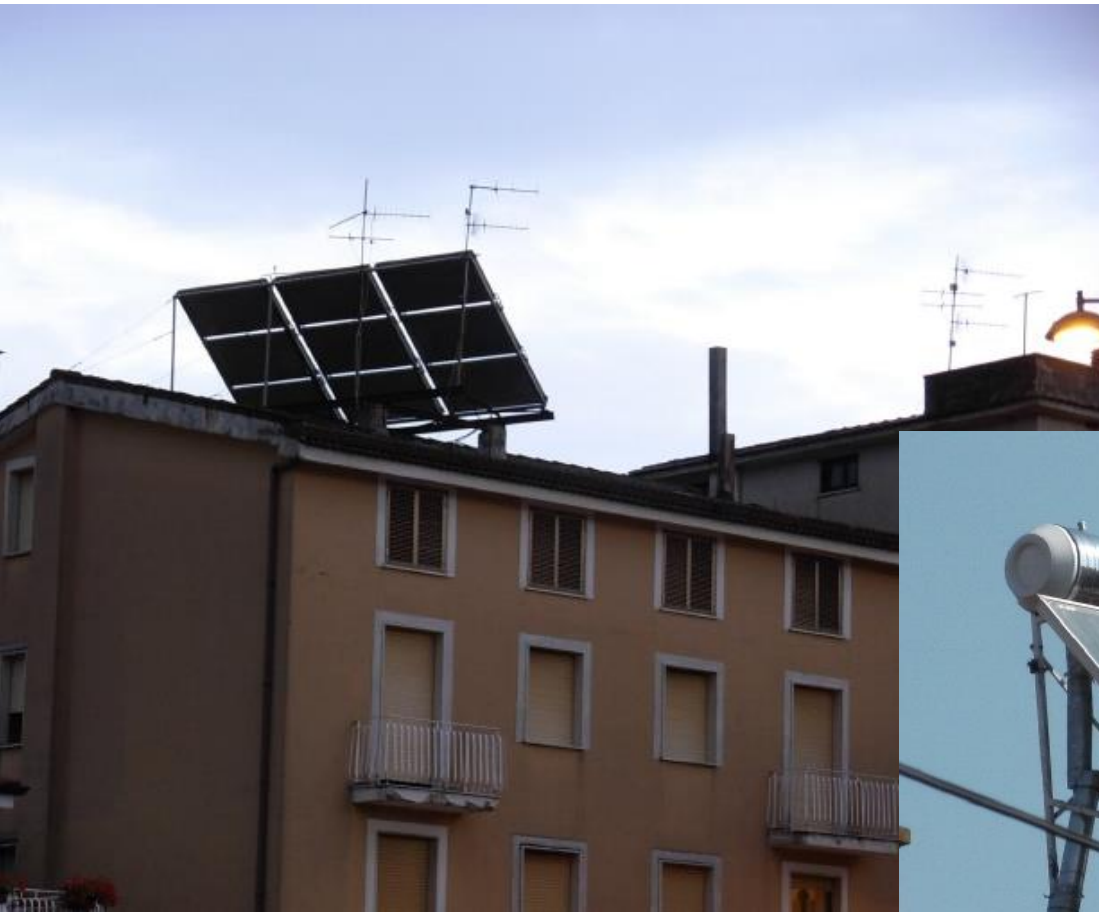


## **Totalmente Integrati**

L'impianto è sostituisce elementi dell'edificio



La legislazione vuole rendere più difficoltosa  
l'autorizzazione alle istallazioni più bizzarre....





# LIVELLI DI APPLICAZIONE DEL FV IN EDILIZIA



Anche se il termine “integrazione” viene comunemente usato in riferimento a qualsiasi tipo di installazione di impianti fotovoltaici su edifici, riferendosi al solo involucro sarebbe più corretto utilizzare la dicitura “applicazione”, precisandone poi le diverse modalità.

**Applicazione indipendente:** l’edificio serve solamente da supporto, i pannelli fotovoltaici non svolgono nessuna funzione di chiusura rispetto all’organismo edilizio e la loro disposizione non è condizionata dalla morfologia dell’involucro.

**Applicazione per sovrapposizione:** i moduli solari vengono collocati tramite un’apposita struttura sopra l’involucro dell’edificio, a poca distanza da esso ed in modo da adattarsi alla configurazione della superficie di chiusura che funge da supporto.

**Applicazione per integrazione:** i moduli fotovoltaici sono inseriti completamente nell’organismo edilizio, svolgendo, oltre a quelle strettamente energetiche, anche alcune o tutte le funzioni riferibili ad elementi e subsistemi di chiusura o schermatura.

Si può parlare di integrazione complementare quando il pannello solare costituisce lo strato più esterno della chiusura dell’edificio e svolge, per quanto riguarda le prestazioni di tipo architettonico, principalmente la funzione di impermeabilizzazione e tenuta all’aria, ed eventualmente uno strato sottostante ed indipendente svolge quella di isolamento termico.

Si definisce, invece, integrazione totale la modalità secondo cui il pannello stesso funge da chiusura esterna, assolvendone tutte le funzioni.



## **Impianti integrati architettonicamente**

Sostituzione dei materiali di rivestimento di tetti, coperture, facciate di edifici e fabbricati con moduli fotovoltaici aventi la medesima inclinazione e funzionalità architettonica della superficie rivestita.

Pensiline, pergole e tettoie in cui la struttura di copertura sia costituita dai moduli fotovoltaici e dai relativi sistemi di supporto.

Porzioni della copertura di edifici in cui i moduli fotovoltaici sostituiscano il materiale trasparente o semitrasparente atto a permettere l'illuminazione naturale di uno o più vani interni.

Barriere acustiche in cui parte dei pannelli fonoassorbenti siano sostituiti da moduli fotovoltaici.

Elementi di illuminazione in cui la superficie esposta alla radiazione solare degli elementi riflettenti sia costituita da moduli fotovoltaici.

Frangisole i cui elementi strutturali siano costituiti dai moduli fotovoltaici e dai relativi sistemi di supporto.

Balaustre e parapetti in cui i moduli fotovoltaici sostituiscano gli elementi di rivestimento e copertura

# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA PARZIALE (1)



**Tipologia specifica 1:** Moduli fotovoltaici installati su **tetti piani e terrazze** di edifici e fabbricati. Qualora sia presente una balaustra perimetrale, la quota massima, riferita all'asse mediano dei moduli fotovoltaici, deve risultare non superiore all'altezza minima della stessa balaustra.

Caso 1,  $H \leq 50$  cm

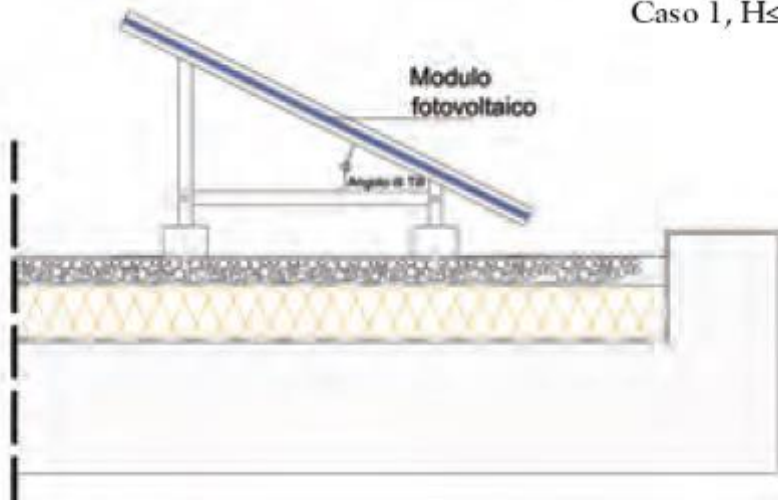


Fig. 1

Caso 2,  $H > 50$  cm

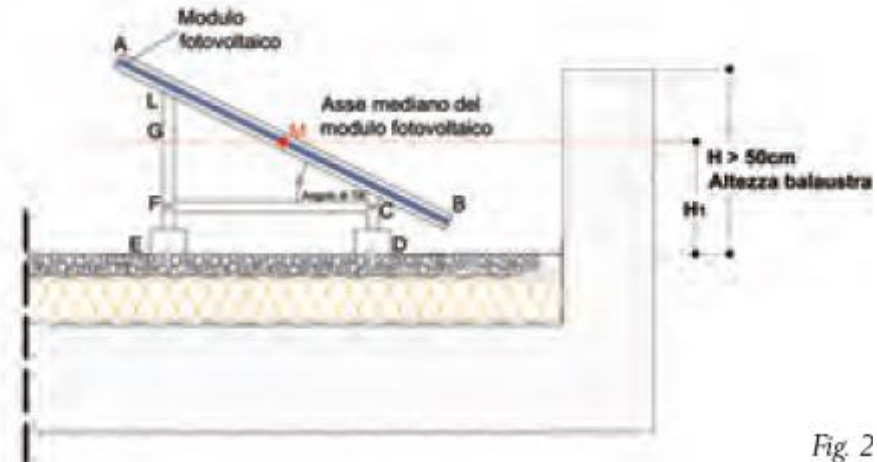


Fig. 2



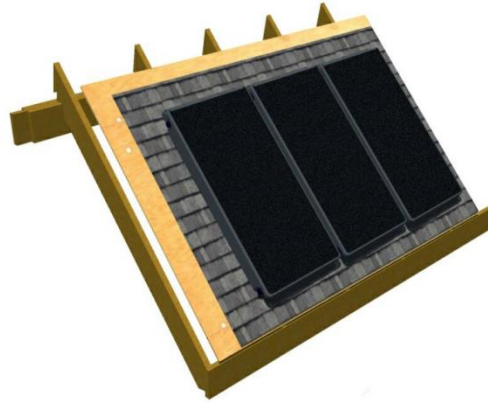


# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA PARZIALE (2)



**Tipologia specifica 2:** Moduli fotovoltaici installati su tetti, coperture, facciate, balaustre o parapetti di edifici e fabbricati in modo **complanare alla superficie di appoggio** senza la sostituzione dei materiali che costituiscono le superfici d'appoggio stesse.

È necessario che lo spessore del modulo e della struttura di supporto che emergerà dalla superficie esistente siano ridotti al minimo indispensabile. In ogni caso i moduli non devono sporgere rispetto alla falda di copertura.





# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA PARZIALE (3)



**Tipologia specifica 3:** Moduli fotovoltaici installati su **elementi di arredo urbano, barriere acustiche, pensiline, pergole e tettoie in modo complanare alla superficie di appoggio** senza la sostituzione dei materiali che costituiscono le superfici d'appoggio stesse.

Valgono le prescrizioni della Tipologia specifica 2.





# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (1)



**Tipologia specifica 1:** *Sostituzione dei materiali di rivestimento di tetti, coperture, facciate* di edifici e fabbricati con moduli fotovoltaici aventi la medesima inclinazione e funzionalità architettonica della superficie rivestita. Dal punto di vista estetico, tecnologico, energetico e funzionale l'integrazione del sistema deve garantire comunque i requisiti di prestazione dell'involucro edilizio.

Si possono anche prevedere dei "pacchetti" o "sandwich" di fotovoltaico e materiale coibente, affinché con la posa di un unico modulo o pannello vengano installati contemporaneamente l'impianto e la copertura.





# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (2)



**Tipologia specifica 2:** Pensiline, pergole e tettoie in cui la struttura di copertura sia costituita dai moduli fotovoltaici e dai relativi sistemi di supporto. Saranno privilegiate le strutture il cui disegno trae armonia dall'inserimento del fotovoltaico ed è evidente l'attenzione posta al design specifico degli elementi di supporto dei moduli così come alla complessiva funzione di ombreggiamento della copertura.





# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (3)

**Tipologia specifica 3:** *Sostituzione di superfici trasparenti degli edifici.* Porzioni della copertura di edifici in cui moduli fotovoltaici semitrasparenti sostituiscano il materiale trasparente o semitrasparente atto a permettere l'illuminazione naturale di uno o più vani interni.





# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (4)



**Tipologia specifica 4:** Barriere acustiche in cui parte dei pannelli fonoassorbenti siano sostituiti da moduli fotovoltaici.



# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (5).



**Tipologia specifica 5:** Elementi di illuminazione in cui la superficie esposta alla radiazione solare degli elementi riflettenti sia costituita da moduli fotovoltaici.

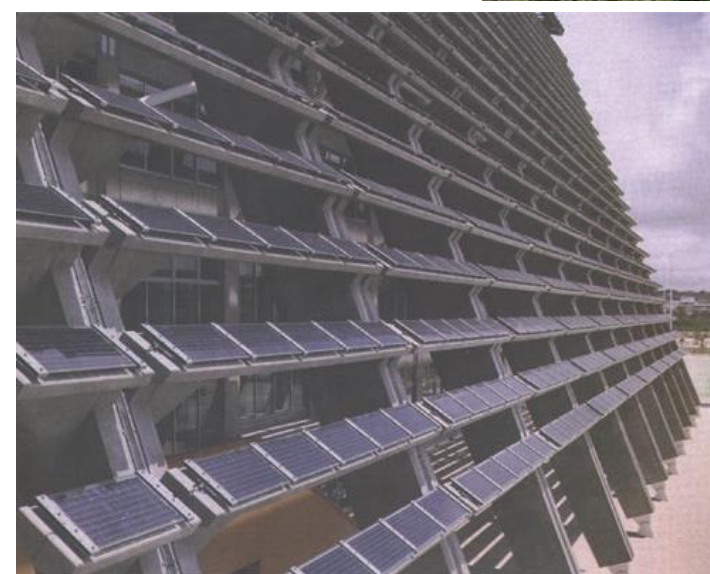
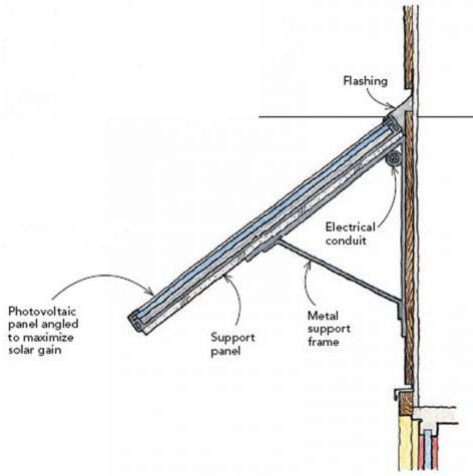




# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (6).



**Tipologia specifica 6:** Frangisole i cui elementi strutturali siano costituiti dai moduli fotovoltaici e dai relativi sistemi di supporto. La condizione necessaria per il riconoscimento di questa tipologia specifica è costituita dalla presenza di superfici vetrate schermate dai moduli fotovoltaici installati.





# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (7).



**Tipologia specifica 7:** Balaustre e parapetti in cui i moduli fotovoltaici sostituiscano gli elementi di rivestimento e copertura.



# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (8).



**Tipologia specifica 8:** Finestre in cui moduli fotovoltaici semitrasparenti sostituiscano o integrino le superfici vetrate delle finestre stesse. Si applica a finestre, porte-finestre o grandi superfici vetrate preferibilmente apribili.





# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (9)



**Tipologia specifica 9:** Persiane in cui i moduli fotovoltaici costituiscano gli elementi strutturali delle persiane.



# INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA TOTALE (10)



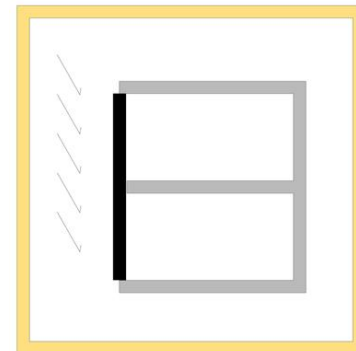
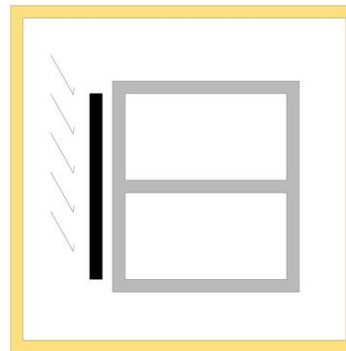
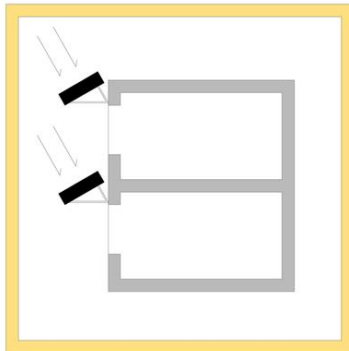
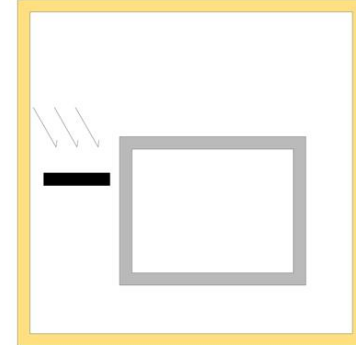
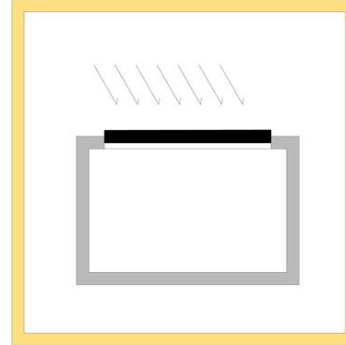
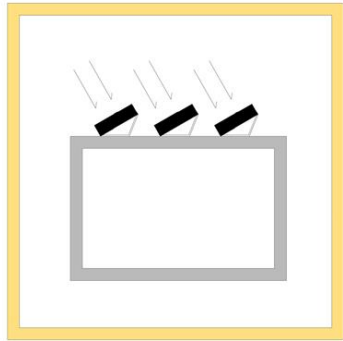
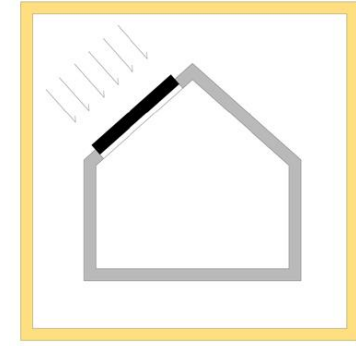
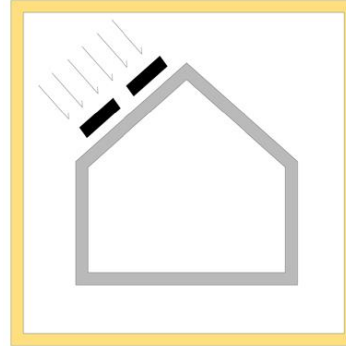
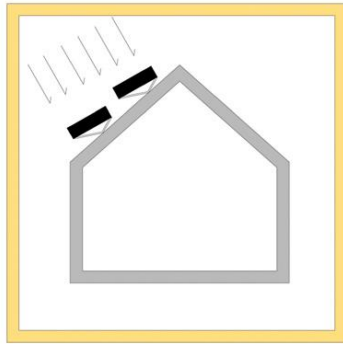
**Tipologia specifica 10:** Qualsiasi superficie descritta nelle tipologie precedenti sulla quale i moduli fotovoltaici costituiscano rivestimento o copertura aderente alla superficie stessa. Questa tipologia comprende quelle integrazioni architettoniche realizzate in film sottile su supporto flessibile installato sulla superficie dell'involucro edilizio.



# TIPOLOGIE APPLICATIVE



Le applicazioni edilizie del fotovoltaico afferiscono, generalmente, a poche tipologie principali.



# Esempi di Realizzazioni



tetto piano



tetto a falda  
pensilina



serra



Wagne



tettoia



frangisole



parapetto



facciata

ventilata



facciata



atrio

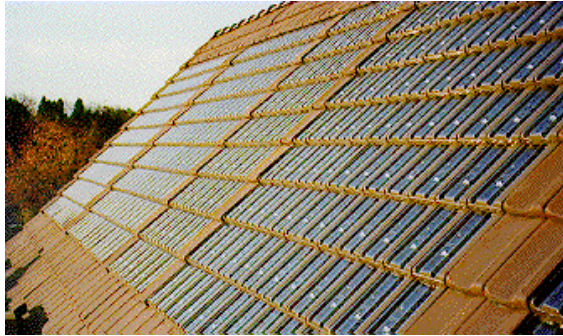


lucernario



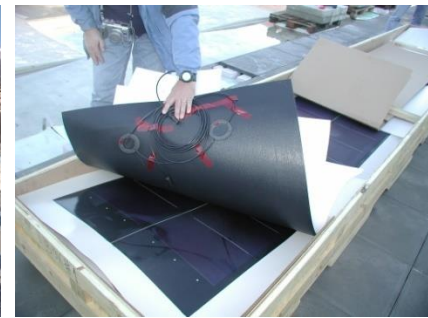
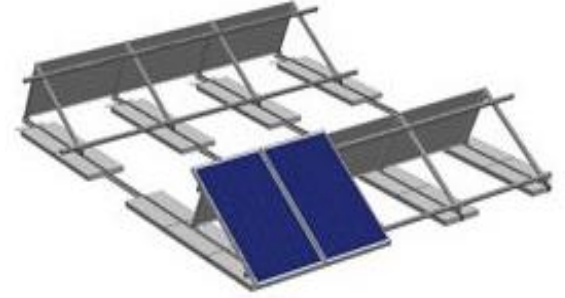


# APPLICAZIONI SU COPERTURE A FALDA



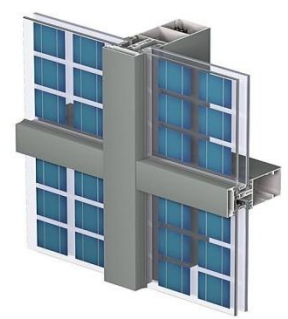
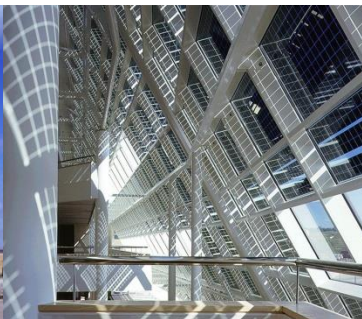
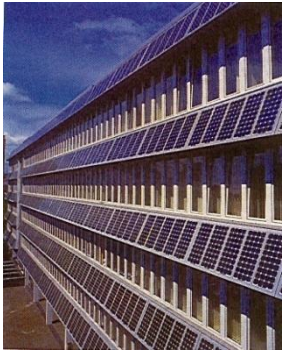


# APPLICAZIONI SU COPERTURE PIANE



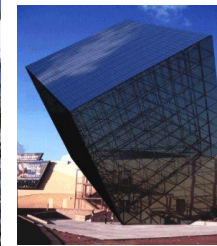
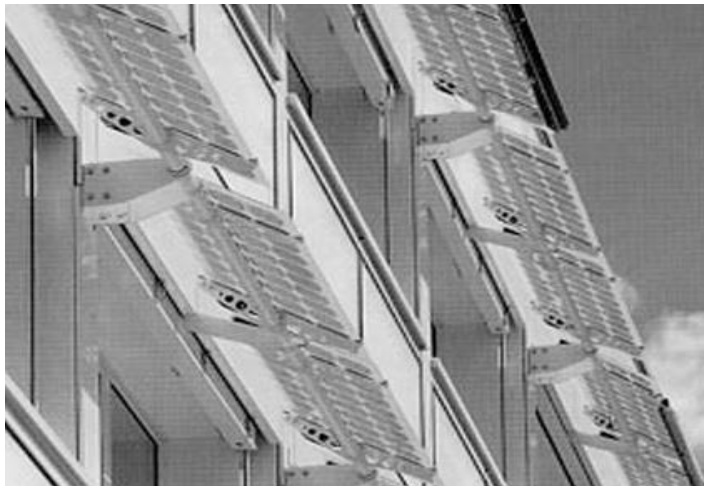


# APPLICAZIONI SU FACCIATE





# APPLICAZIONI PARTICOLARI





## Modalità integrazione

Lampione per illuminazione stradale alimentato da un pannello fotovoltaico e da una turbina ad asse verticale, che sfrutta contemporaneamente l'energia solare e quella eolica.

Fonti Energetiche Rinnovabili



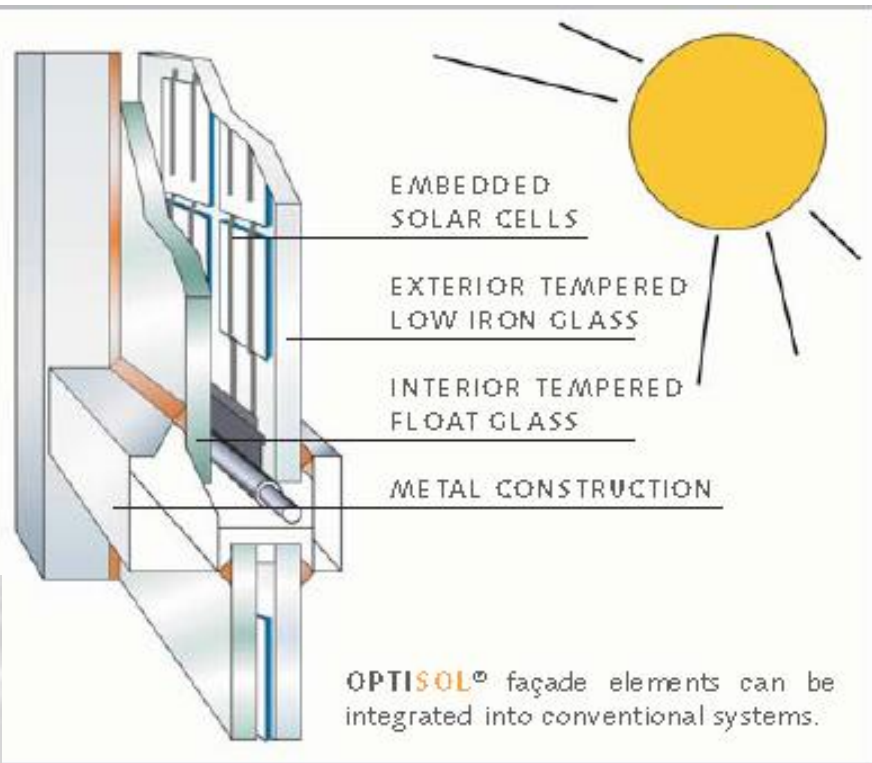
[http://www.remotehybridsystem.com/page\\_18.01.htm](http://www.remotehybridsystem.com/page_18.01.htm)

## Modalità integrazione





## Moduli Vetro-Vetro



Fonti Energetiche Rinnovabili

### COST OF DIFFERENT TYPES OF CLADDING MATERIAL

POLISHED STONE

PHOTOVOLTAICS

STONE

GLASS CURTAIN WALL

METAL

per m<sup>2</sup> - € 250,- - € 600,- - € 700,- - € 800,- - € 1.200,-

Il prezzo indicativo di vendita al costruttore, per mq, di questa tipologia di moduli in Vetro di Sicurezza varia in relazione alla potenza (n° celle) e alle tipologie/spessori dei vetri.





## Moduli Vetro-Vetro



Fonti Energetiche Rinnovabili



Vetro

PVB

Celle fotovoltaiche

PVB

Vetro

Composizione del modulo fotovoltaico



## Moduli Vetro-Vetro

### Technical Data

Fonti Energetiche Rinnovabili

**Module sizes:**

Min. 19.7" x 19.7"  
(500 x 500 mm)  
Max. 78.7" x 118.1"  
(2000 x 3000 mm)

\*Curves also possible

**Cell types:**

Monocrystalline  
Polycrystalline  
Amorphous

**Cell colors:**

Polycrystalline – Blue,  
bronze, grey, other colors  
on request.  
Monocrystalline – Blue,  
bronze, grey, black, other  
colors on request.  
Amorphous – Brown,  
black.

**Configuration of  
reverse side:**

Transparent, translucent  
or a choice of colored,  
structural glazes

**Cell efficiency:**

Polycrystalline – 13-15%  
Monocrystalline – 15-21%  
Amorphous – 6-9%

**Type of connection:**

Socket  
Edge connector

**System voltage:**

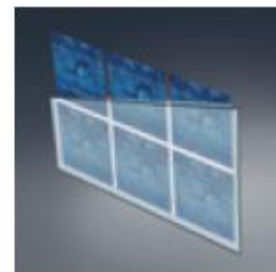
Max. 600 V  
Protection class II  
EN 61215 certificate  
U value: Min. 0.9 W/m<sup>2</sup>K,  
Max. 5.7 W/m<sup>2</sup>K  
G value: Min. 15%,  
Max. 50%

**Additional functions:**

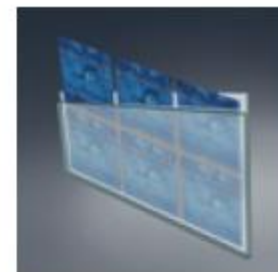
Overhead glazing  
Noise reduction  
Anti-glare protection  
Solar shading  
Weather protection

**Product guarantee:** 5 years

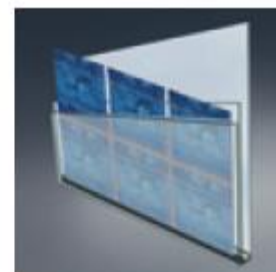
**Performance guarantee:**  
10 years at 90% initial power



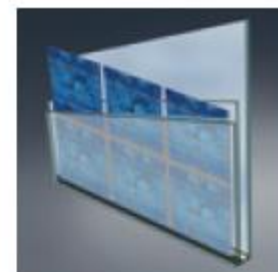
Glass / Tedlar



Glass / Glass



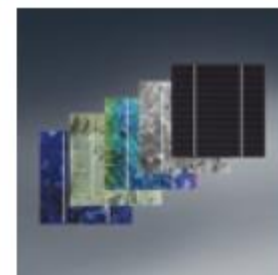
Glass / Glass – insulating glass



Glass / Glass – insulating glass –  
laminated safety glass



Cell Structure



Colors

# Schüco ProSol PV Modules

Building Integrated Photovoltaic





## Modalità integrazione Vetro-Vetro

### Balconi solari a Beukenhage (Almelo), Paesi Bassi

20 balconi con un parapetto FV, che consiste in moduli Optisol® integrabili in un doppio vetro.

Superficie	175 m <sup>2</sup>
Potenza nominale	9,6 kWp
Numero di moduli	80
Messa in servizio	2004



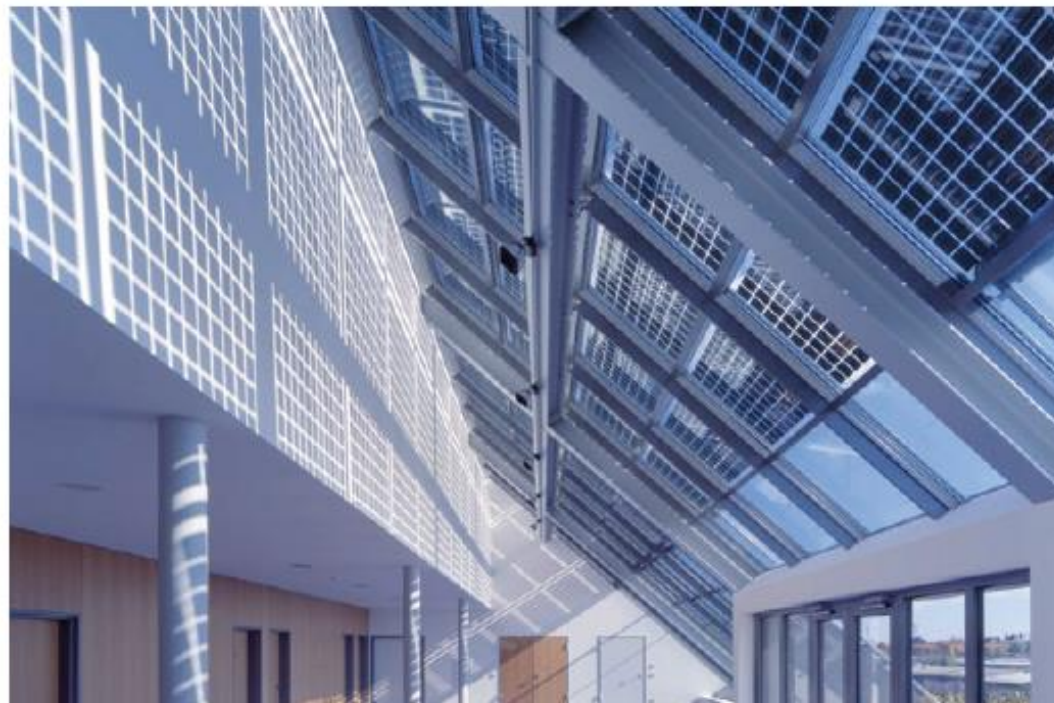


## Modalità integrazione Vetro-Vetro

### Ministero dell'Economia a Berlino, Germania

920 m<sup>2</sup> di Optisol® in una facciata termoisolata inclinata

Superficie	920 m <sup>2</sup>
Potenza nominale	100 kWp
Numero di moduli	600
Messa in servizio	1999





## Modalità integrazione Vetro-Vetro

Edificio del Reichstag a Berlino (Germania)

Integrazione nel tetto a uno strato con speciale struttura in vetro

Superficie 320 m<sup>2</sup>

Potenza nominale 36,7 kW<sub>p</sub>

Numero di moduli 700

Messa in servizio 1998





## Modalità integrazione Vetro-Vetro

### Cancelleria federale a Berlino (Germania)

1270m<sup>2</sup> di Optisol® montati su tetto come elementi di ombreggiamento. Nell'edificio della cancelleria, 756 elementi Optisol® sono stati integrati nella struttura del tetto. La trasparenza dei pannelli garantisce il convogliamento della luce naturale dall'alto all'interno dell'edificio.

Superficie	1.270 m <sup>2</sup>
Potenza nominale	150 kWp
Numero di moduli	756
Messa in servizio	2000







## Modalità integrazione Vetro-Vetro

Stazione centrale di Berlino, Germania  
1700mq di moduli fotovoltaici a uno strato integrati nella copertura di una struttura portante.

Sull'intera superficie sono stati utilizzati moduli Optisol® al posto di vetri di sicurezza stratificati (VSG).  
La superficie degli elementi varia da 1,5 a 2,5 mq.

- Superficie 1.700 mq
- Potenza nominale ca. 180 kWp
- Numero di moduli 780
- Messa in servizio 2002



# B

## Silicio Amorfo a film sottile

Gli atomi silicei vengono depositi chimicamente in forma amorfa, ovvero strutturalmente disorganizzata, sulla superficie di sostegno. Detta anche 'a film sottile', questa tecnologia impiega quantità molto esigue di silicio (spessori dell'ordine del micron).

Fonti Energetiche Rinnovabili

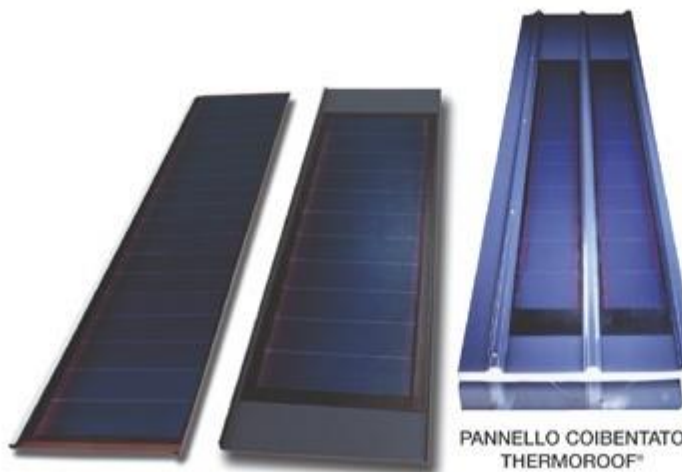






## Moduli Silicio Amorfo a film sottile

Fonti Energetiche Rinnovabili

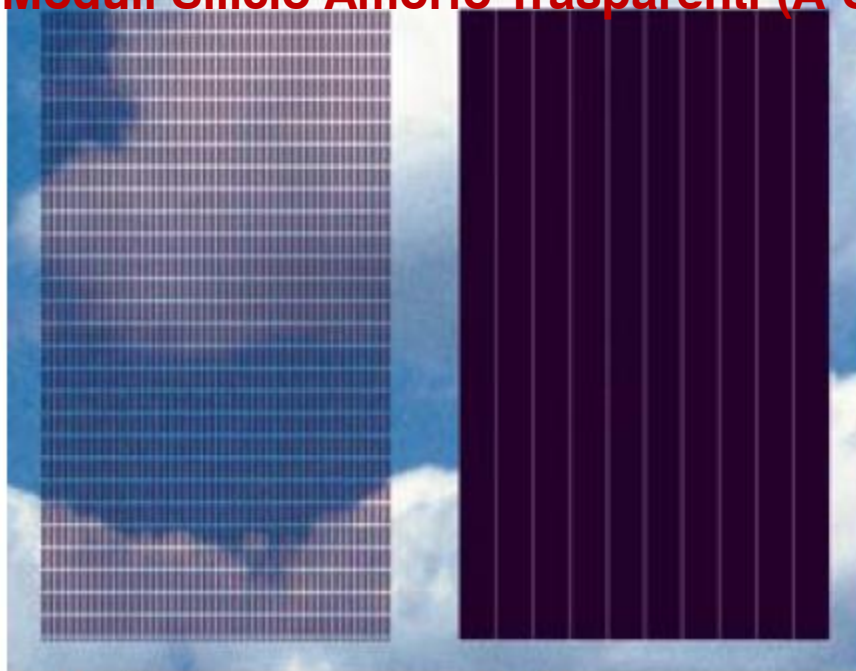






Fonti Energetiche Rinnovabili

## Moduli Silicio Amorfo Trasparenti (A-Si)



ASI THRU®

ASI OPAK®

**ASI THRU®** is a semi-transparent module with a see-through effect. It is available in laminated form or as double-glazed units.

**ASI OPAK®** is the technology for homogeneous facade surfaces, where no vision is required.

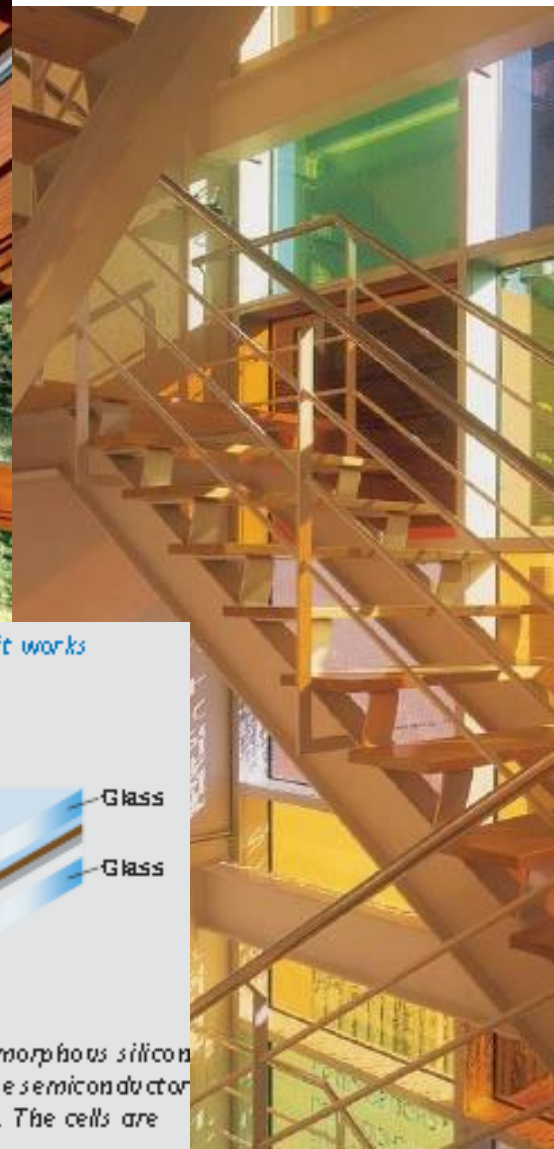


SCHOTT  
solar



## Moduli Silicio Amorfo See-Through

Fonti Energetiche Rinnovabili

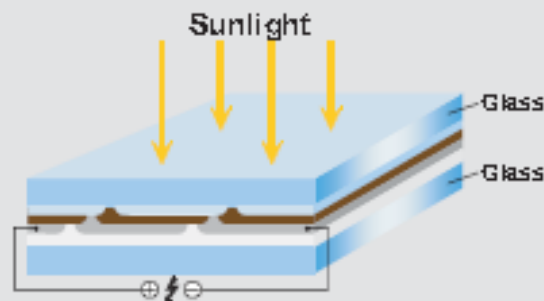


Double-glazing



Laminate

AST<sup>®</sup> Thin Film Solar Cell - How it works



The AST<sup>®</sup> Solar Cell is made of amorphous silicon. The sunlight frees electrons in the semiconductor layer. Each strip is one solar cell. The cells are connected by laser line bridges.