



**Seminario “ENERGIA...TRA ATTUALITA’ E FUTURO”**  
**Show Room c/o Istituti Aldini Valeriani Sirani**  
**Bologna, 17 Marzo 2006**



# **SISTEMI SOLARI**

**Ing. Claudia Maggi**

[claudia.maggi@bologna.enea.it](mailto:claudia.maggi@bologna.enea.it)

**Dott. Antonio Parretta**

[antonio.parretta@bologna.enea.it](mailto:antonio.parretta@bologna.enea.it)

**ENEA – Laboratorio Energia ERG**

**Bologna, 17 Marzo 2006**

## Energia dal Sole



L'energia solare è la fonte di energia primaria da cui deriva, direttamente o indirettamente, quasi tutta l'energia utilizzata dall'uomo.

A parte la geotermia e l'energia nucleare, le altre fonti energetiche (termica da combustione di carbone, idrocarburi, gas, legno; eolica; idraulica) traggono origine dalla radiazione solare.

La domanda mondiale annua di energia è di circa 8 miliardi di TEP (Tonnellate Equivalenti Petrolio)



La domanda mondiale annua di energia in Italia è di circa 167 milioni di TEP

Il sole irradia sulla terra 19.000 miliardi di TEP ogni anno

*Ovviamente occorre tener conto della bassa densità energetica della fonte solare e della sua aleatorietà.*

La potenza della radiazione incidente su una superficie perpendicolare ai raggi solari, ai limiti della atmosfera, è mediamente 1350 W/m<sup>2</sup> (costante solare).

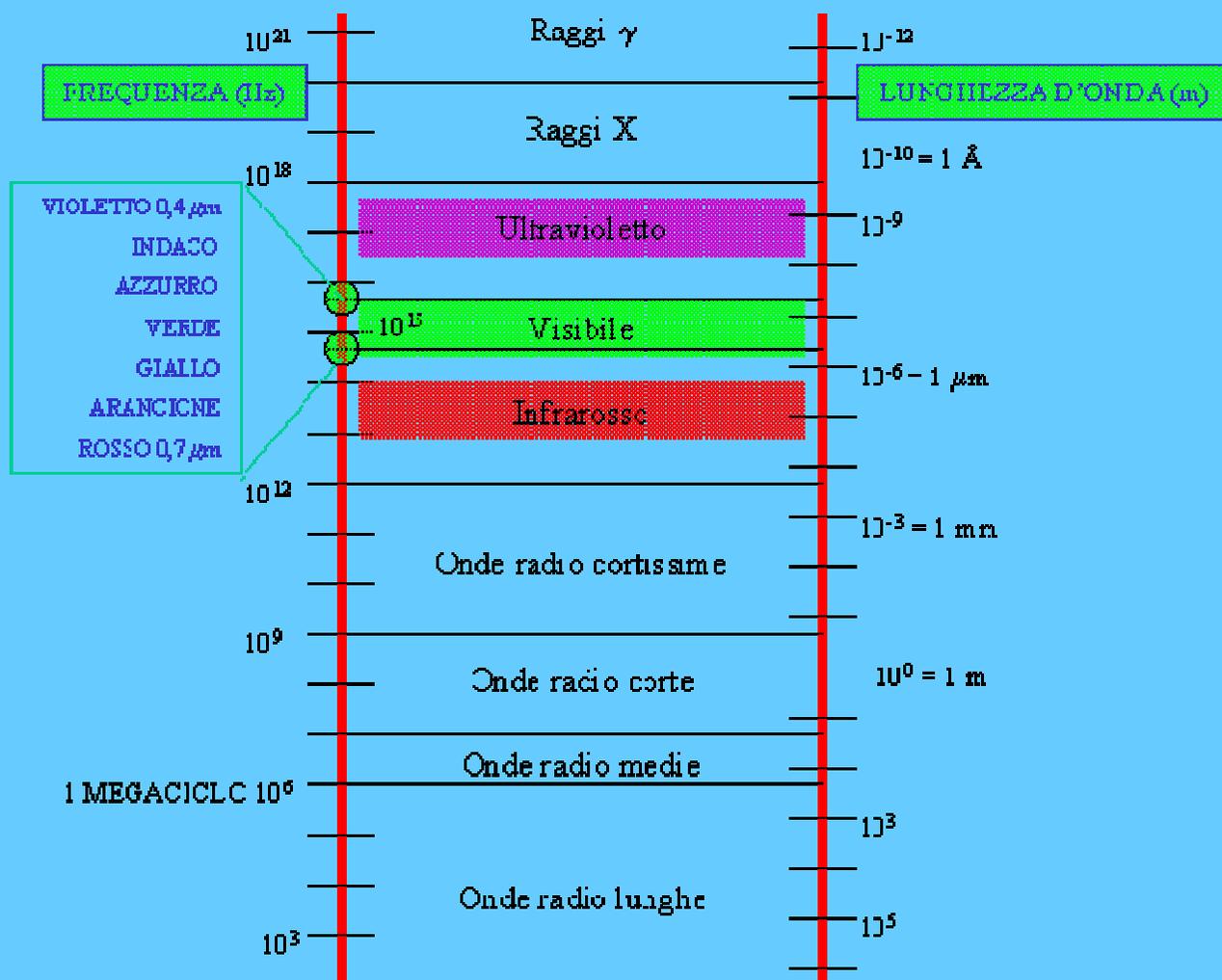


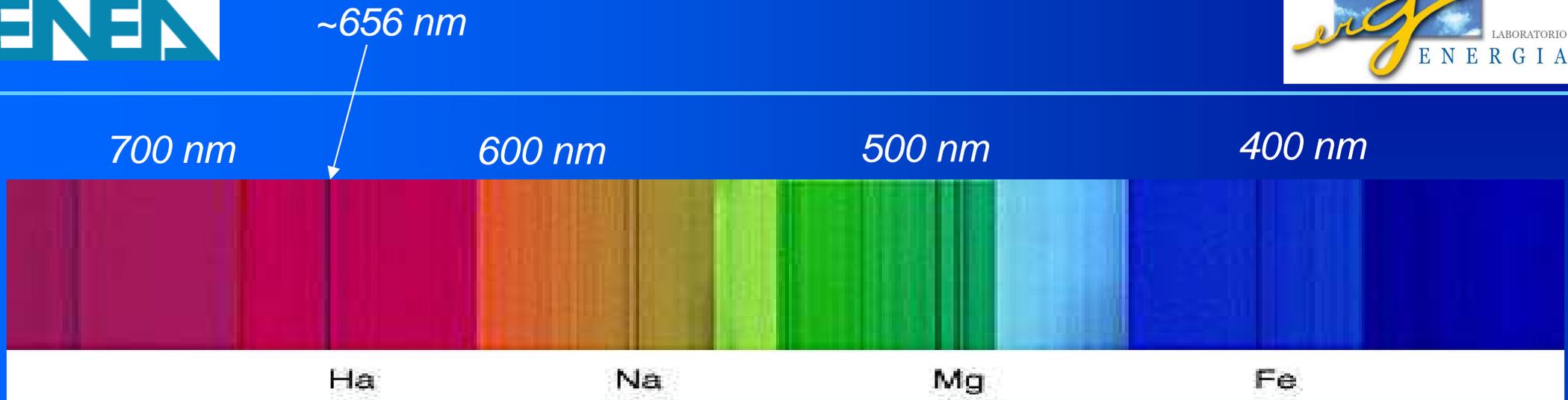
Effetto di filtraggio dell'atmosfera (lo spettro della radiazione solare viene modificato sia quantitativamente, che qualitativamente)



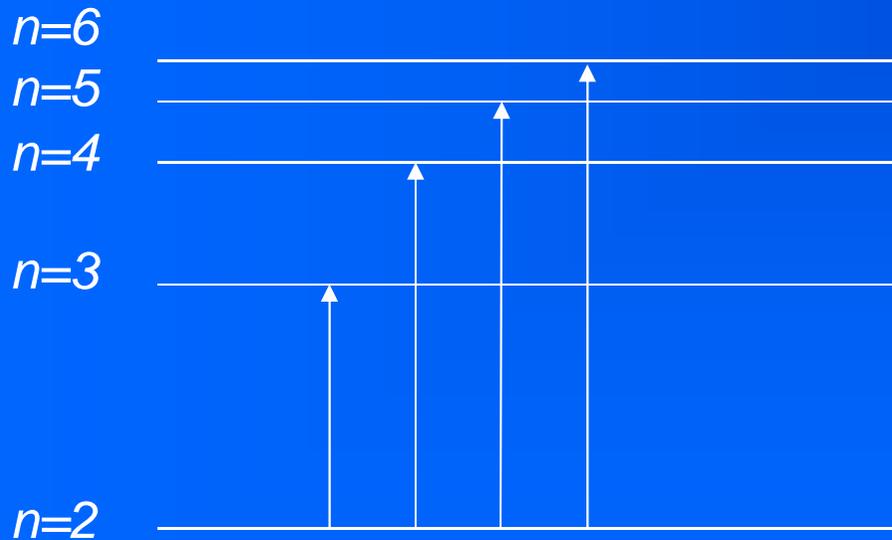
Il flusso di energia incidente al suolo dipende dalla latitudine, dalle condizioni atmosferiche, dal periodo dell'anno, dall'ora del giorno.

In un giorno di cielo sereno, a 30° di latitudine nord, il valore dell'incidenza solare varia durante l'anno da 0.6 a 1 kW/m<sup>2</sup>.





*Le righe scure sono le righe d'assorbimento prodotte dalle varie specie atomiche presenti nel materiale che compone la nostra stella*

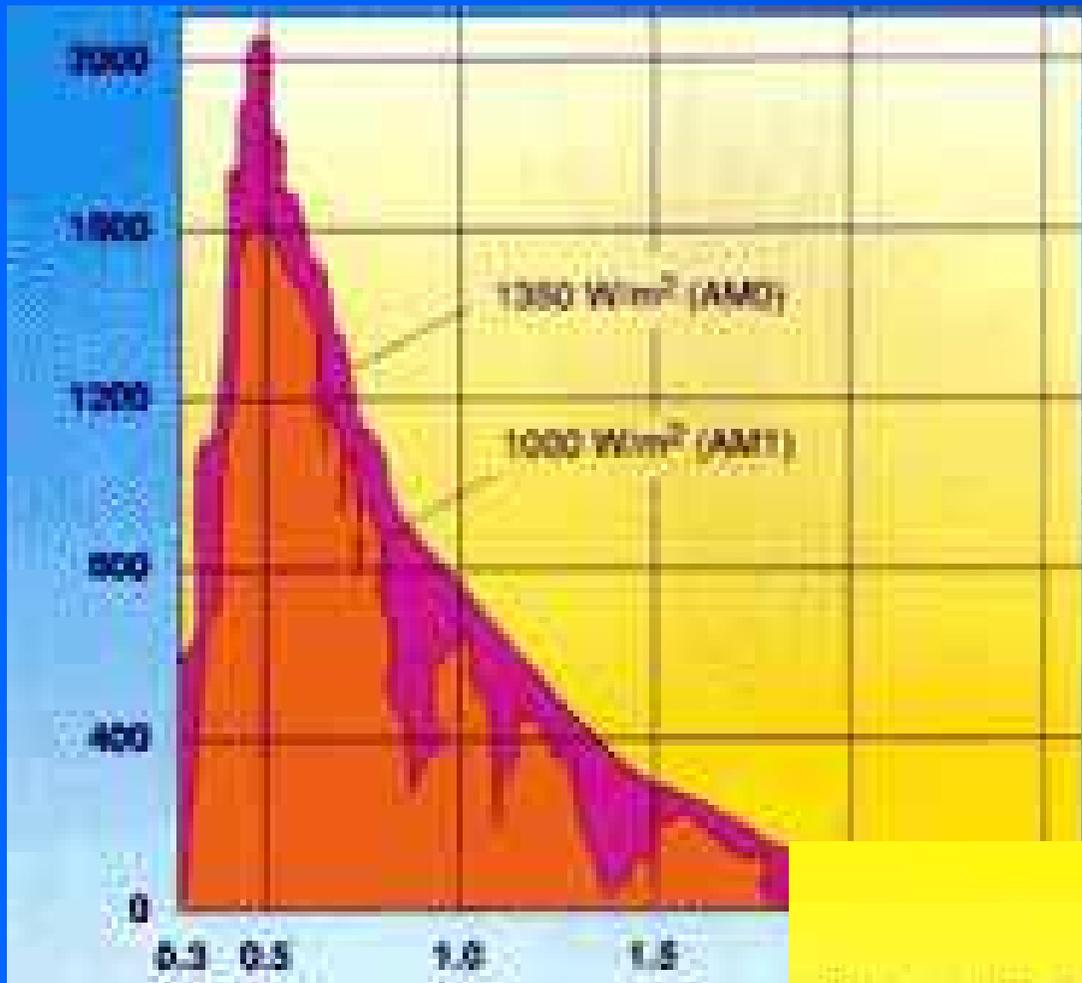


*Serie di Balmer (Idrogeno):*

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

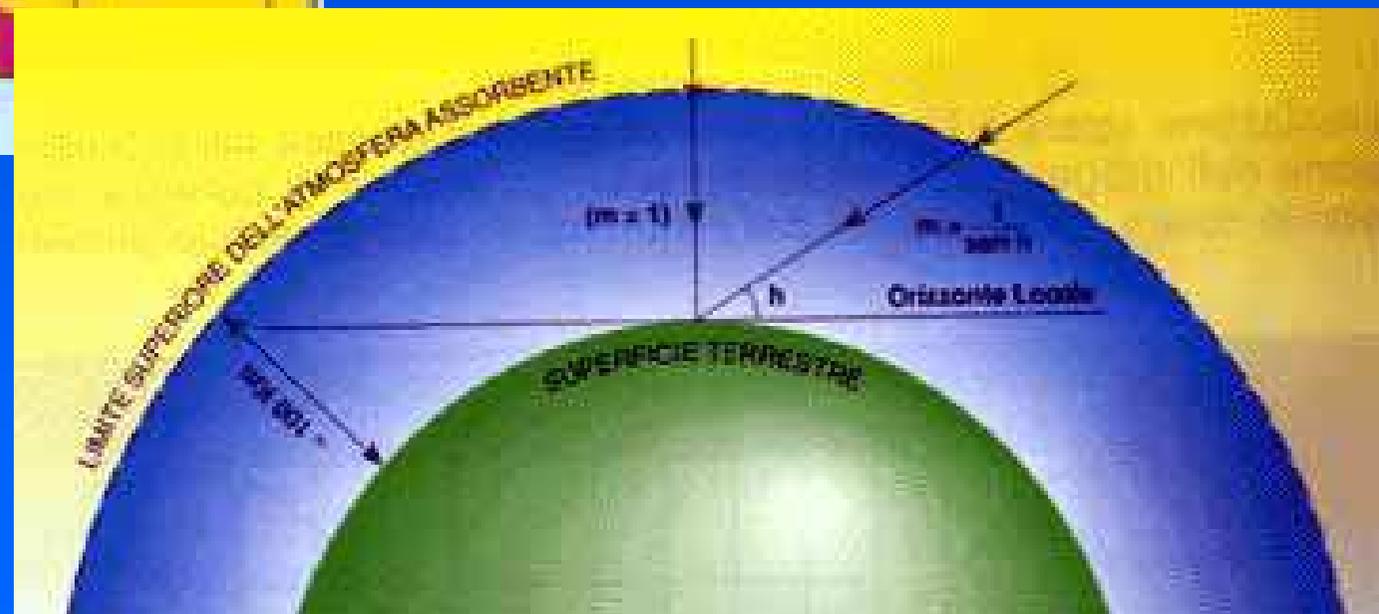
$$R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$n=3,4,5,\dots$$



$$AM \text{ (Air Mass)} = 1 / \sin h$$

$h = \text{Elevazione solare}$



La radiazione solare globale (G), che incide su di una certa superficie, è la somma di tre contributi:

- **la radiazione diretta (I):** ossia la componente che, seppur attenuata in intensità dall'attraversamento dell'atmosfera, raggiunge in maniera diretta la superficie considerata, con un ben definito angolo di incidenza;
- **la radiazione diffusa (D):** ossia la componente che viene invece assorbita dai componenti atmosferici e poi riemessa in tutte le direzioni; essa incide secondo vari angoli e perciò anche le superfici che non sono colpite dalla radiazione solare diretta a causa di ostacoli esterni, non è detto si trovino completamente oscurate;
- **la radiazione riflessa (R):** ossia quella che raggiunge la superficie, essendo stata riflessa dal terreno o da altre superfici.

$$G = I + D + R$$

Per la massimizzazione della produttività di un impianto solare è di fondamentale importanza la corretta installazione del sistema di captazione dell'energia solare.

La radiazione solare incidente su una superficie in un dato periodo è funzione di :

➤ **Latitudine della zona considerata**

La radiazione solare è massima all'equatore e diminuisce verso i poli

➤ **Orientamento della superficie captante (angolo di azimut)**

Nell'emisfero Nord, la superficie captante dovrebbe essere orientata verso Sud

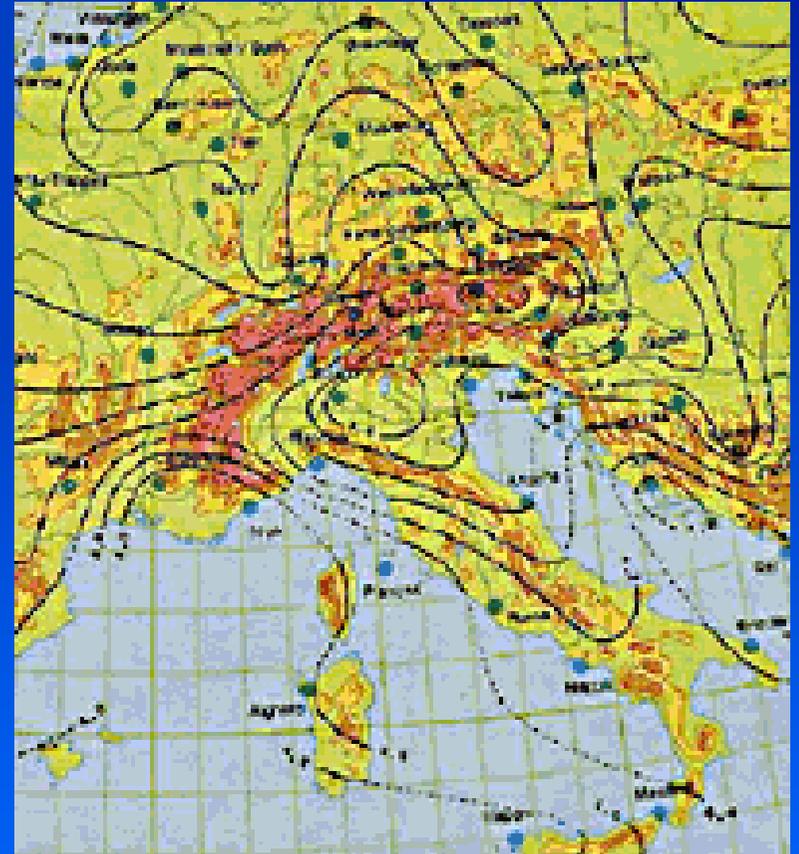
➤ **Inclinazione della superficie captante (angolo di tilt)**

Inclinazione rispetto al piano orizzontale:

- circa  $(L - 5^\circ)$  per ottimizzare l'energia captata globalmente in un anno;
- circa  $(L - 12^\circ)$  per massimizzare l'energia captata nel periodo estivo;
- circa  $(L + 12^\circ)$  per massimizzare l'energia captata nel periodo invernale.

Esempio di valori di Insolazione annua media  
(dati rilevati nel periodo 1994-1999)

- Bologna: 1427 kWh/m<sup>2</sup>
- Roma: 1516 kWh/m<sup>2</sup>
- Palermo: 1658 kWh/m<sup>2</sup>



*Mapa della distribuzione  
dell'irraggiamento medio  
giornaliero solare*

## SOLARE TERMICO A BASSA TEMPERATURA



Permette la conversione diretta dell'energia solare in energia termica



La radiazione solare catturata è utilizzata per produrre acqua calda ad una temperatura che può raggiungere i 60 – 70 °C.

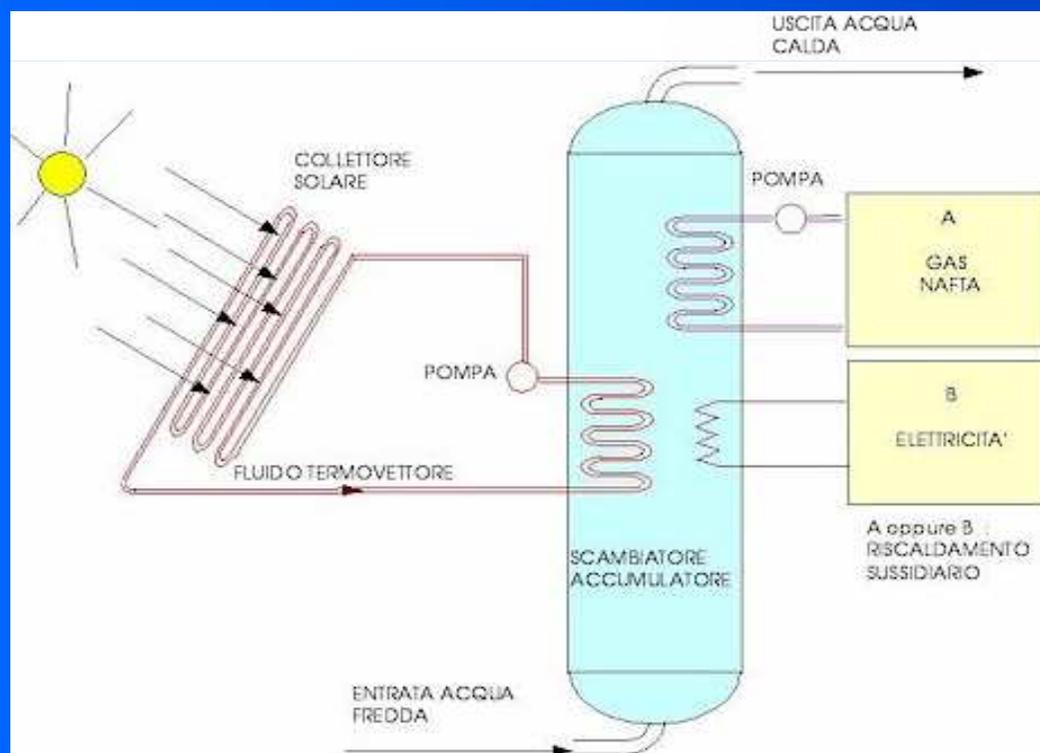
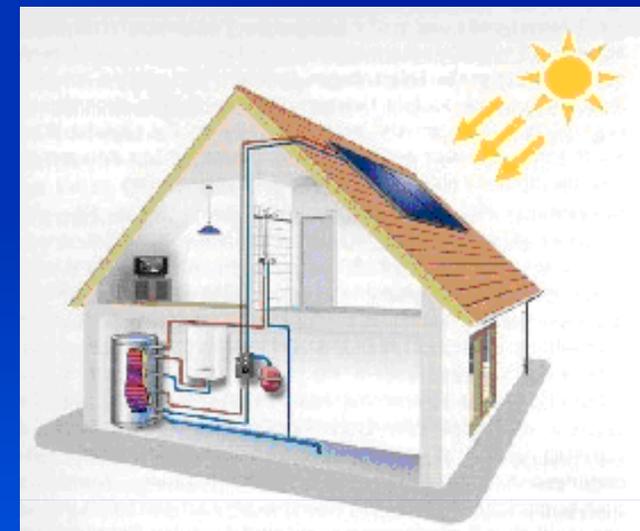
Gli usi finali della tecnologia solare termica nel settore edilizio riguardano:

- la produzione di acqua calda sanitaria (ACS);
- il riscaldamento degli ambienti;
- il condizionamento estivo degli ambienti;
- il riscaldamento delle piscine.

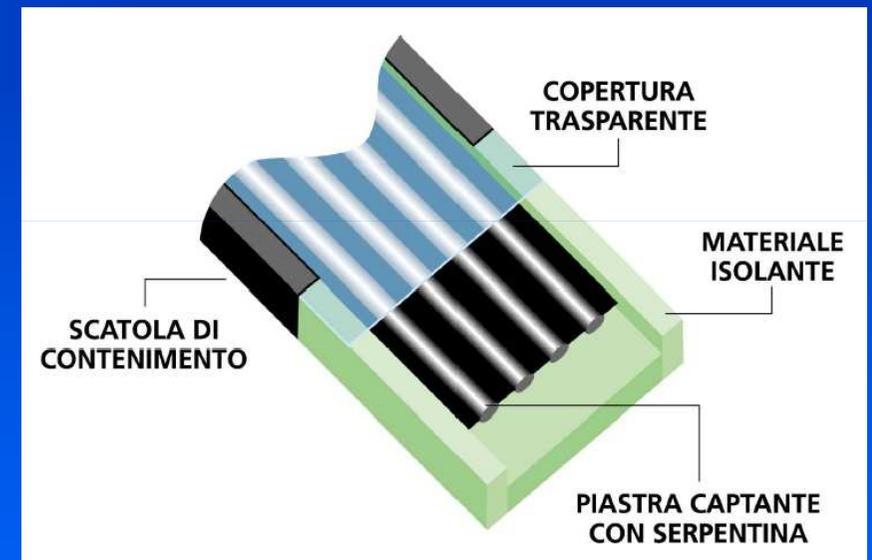
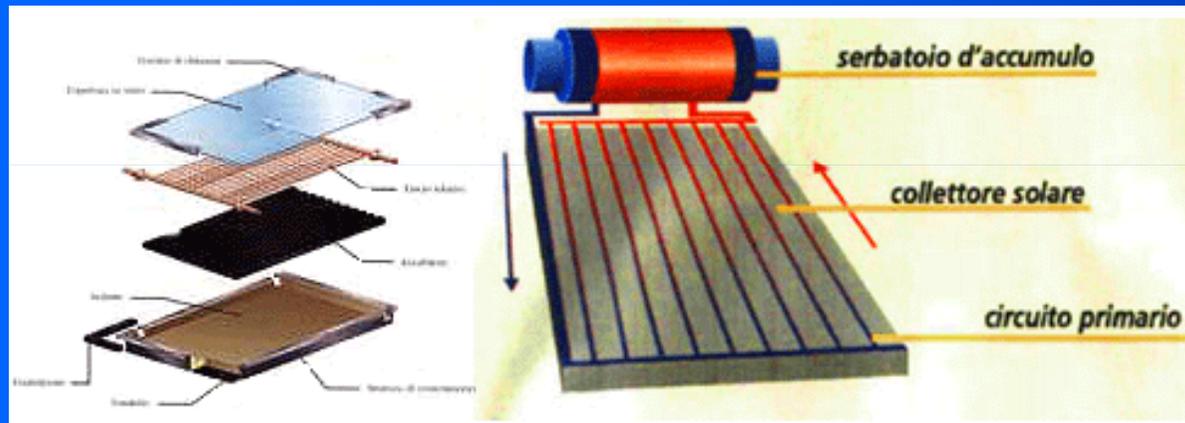
*L'adozione di pannelli per la produzione di ACS risulta una soluzione economicamente competitiva rispetto all'utilizzo di fonti tradizionali ed ha avuto larga diffusione in Europa negli ultimi anni.*

## Elementi principali di un impianto solare termico

- il collettore (o pannello) solare
- il serbatoio di accumulo (o boiler) dell'acqua calda
- l'eventuale centralina di regolazione



Il dispositivo principale di un impianto solare termico è il **collettore**, ossia il sistema di captazione dell'energia della radiazione solare.



La radiazione solare incidente sulla superficie captante del pannello viene assorbita da una piastra assorbente nera all'interno di esso, che, a sua volta, cede l'energia termica ad un fluido termovettore che scorre in tubi saldati alla piastra stessa.

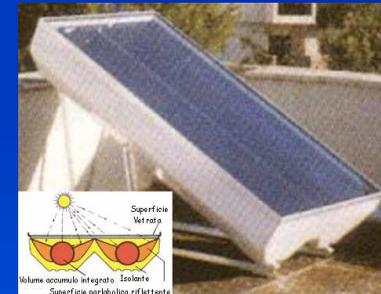
## Le principali tipologie di collettori solari termici

### ➤ il collettore piano vetrato



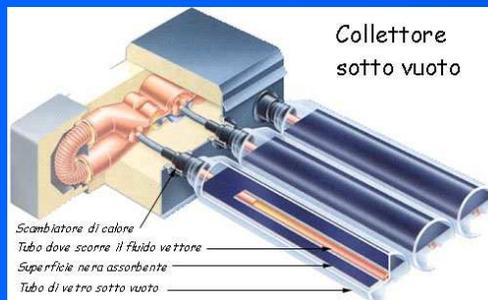
È la tipologia più diffusa, grazie al buon rapporto costo/efficienza

### ➤ il collettore ad accumulo integrato



Il collettore assolve anche alla funzione di serbatoio

### ➤ il collettore sottovuoto



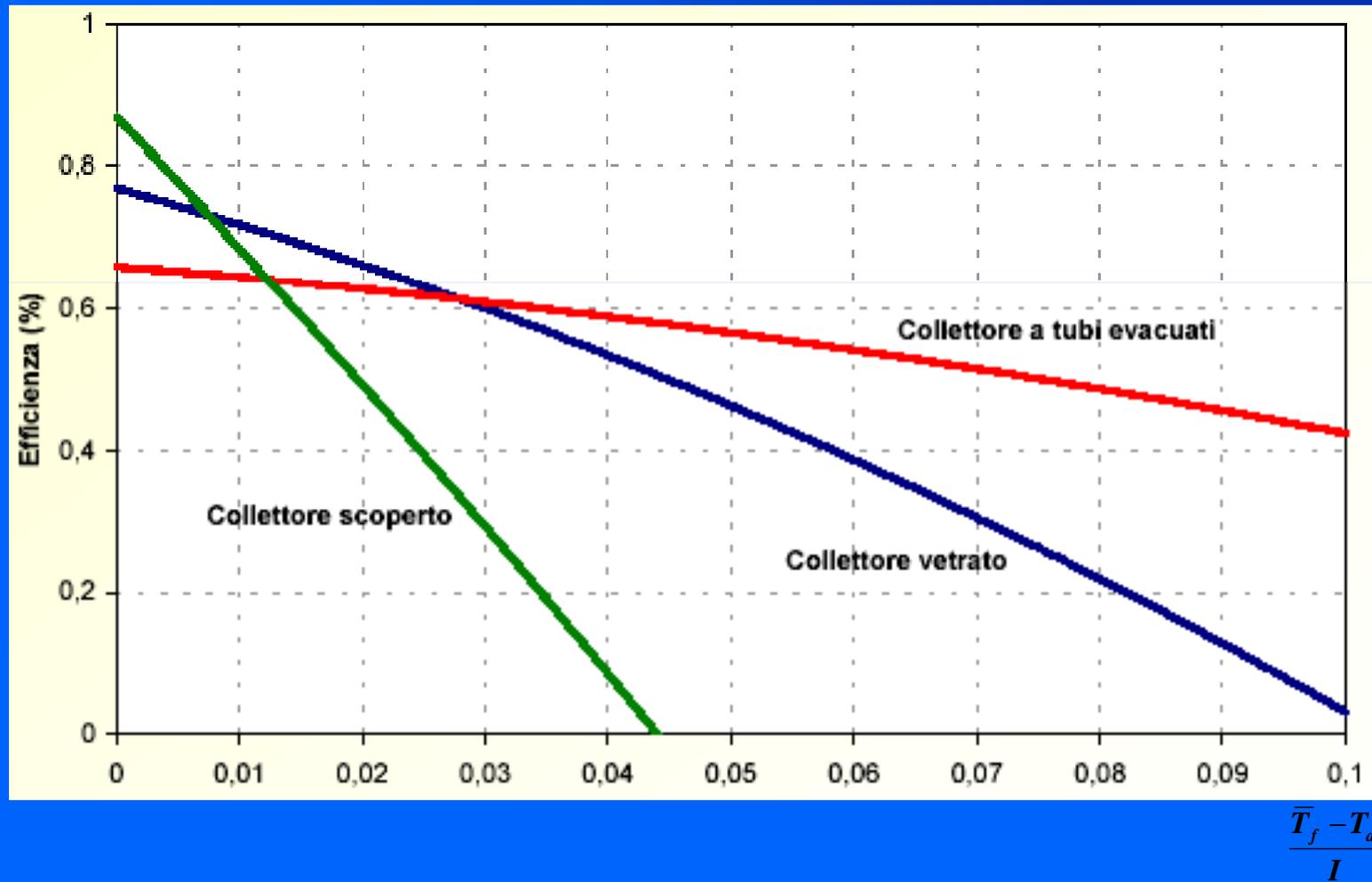
Presenta una elevata efficienza in climi rigidi, grazie alla dispersione di calore limitata

### ➤ il collettore scoperto

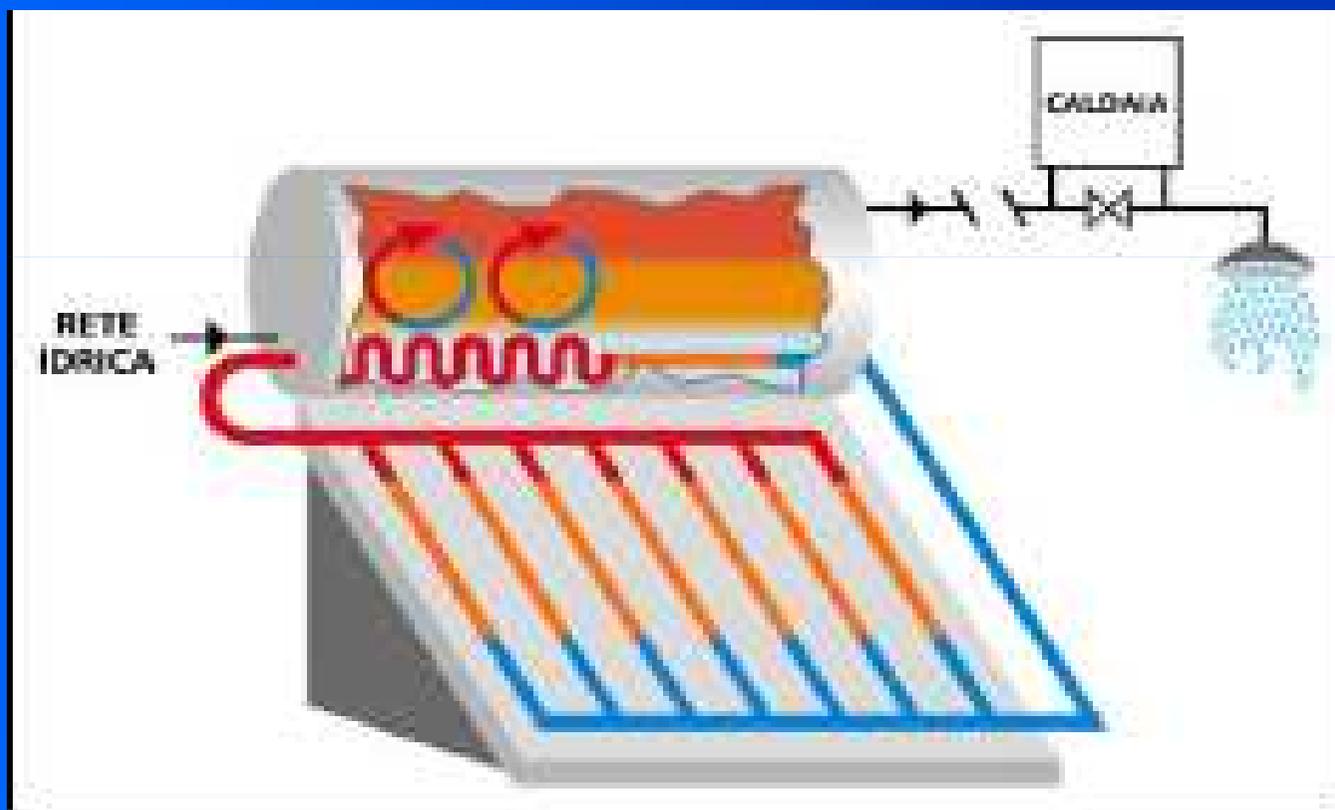


Utilizzato per il riscaldamento dell'acqua di piscine scoperte o per la fornitura di ACS in residenze estive

## Andamento dell'efficienza dei collettori



Impianti a circolazione naturale



## Impianti a circolazione naturale

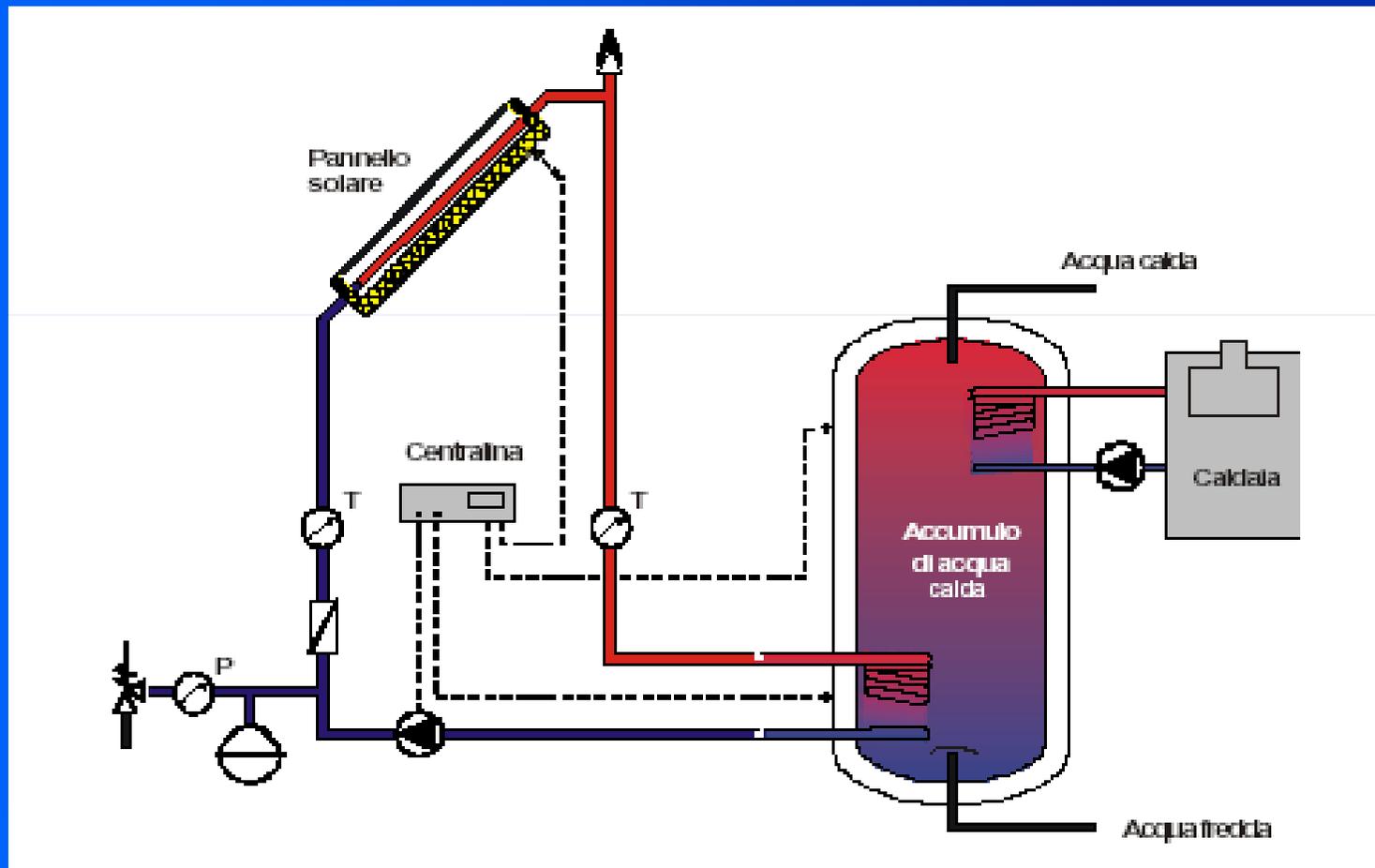
### Vantaggi

- Semplicità dell'impianto
- Compattezza
- Semplicità di manutenzione
- Bassi costi

### Svantaggi

- Il serbatoio di accumulo deve essere posizionato obbligatoriamente al di sopra del pannello
- Necessità di una struttura di copertura dell'edificio che possa resistere ai carichi trasmessi dal serbatoio di accumulo, o di un sottotetto in cui alloggiarlo

## Impianti a circolazione forzata



## Impianti a circolazione forzata

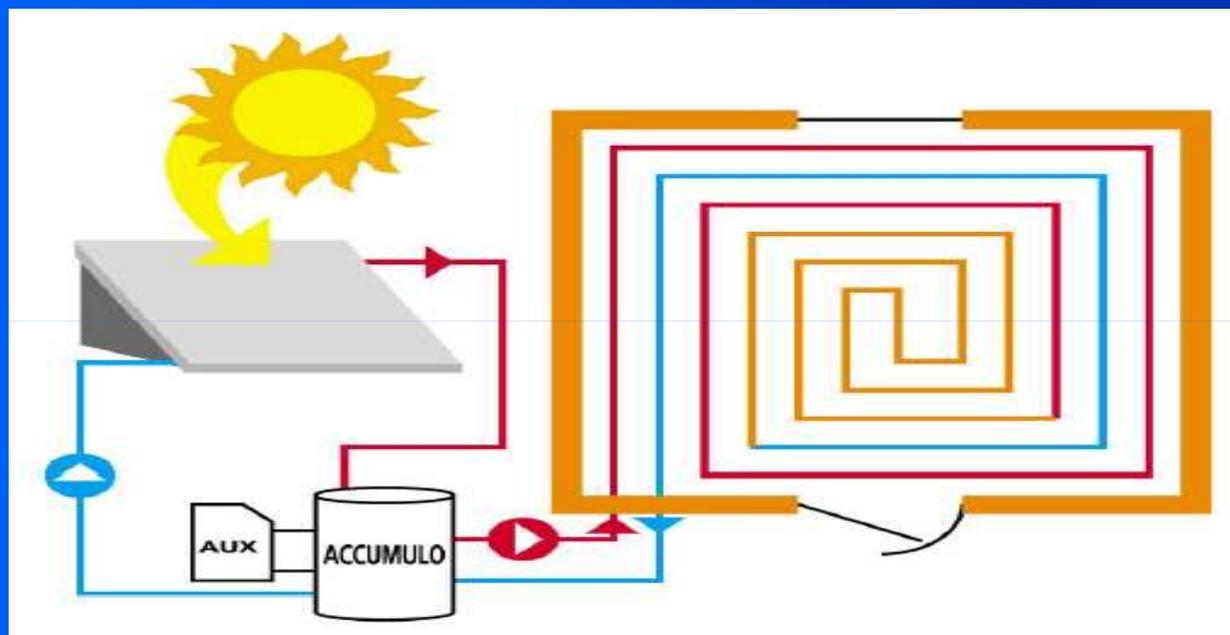
### Vantaggi

- indipendenza della posizione del serbatoio rispetto a quella dei collettori e possibilità di alloggiare il boiler in vani tecnici all'interno dell'edificio
- possibilità di gestire impianti di grosse dimensioni
- possibilità di utilizzo di serbatoi di dimensioni maggiori
- nessuno spreco di acqua calda; infatti, l'aumento di volume dovuto all'eventuale evaporazione del fluido nel periodo estivo, viene compensato dal vaso di espansione

### Svantaggi

- costi di installazione e di gestione maggiori
- richiesta di energia elettrica, a causa della presenza della pompa
- maggiore complessità e vulnerabilità dell'impianto

## Riscaldamento degli ambienti



Alla tecnologia del riscaldamento solare va accoppiato un sistema di distribuzione del calore a bassa temperatura: pannelli radianti

Possibilità di integrazione di circa il 30 - 35% del fabbisogno energetico annuale

## Esempio di calcolo

ENERGIA DISPONIBILE 1.500.000 kcal/(m<sup>2</sup>anno)  
EFFICIENZA COLLETTORI 60 %

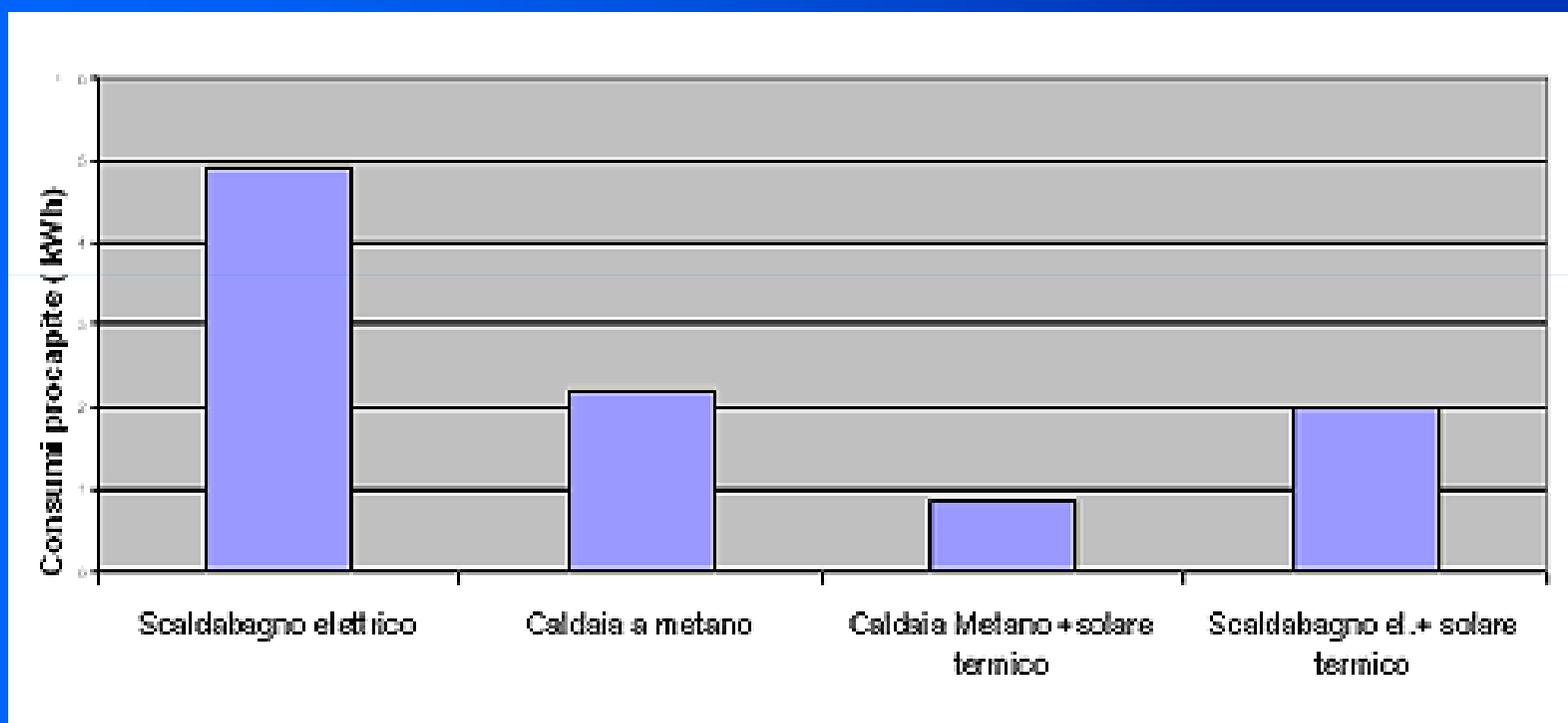
RICHIESTA di ACQUA CALDA A 40 °C  
80 LITRI/GIORNO \* PERSONA  
NUMERO DI PERSONE : 4  
TEMPERATURA ACQUA RETE: 10 °C

ENERGIA UTILE  
 $1.500.000 * 0,6 = 900.000$   
kcal/(m<sup>2</sup> anno)

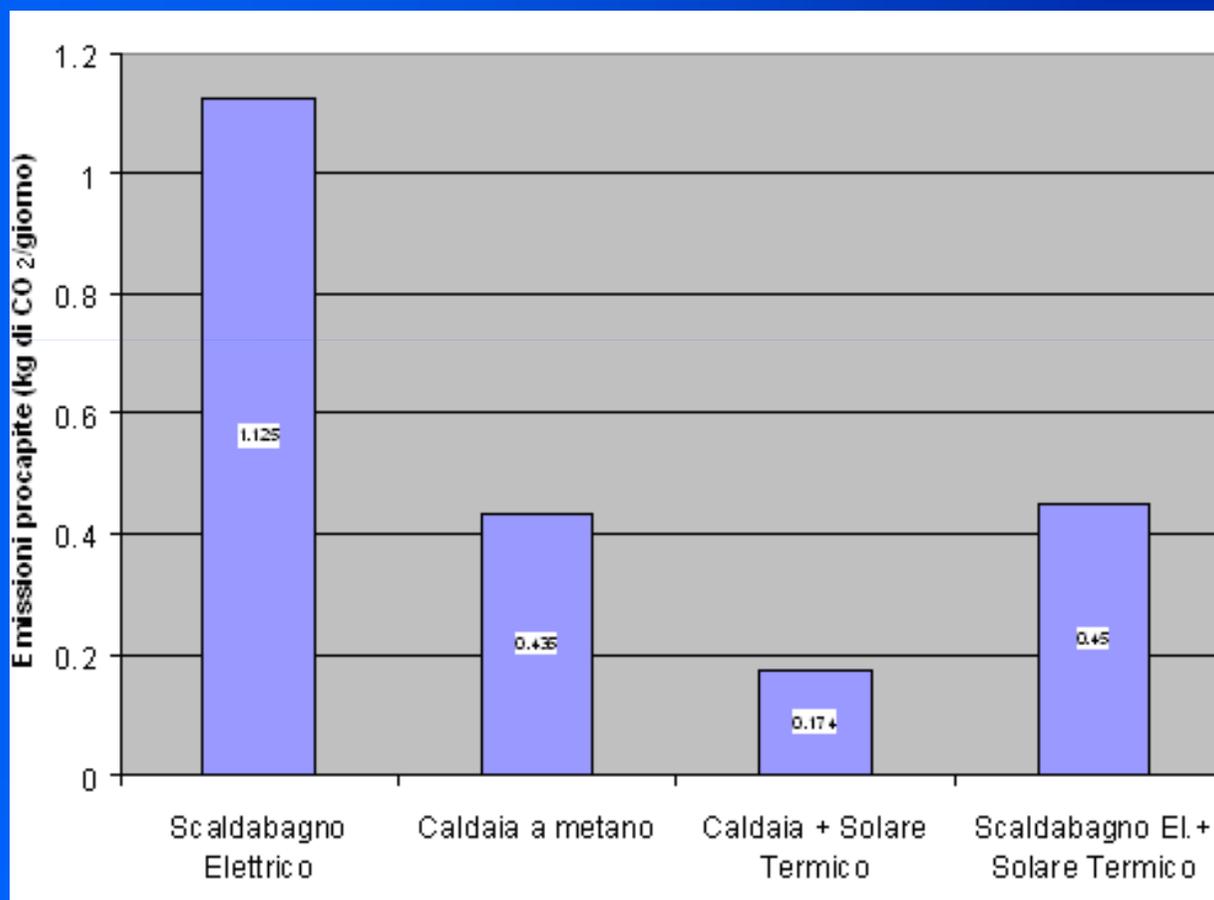
ENERGIA RICHIESTA  
 $80 * 4 * (40-10) * 365 = 3.504.000$   
kcal/anno

SUPERFICIE NECESSARIA  
 $3.504.000/900.000=3,89 \text{ m}^2$

# Confronto fra i consumi energetici relativi a diverse soluzioni per la produzione di ACS



## Confronto fra le emissioni di CO<sub>2</sub> causate da diverse soluzioni per la produzione di ACS



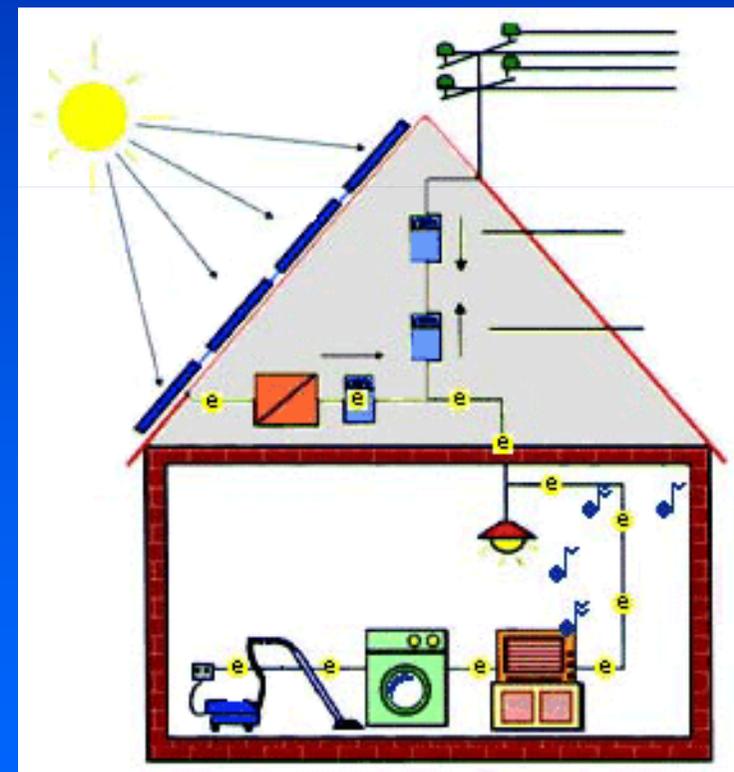
[fonte: Min. Amb.]

## ENERGIA FOTOVOLTAICA

I sistemi fotovoltaici (FV) permettono la conversione diretta di energia solare in elettrica

### Elementi principali di un impianto fotovoltaico

- sistema di generazione: le celle fotovoltaiche
- sistema di controllo e condizionamento della potenza
- eventuale sistema di accumulo dell'energia (batteria)
- struttura di sostegno



La conversione della radiazione solare in una corrente di elettroni avviene nella cella fotovoltaica.



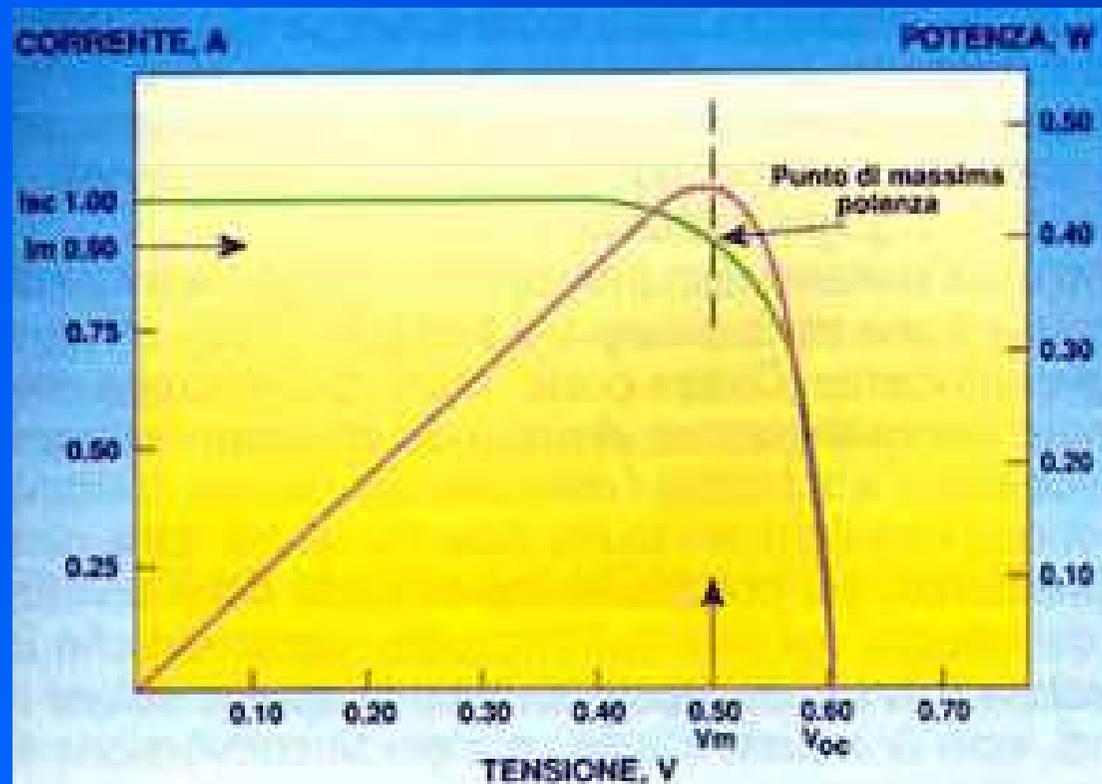
*È costituita da materiale semiconduttore drogato e può avere varie misure ed essere realizzata in diversi materiali.*

## Efficienza per varie tipologie di modulo fotovoltaico

Tipo di modulo disponibili in commercio	Efficienza dei moduli
Silicio monocristallino	14 - 17 %
Silicio policristallino	11 - 14 %
Silicio amorfo	5 - 7 %

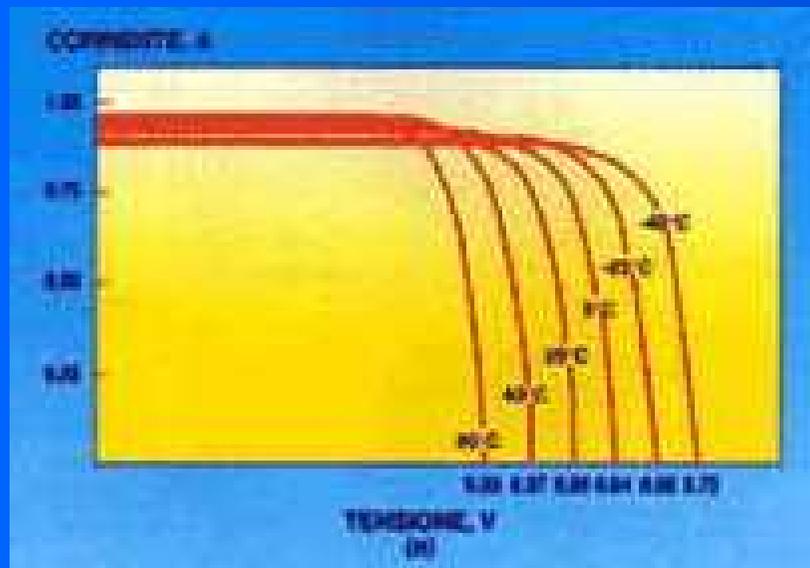
# Curva caratteristica

andamento della corrente  $I$  della cella, in funzione della sua tensione  $V$

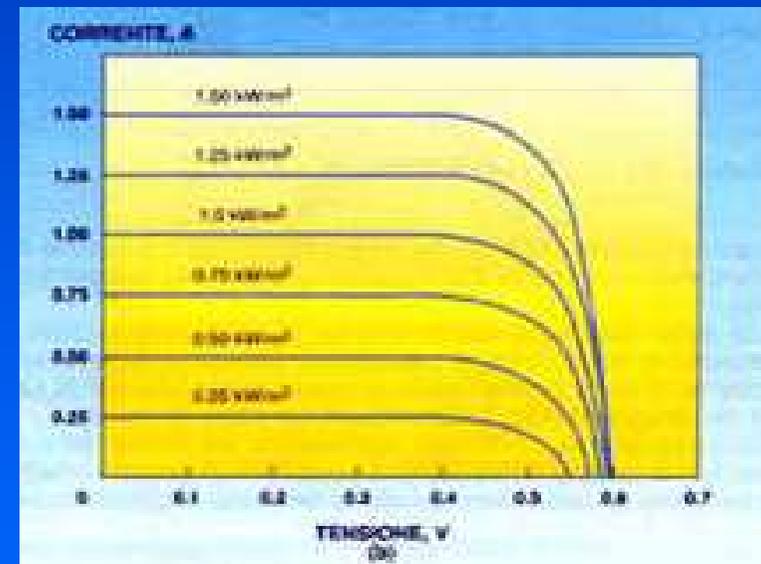


L'andamento della curva caratteristica dipende da:

- proprietà intrinseche della cella, come il materiale utilizzato
- intensità della radiazione luminosa incidente
- temperatura della cella stessa



*Variazione della curva I-V con la temperatura della cella*



*Variazione della curva I-V con l'intensità della radiazione solare*

Le prestazioni dei moduli FV sono legate alle caratteristiche della radiazione solare e della temperatura esterna. Per quantificare le loro prestazioni occorre riferirsi a delle condizioni standard:

- Intensità della radiazione =  $1000 \text{ W/m}^2$
- Temperatura della cella =  $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Massa d'aria: AM 1.5

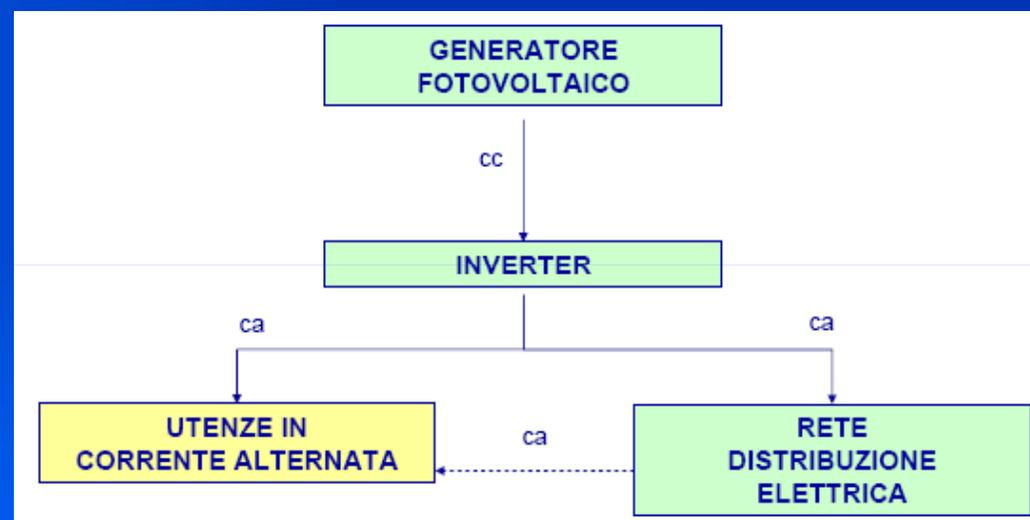
La massa d'aria è un parametro utilizzato per tener conto dello spessore dello strato di atmosfera attraversato dalla radiazione e dei conseguenti effetti di assorbimento, a seconda della posizione del sole nel cielo.

*Il dato di targa della potenza generata da una cella FV è espresso in Watt di picco (Wp), ossia si riferisce alla potenza di picco generata nelle condizioni standard.*

## Impianti connessi in rete

*Elementi principali:*

- generatore FV
- Inverter, per convertire la corrente generata dai moduli da continua in alternata

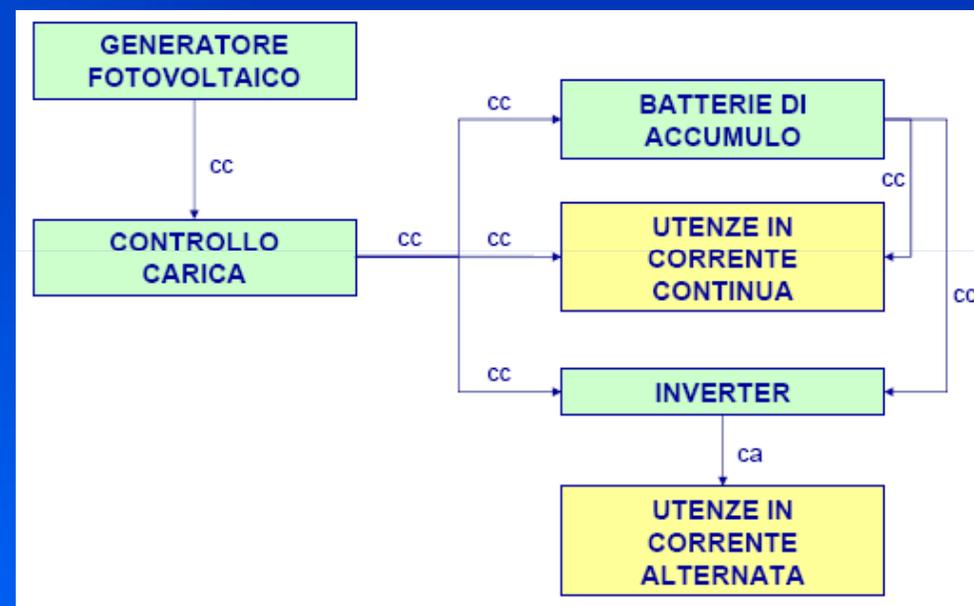


*Per utenze collegate in rete*

## Impianti isolati

### *Elementi principali:*

- moduli fotovoltaici
- regolatore di carica
- sistema di batterie di accumulo dell'energia
- eventuale inverter (nel caso in cui sia necessario alimentare l'utenza in corrente alternata).



*Per utenze non raggiunte dalla rete elettrica*

## LE APPLICAZIONI

### Sistemi isolati (“stand alone”)

- rifugi di montagna
- piccole isole
- rilevazioni climatiche
- ripetitori radio
- boe di segnalazione
- illuminazione stradale e da giardino
- carica batterie
- pvs (refrigerazione, pompaggio, aree rurali)

### Sistemi connessi in rete

- centrali di potenza
- sistemi integrati negli edifici

### Energia elettrica in corrente continua mediamente prodotta in un anno da 1 kWp di moduli

	<b>Insolazione media annua (kWh/m<sup>2</sup> anno)</b>	<b>Efficienza moduli (%)</b>	<b>Superficie occupata da 1 kWp di moduli (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Elettricità prodotta mediamente in un anno in corrente continua (kWh/kWp anno)</b>
MILANO	1372.4	12,5%	8	1372.4
ROMA	1737.4	12,5%	8	1737.4
TRAPANI	1963.7	12,5%	8	1963.7

### Energia elettrica mediamente prodotta in corrente alternata in un anno da 1 m<sup>2</sup> di moduli

	<b>Insolazione media annua (kWh/m<sup>2</sup> anno)</b>	<b>Efficienza moduli (%)</b>	<b>Efficienza BOS (%)</b>	<b>Elettricità prodotta mediamente in un anno (kWh/m<sup>2</sup> anno)</b>
MILANO	1372.4	12,5%	85	145.8
ROMA	1737.4	12,5%	85	184.6
TRAPANI	1963.7	12,5%	85	208.6