

SOLARE TERMICO



Introduzione: cenni sulla radiazione solare

La radiazione solare è l'energia elettromagnetica che scaturisce dai processi di fusione dell'idrogeno contenuto nel Sole. La temperatura superficiale del Sole è pressoché costante e pari a 5788K.

Ai limiti dell'atmosfera terrestre l'energia solare che arriva è definita dalla costante solare $C = 1367 \text{ W/m}^2$. Questa quantità è l'energia che viene captata da una superficie perpendicolare alla congiungente Terra-Sole di estensione pari a 1m^2 in 1s.

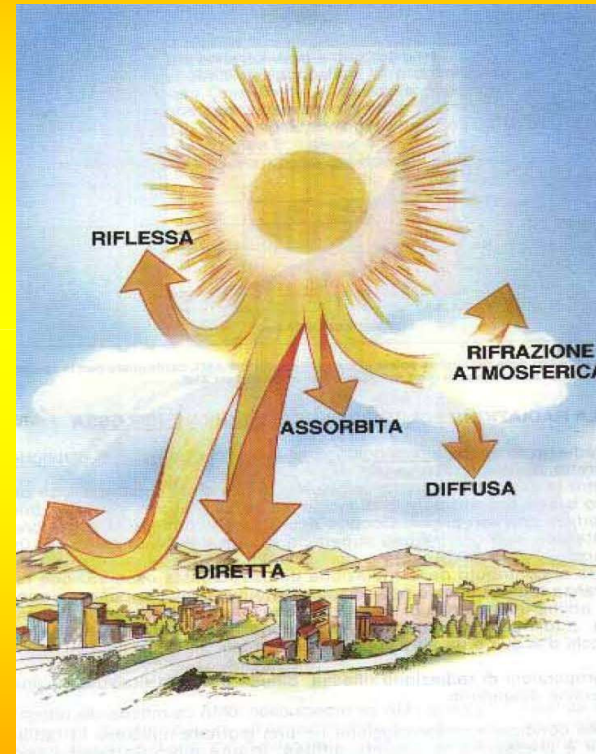
La quantità di energia solare che arriva sulla terra è minore a causa dell'attraversamento dell'atmosfera.



Introduzione: cenni sulla radiazione solare

Nell'attraversare gli strati atmosferici la radiazione solare viene:

- in parte riflessa da essi nello spazio
- in parte assorbita (soprattutto da ozono e vapor d'acqua)
- in parte diffusa dalle molecole gassose che costituiscono l'aria e dalle particelle sospese



Introduzione: cenni sulla radiazione solare

L'attenuazione che ne risulta è pertanto funzione:

- delle proprietà fisiche degli strati atmosferici
- della lunghezza del cammino del raggio solare



Introduzione: cenni sulla radiazione solare

La radiazione solare globale che giunge al suolo è la somma di due componenti:

- **radiazione solare diretta**: proveniente direttamente dall'angolo solido sotteso dal disco solare
- **radiazione solare diffusa**: proveniente dalla volta celeste (effetto del fenomeno di diffusione)

Con riferimento ad una superficie comunque orientata si deve aggiungere una terza componente:

- **radiazione solare riflessa (o albedo)**: è la radiazione solare (diretta e diffusa) che viene riflessa dal terreno e dagli oggetti che circondano una superficie.

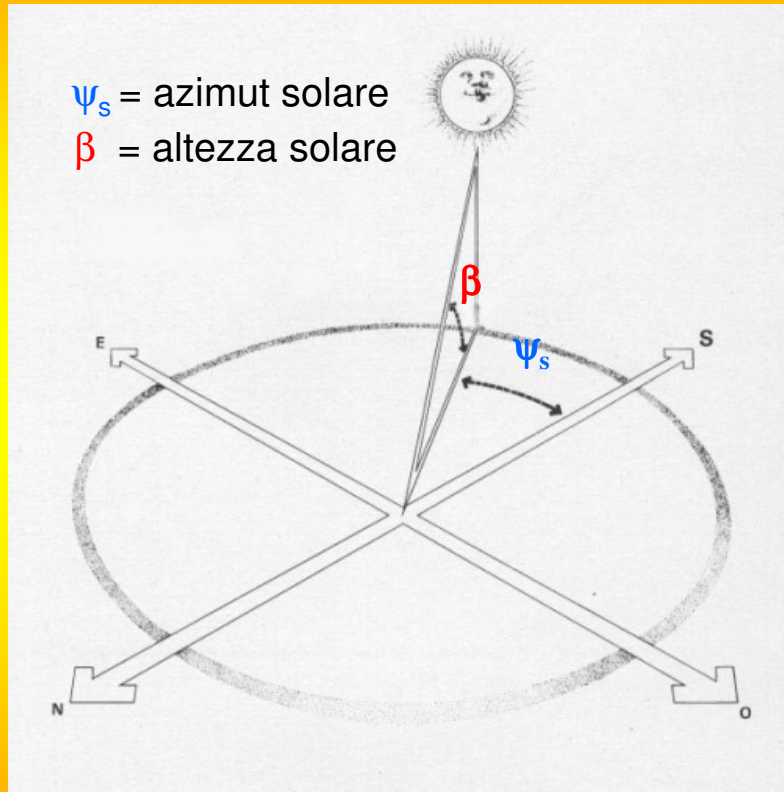


Introduzione: cenni sulla radiazione solare

La quantità di radiazione solare che incide su una superficie orizzontale dipende (oltre che dal grado di copertura del cielo) dalla posizione del Sole nella volta celeste.

La posizione del Sole può essere individuata in ogni istante per mezzo di alcuni angoli fondamentali (declinazione, angolo orario e latitudine) con i quali si ricavano:

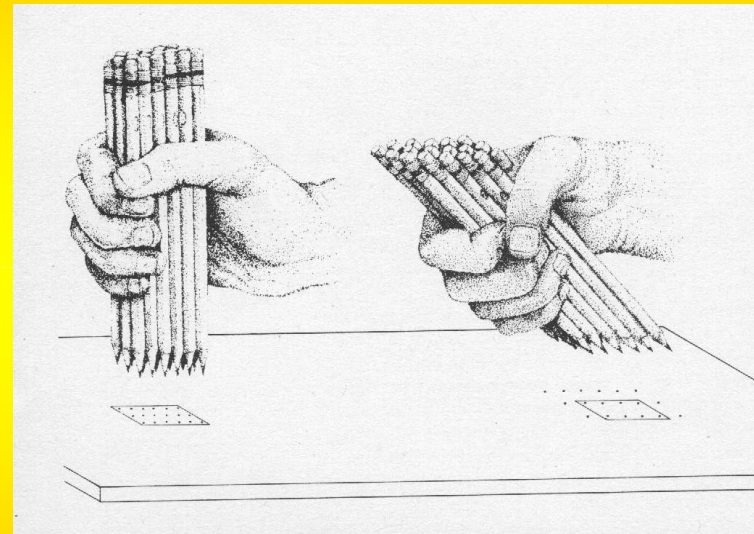
- l'angolo di altezza solare: altezza del sole sull'orizzonte
- l'angolo azimutale: scostamento dalla direzione sud



Introduzione: cenni sulla radiazione solare

La radiazione solare viene espressa in termini di potenza incidente per unità di superficie [W/m^2] o di energia incidente per unità di superficie in un certo intervallo di tempo [J/m^2] o [Wh/m^2].

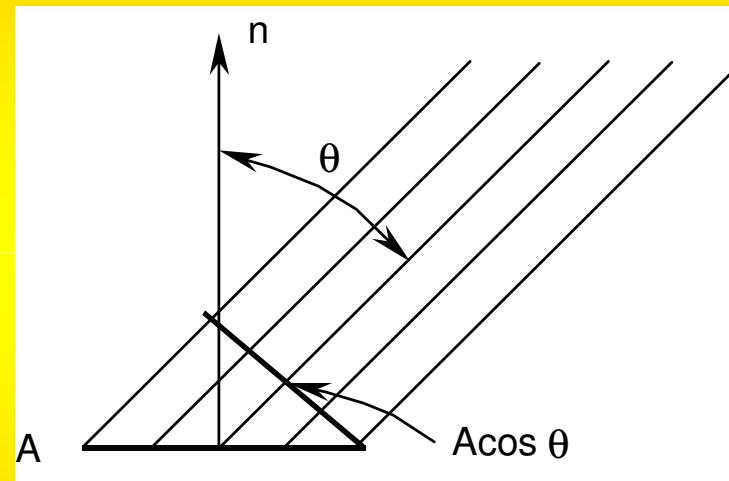
Sulla superficie terrestre l'intensità della radiazione su di una superficie [W/m^2] dipende da come i raggi solari incidono sulla superficie ossia dalla sua giacitura.



Introduzione: cenni sulla radiazione solare

La radiazione solare viene espressa in termini di potenza incidente per unità di superficie [W/m^2] o di energia incidente per unità di superficie in un certo intervallo di tempo [J/m^2] o [Wh/m^2].

Sulla superficie terrestre l'intensità della radiazione su di una superficie [W/m^2] dipende da come i raggi solari incidono sulla superficie ossia dalla sua giacitura.



Utilizzo dell'energia solare

ASPETTI POSITIVI

- Fonte inesauribile
- Non inquinante
- Estesa al globo
- Teoricamente sufficiente ai bisogni
- Gratuita alla fonte

ASPETTI NEGATIVI

- A bassa densità
- Discontinua
- Costosa nei procedimenti di captazione e utilizzo
- Decrescente dall'equatore ai poli



Il solare termico

- L'energia solare è convertita in energia termica a bassa temperatura (fino ad un massimo di circa 80 °C)
- Possibili applicazioni di questa tecnologia sono pertanto:
 - produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari
 - riscaldamento ambientale
 - impianti sportivi (piscine, palestre,...)
 - applicazioni industriali a bassa temperatura (Aziende vinicole, lattiero-casearie, conciarie, ecc.)
 - produzione di freddo (con macchine ad assorbimento)



I componenti di un impianto solare

- Collettori solari
- Sistema di accumulo
- Fonte di energia tradizionale, supplementare
- Reti di collegamento e apparecchi di regolazione



Tipologie di collettori

- Collettori piani
 - Fluido termovettore: acqua
 - » Vetrati
 - » Scoperti
 - Fluido termovettore: aria
- Collettori a tubo: sistemi U-tube e heat-pipe
- Concentratori focalizzanti: adatti per temperature più elevate



Principio di funzionamento di un collettore solare

- Un collettore solare consiste in una piastra captante che grazie alla sua geometria e alle proprietà della sua superficie, assorbe energia solare e la converte in calore (conversione fototermica). Tale energia viene poi trasmessa ad un fluido termovettore che circola all'interno del collettore stesso.
- La caratteristica principale che identifica la qualità di un collettore solare è l'**efficienza** ossia la capacità di conversione dell'energia solare incidente in energia termica.

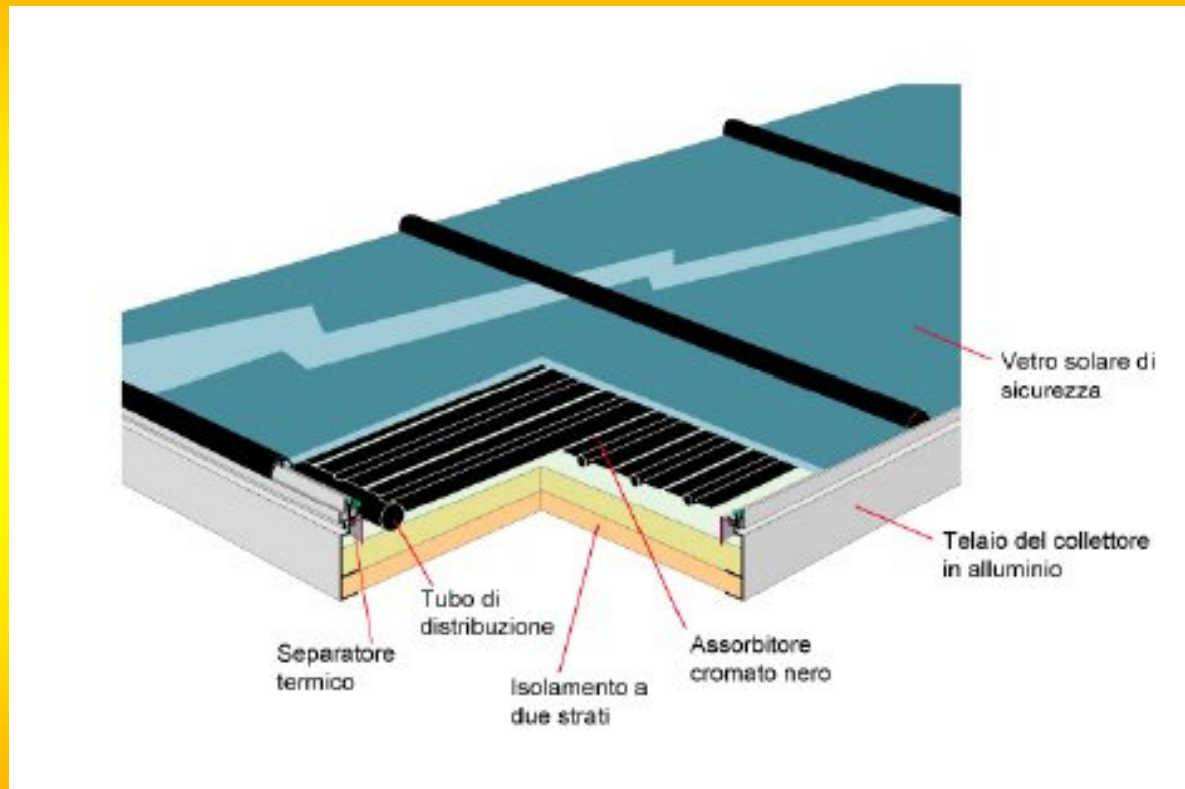


Collettori solari piani

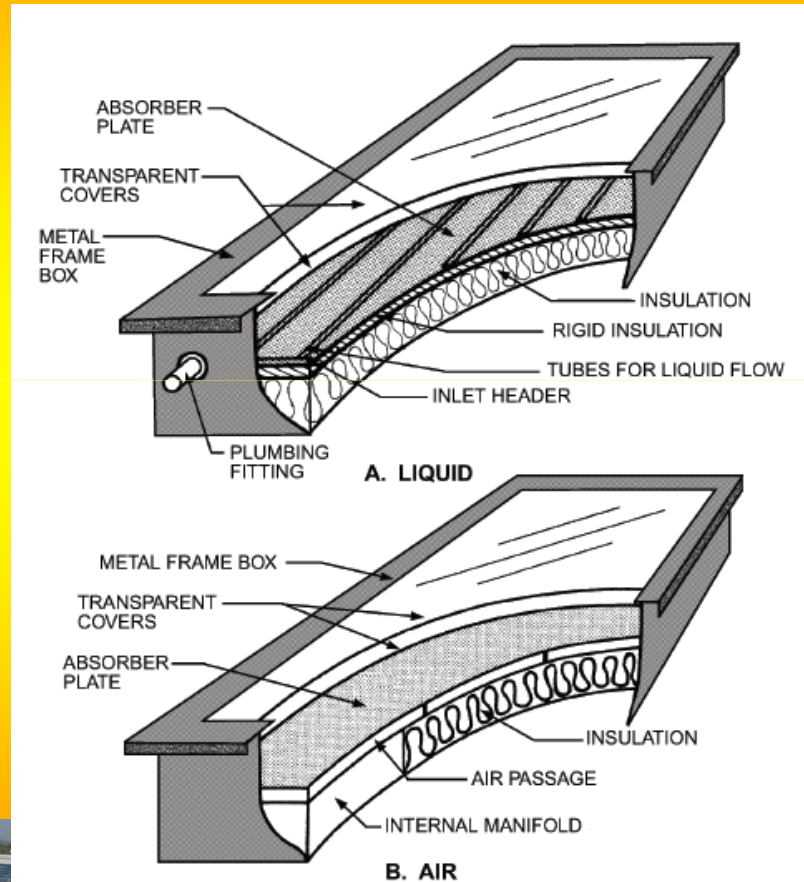
- Sono in grado di utilizzare sia la radiazione diretta che quella diffusa
- Sono modulari (superficie frontale di circa 1-2 m²)
- Sono costituiti dai seguenti componenti:
 - Piastra assorbente
 - Condotto per il fluido termovettore
 - Lastra trasparente di copertura
 - Isolamento termico
 - Struttura di supporto e contenimento



Collettori solari piani: componenti



Collettori solari piani: componenti



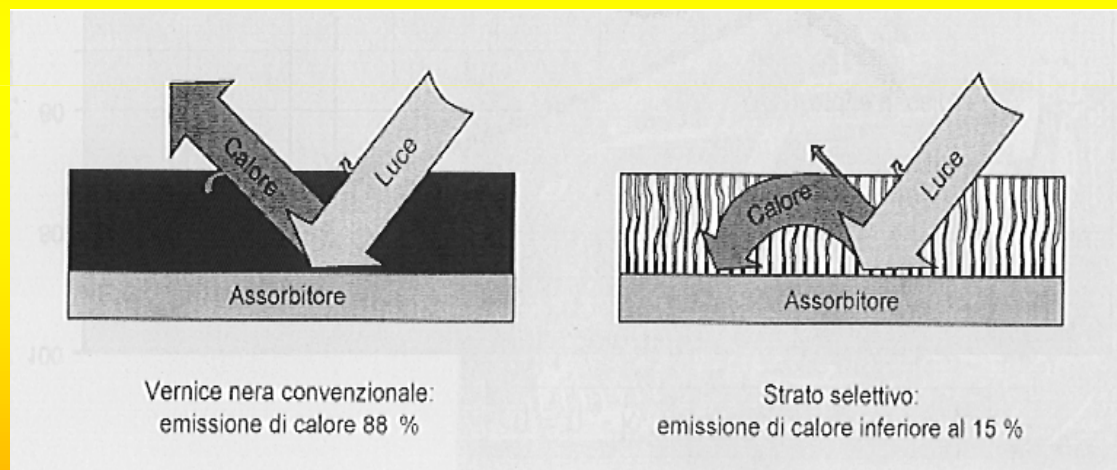
Piastra assorbente

- Materiale: generalmente metallica, in rame, alluminio o acciaio; in alcune applicazioni le piastre possono essere in materiale plastico resistente ai raggi ultravioletti
- Piana ondulata, scanalata o pieghettata; trattata con vernice nera opaca (aumento del coefficiente di assorbimento a basse lunghezze d'onda)
- Funzione: assorbire e trattenere la massima quantità di radiazione solare incidente trasformandola in energia termica



Piastra assorbente con rivestimento selettivo

Trattamenti di ossidazione superficiale oppure depositi di sottili strati di ossidi neri di cromo o di nickel mantengono elevato il coefficiente di assorbimento e riducono la quota di energia reirraggiata dalla piastra nel campo dell'infrarosso



Condotto per il fluido

Lo scambio di calore fra la piastra e il fluido termovettore liquido (acqua pretrattata, oppure soluzione acquosa di glicoletilenico con additivi anticorrosione) avviene in due modi principali:

- con il fluido che circola in una vera e propria rete di tubi (di solito in rame) alla quale è collegata la piastra
- con circolazione del fluido in una “via d’acqua” ricavata all’interno della piastra

In ogni caso i canali fanno capo ad un distributore di ingresso e ad uno di uscita.

PER LA PROGETTAZIONE: per migliori rendimenti è necessario minimizzare la sezione (e quindi la portata di acqua) massimizzando invece il perimetro di contatto tra fluido e piastra.



Lastra trasparente

Caratteristiche e funzioni:

- trasparenza alle radiazioni solari dirette ($\tau = 0,82-0,97$)
- opaca alle radiazioni nell'infrarosso emesse dalla piastra (effetto serra)
- limitare le perdite per convezione e radiazione (coefficiente di perdita)
- racchiudere uno spazio sigillato limitando l'ingresso del vapore d'acqua
- offrire protezione meccanica e dagli agenti atmosferici ai collettori



Isolamento termico e struttura di supporto

Il doppio strato di isolamento termico ha lo scopo di minimizzare le perdite di calore dalla piastra verso il basso. E' costituito pertanto da materiali isolanti come la lana di roccia, la lana di vetro, il vetro espanso, il poliuretano. La scelta del materiale è fatta sulla base delle caratteristiche di coibenza ma anche della sua stabilità alle temperature elevate della piastra.

La struttura di supporto è molto importante per la tenuta e la protezione della piastra e degli altri componenti. Deve resistere agli agenti atmosferici e all'azione aggressiva delle acque piovane per il loro contenuto in acidi.

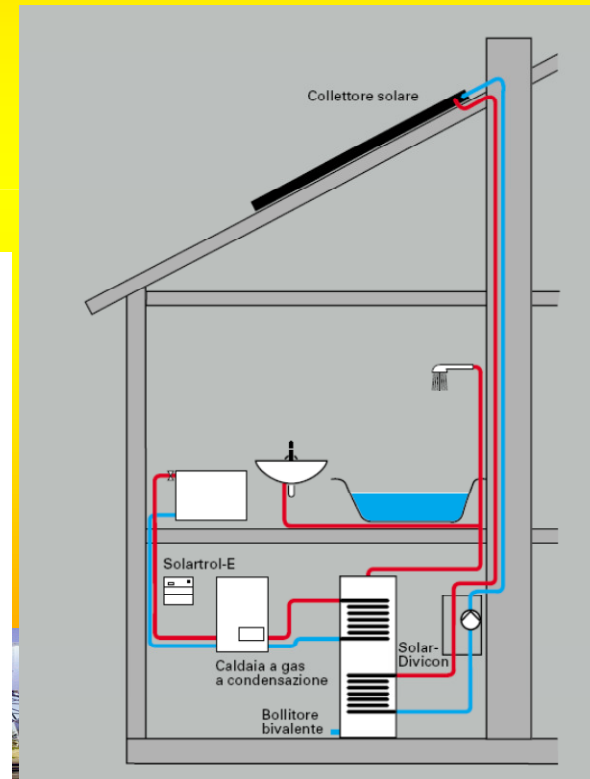
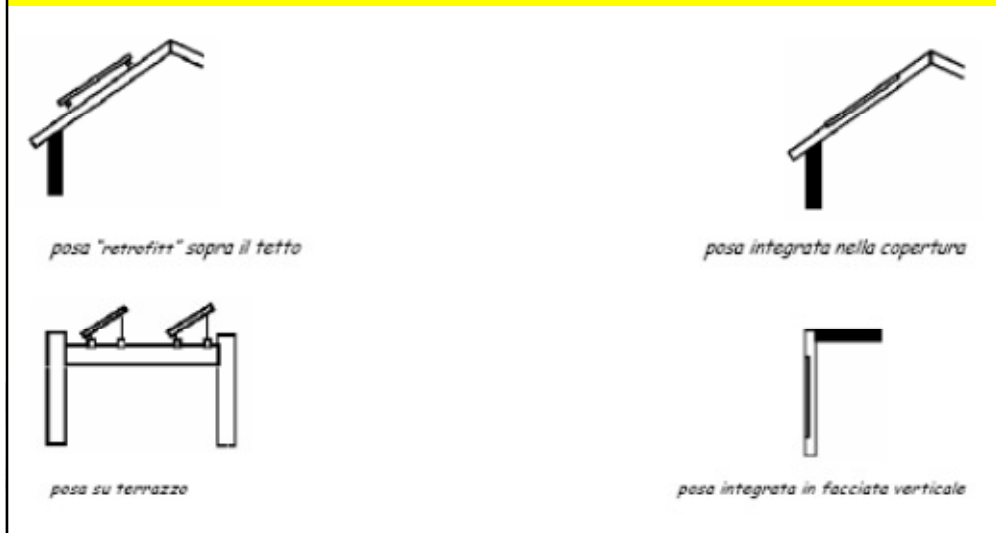
Materiali più adatti: materiali metallici come acciaio inossidabile e alluminio; materiali non metallici come la fibra di vetro, le resine epossidiche, le miscele di poliuretani.



Installazione dei collettori

I collettori possono essere montati:

- Su cavalletti di sostegno
- In sostituzione parziale o totale degli elementi di copertura



Installazione dei collettori

I collettori possono essere montati:

- Su cavalletti di sostegno
- In sostituzione parziale o totale degli elementi di copertura

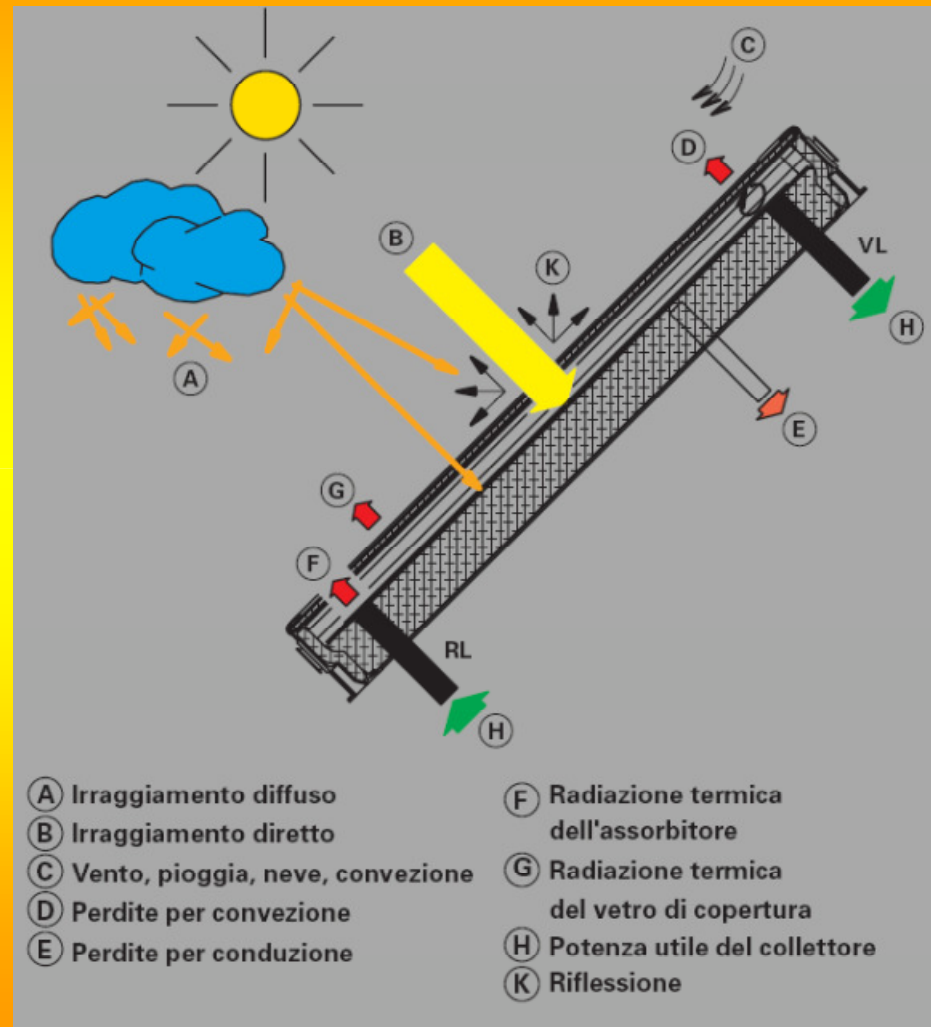
Attenzione alle ombre proiettate!

Orientamento: alle nostre latitudini, l'orientamento ottimale è SUD

Inclinazione: in condizioni di equinozio l'inclinazione ottimale è uguale alla latitudine della località, ma nel corso dell'anno tale inclinazione varia tra $\text{Lat}-15^\circ$ e $\text{Lat}+15^\circ$



Bilancio energetico



Energia captata e rendimento di un collettore

energia utile captata $q_u = F_R A_c [(\tau \alpha) I - U_L (t_m - t_a)]$

F_R = fattore di efficienza di scambio termico [-]; è il rapporto tra calore raccolto dal collettore su quello che potrebbe essere raccolto se la piastra fosse alla temperatura del fluido t_{fi} ;

A_c = superficie utile di captazione [m^2];

t_m = temperatura media del fluido nel collettore [$^{\circ}C$];

t_a = temperatura ambiente esterno [$^{\circ}C$];

U_L = coefficiente di dispersione termica globale del collettore [$W/(m^2 K)$];

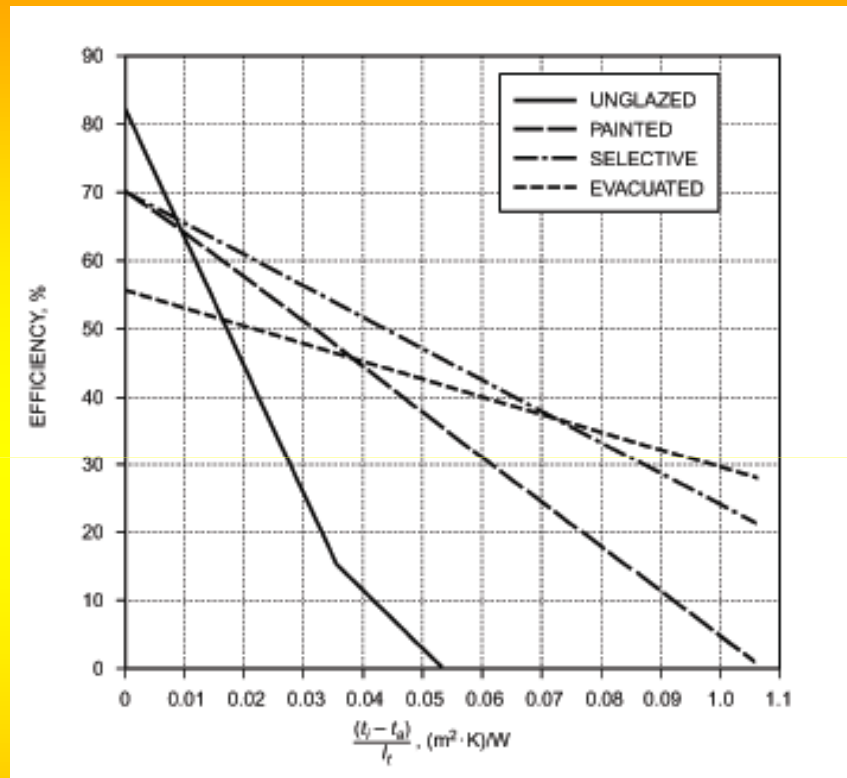
τ = coefficiente di trasmissione copertura [-];

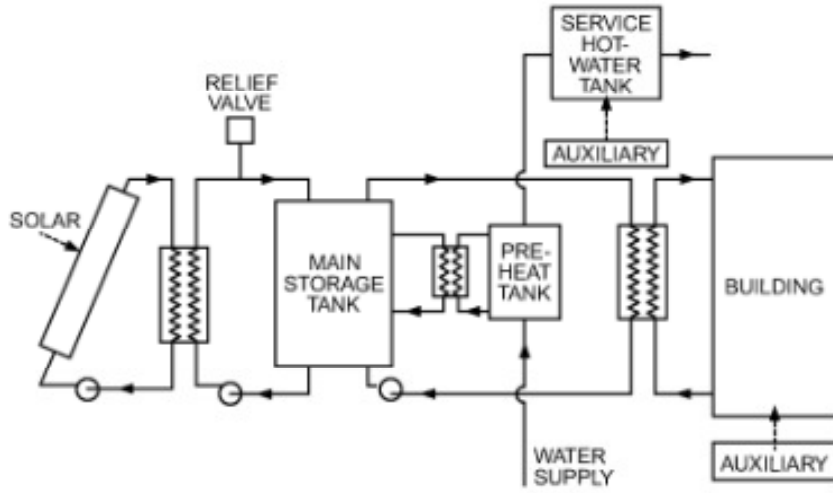
α = coefficiente di assorbimento piastra [-];

I = irradiazione solare [W/m^2]

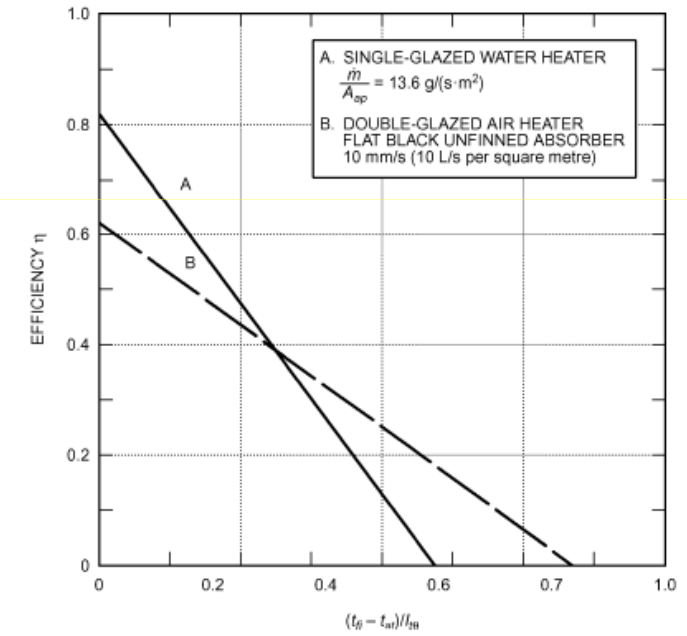
Rendimento del collettore: $\eta = q_u / (A_c I)$



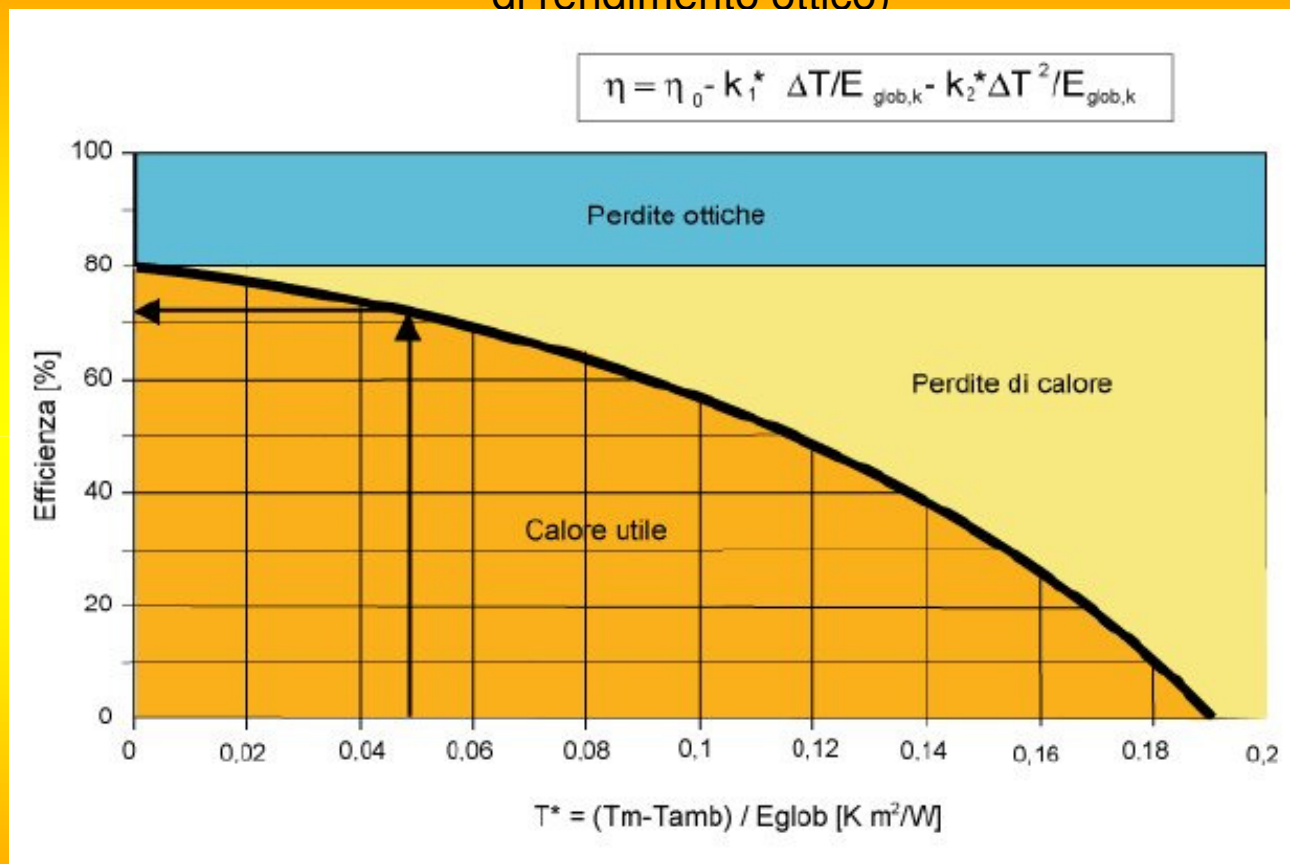




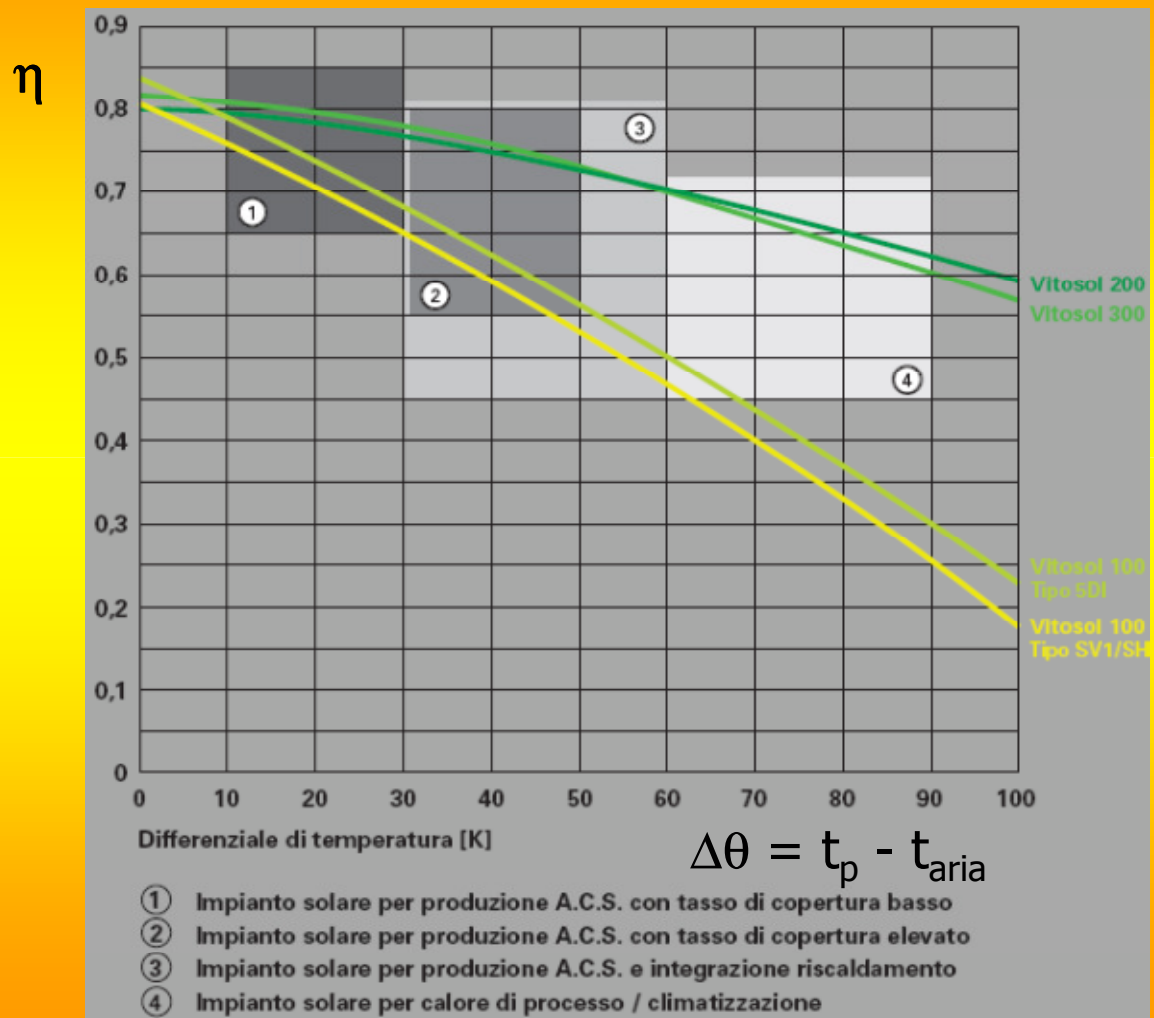
$$\eta = F_R (\tau \alpha)_\theta - F_R U_L \frac{(t_{fi} - t_a)}{I_{tot, \theta}}$$



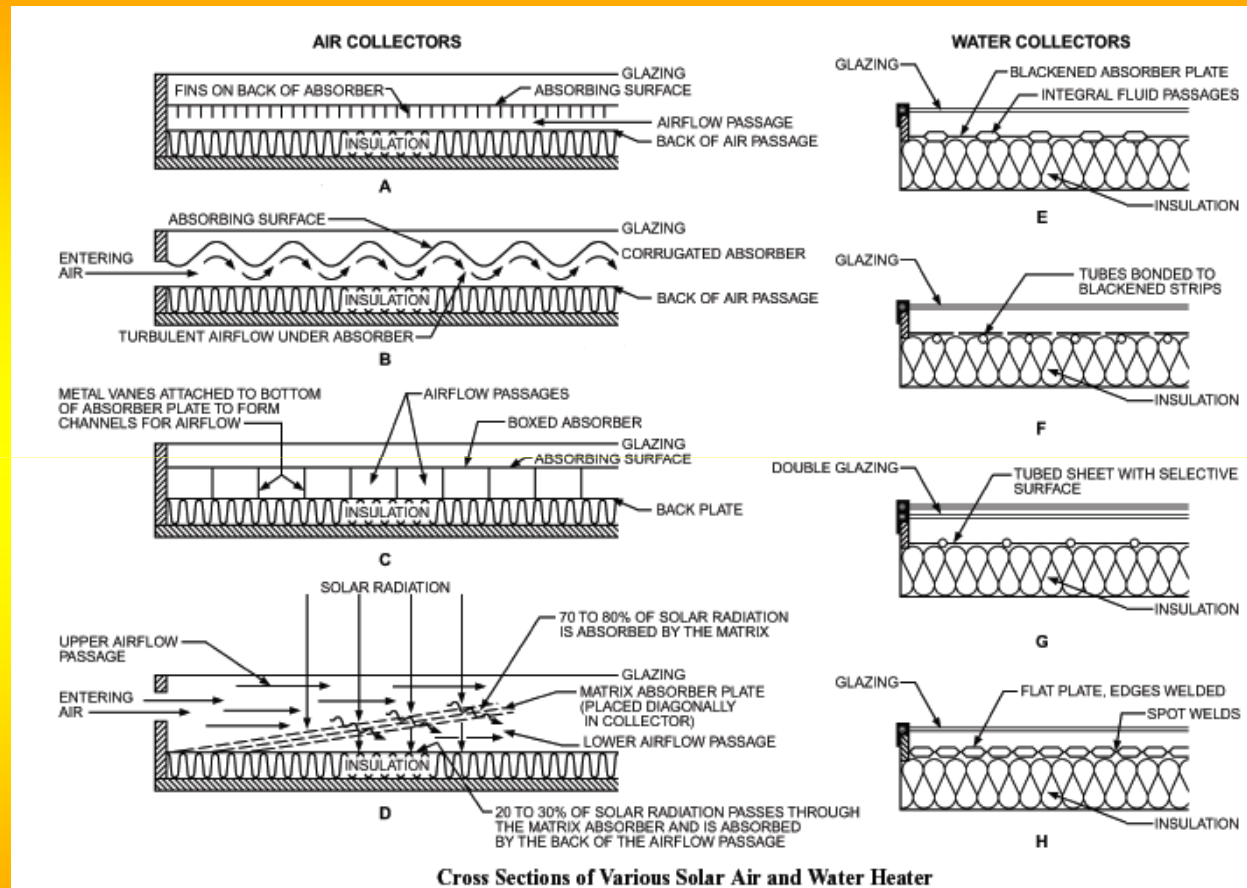
Curva di rendimento di un collettore solare (o grado di rendimento ottico)



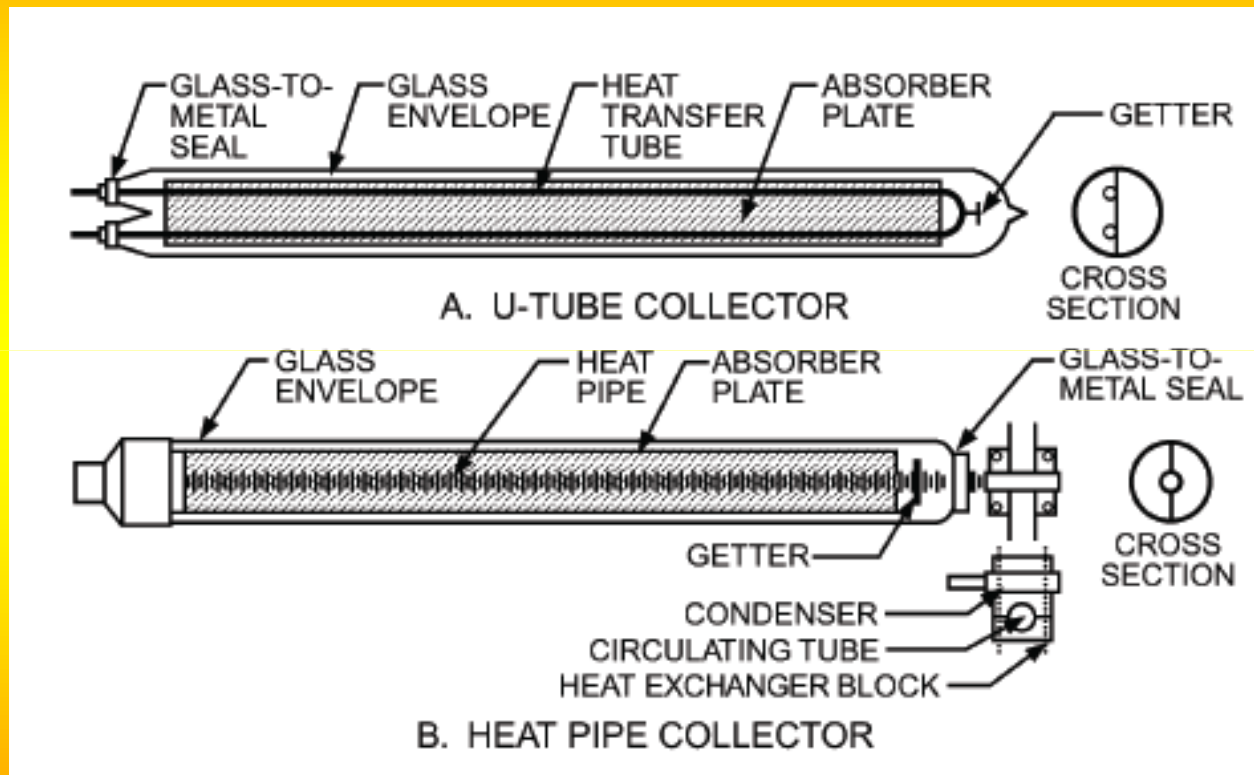
CURVA DI RENDIMENTO DI UN COLLETTORE SOLARE



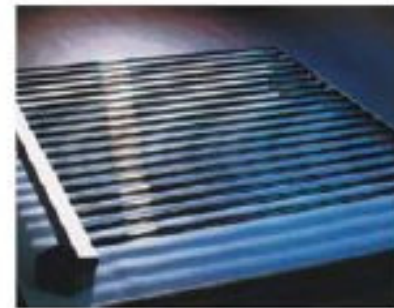
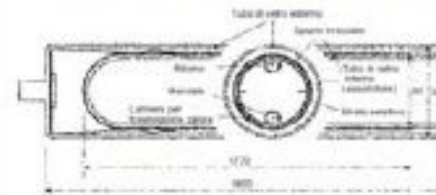
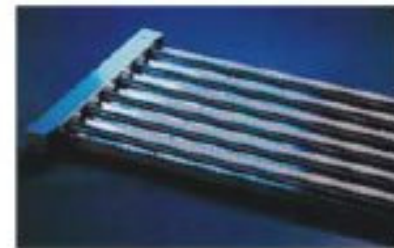
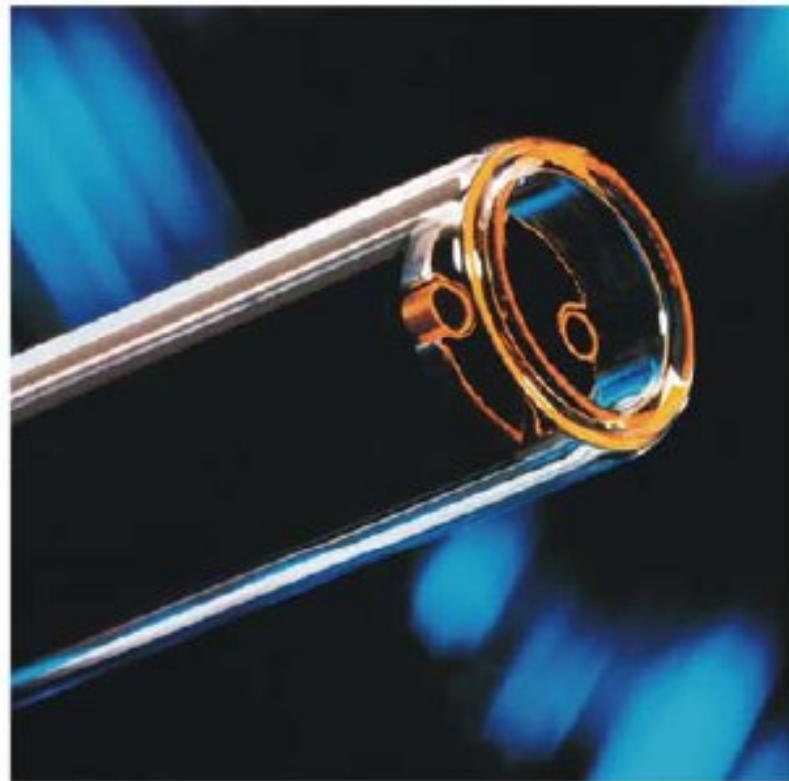
Collettori ad aria



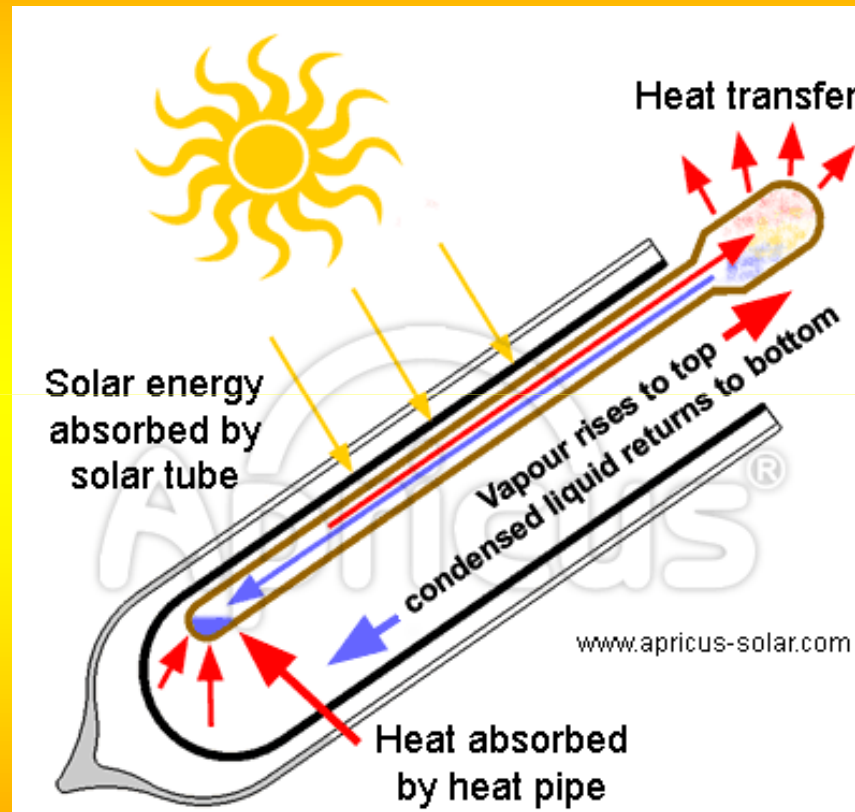
Collettori a tubi evacuati e heat-pipe



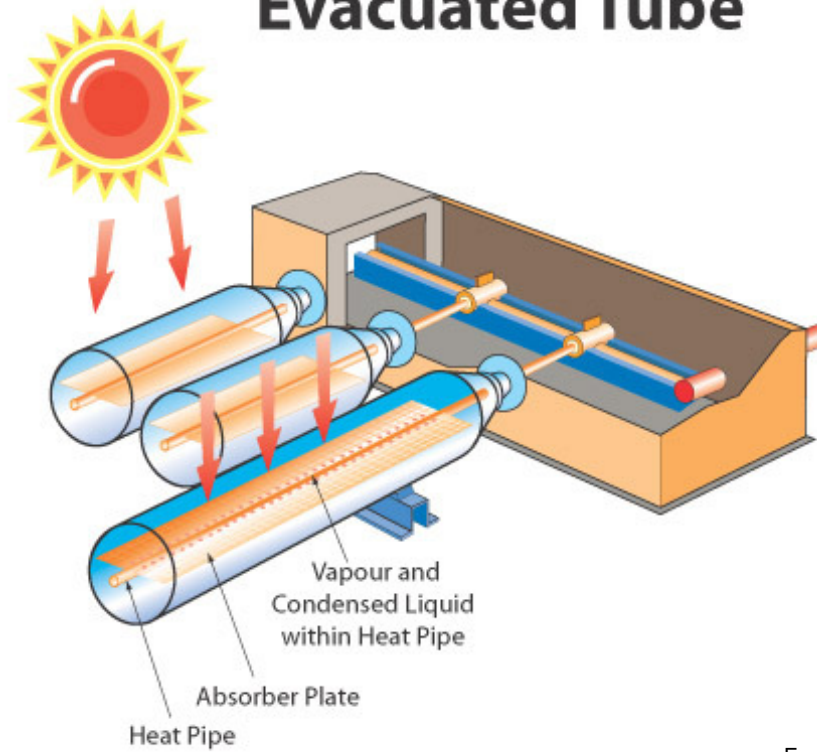
Collettori sottovuoto



Sistemi heat-pipe

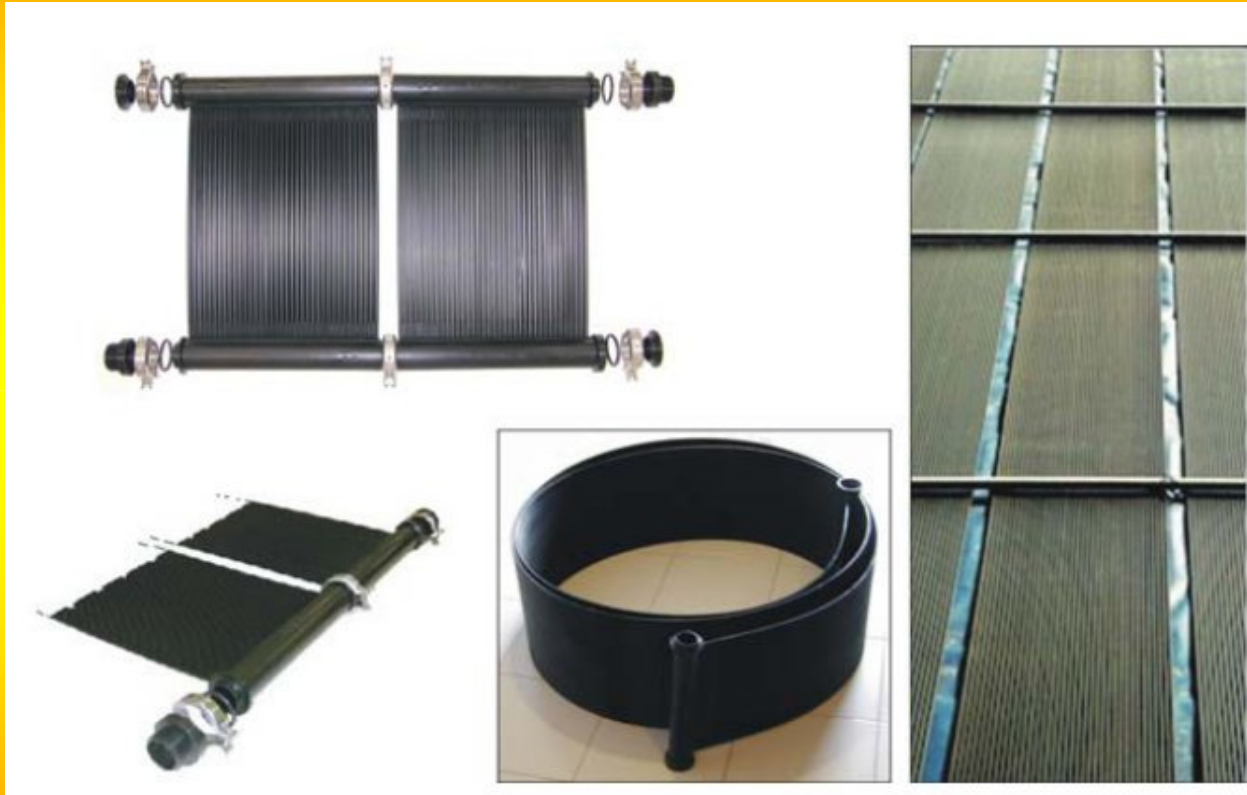


Evacuated Tube

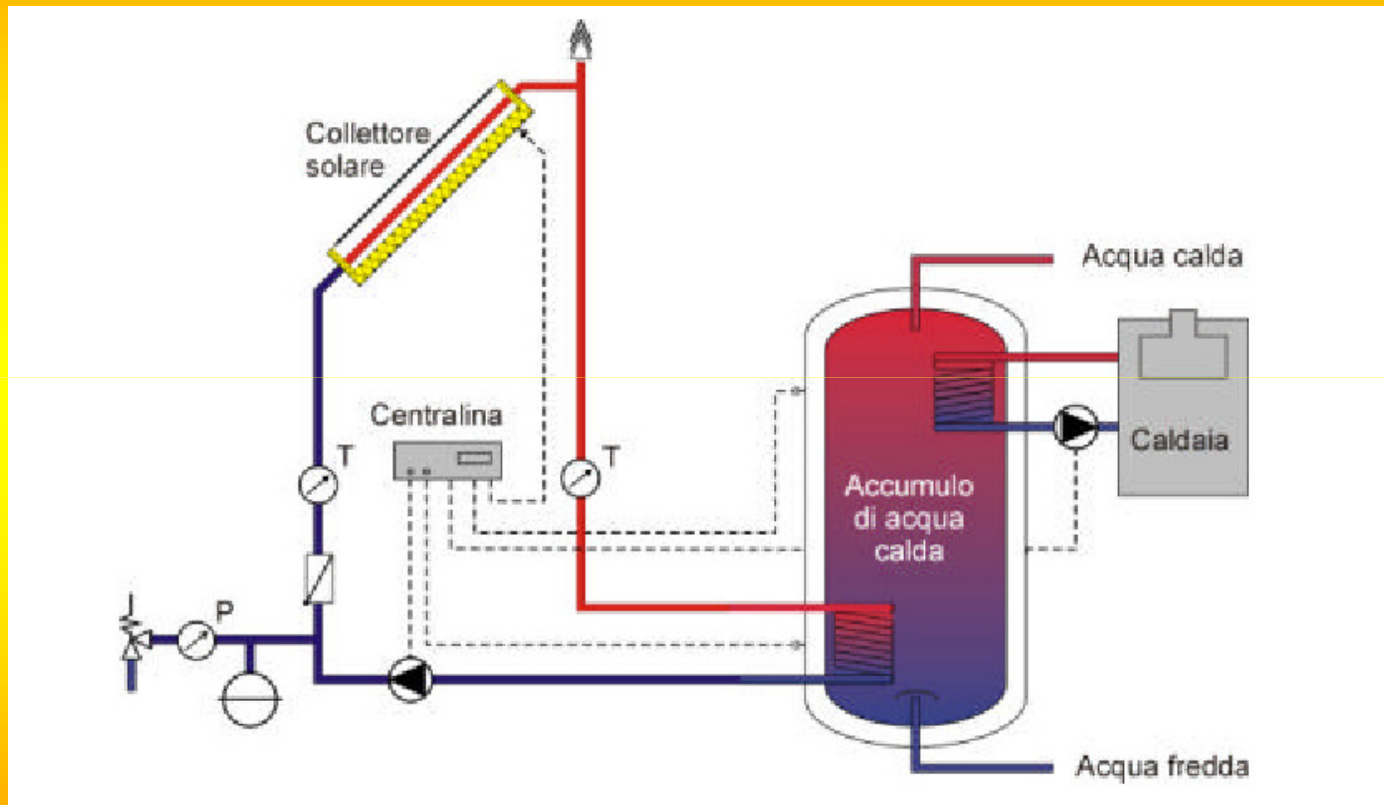


Fonte: RETScreen

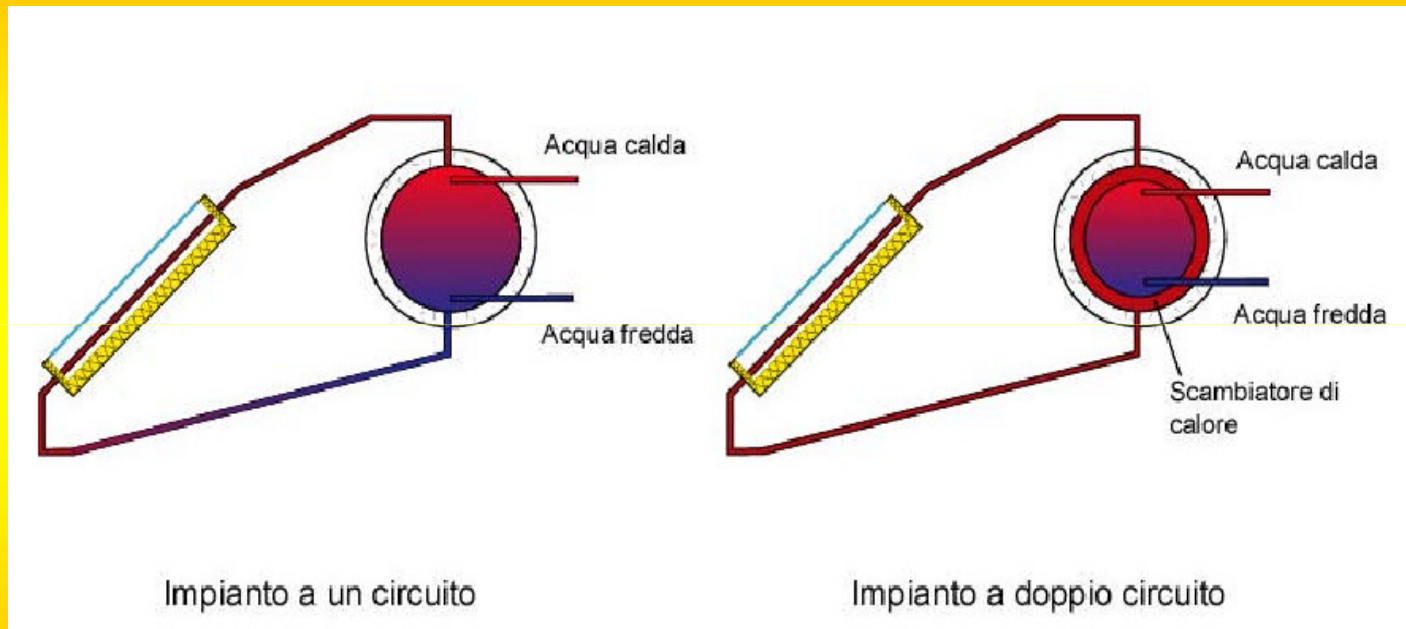
Collettore scoperto



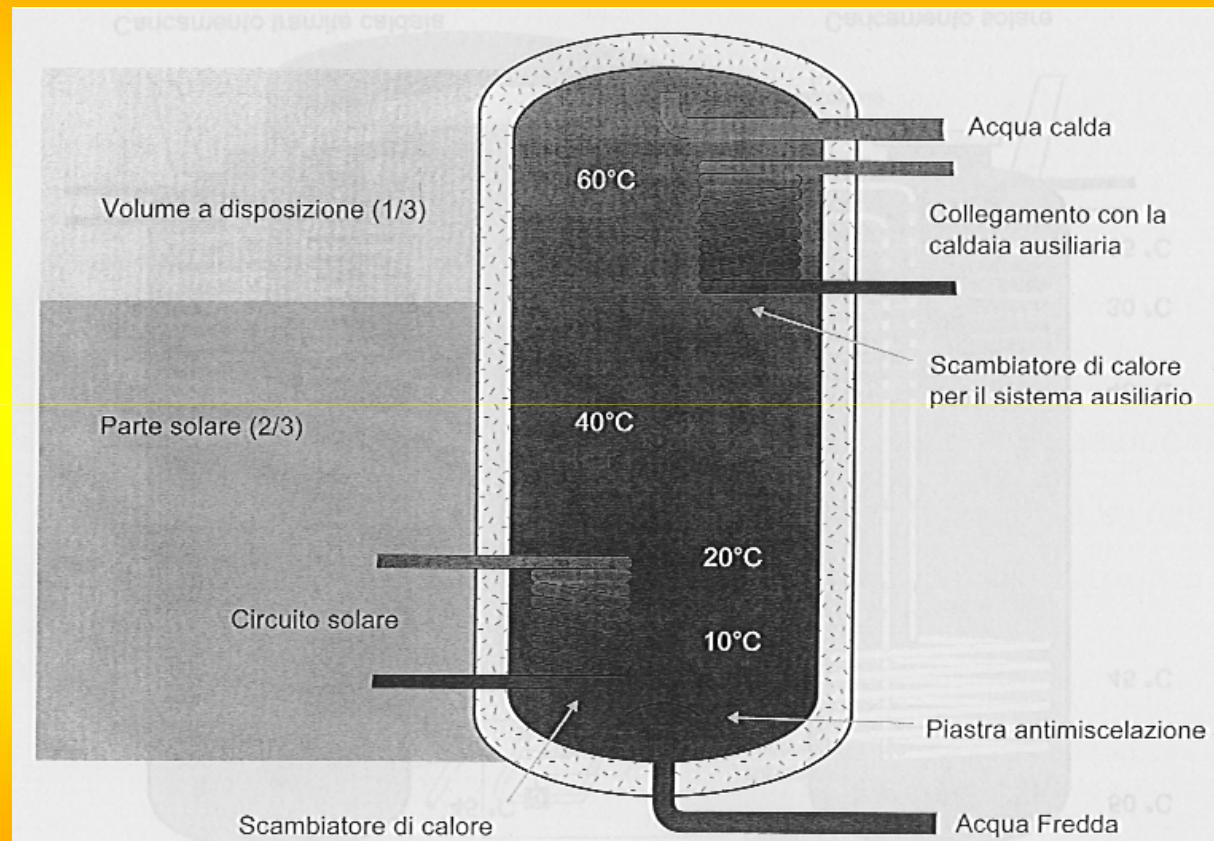
Schema di impianto (circolazione forzata)



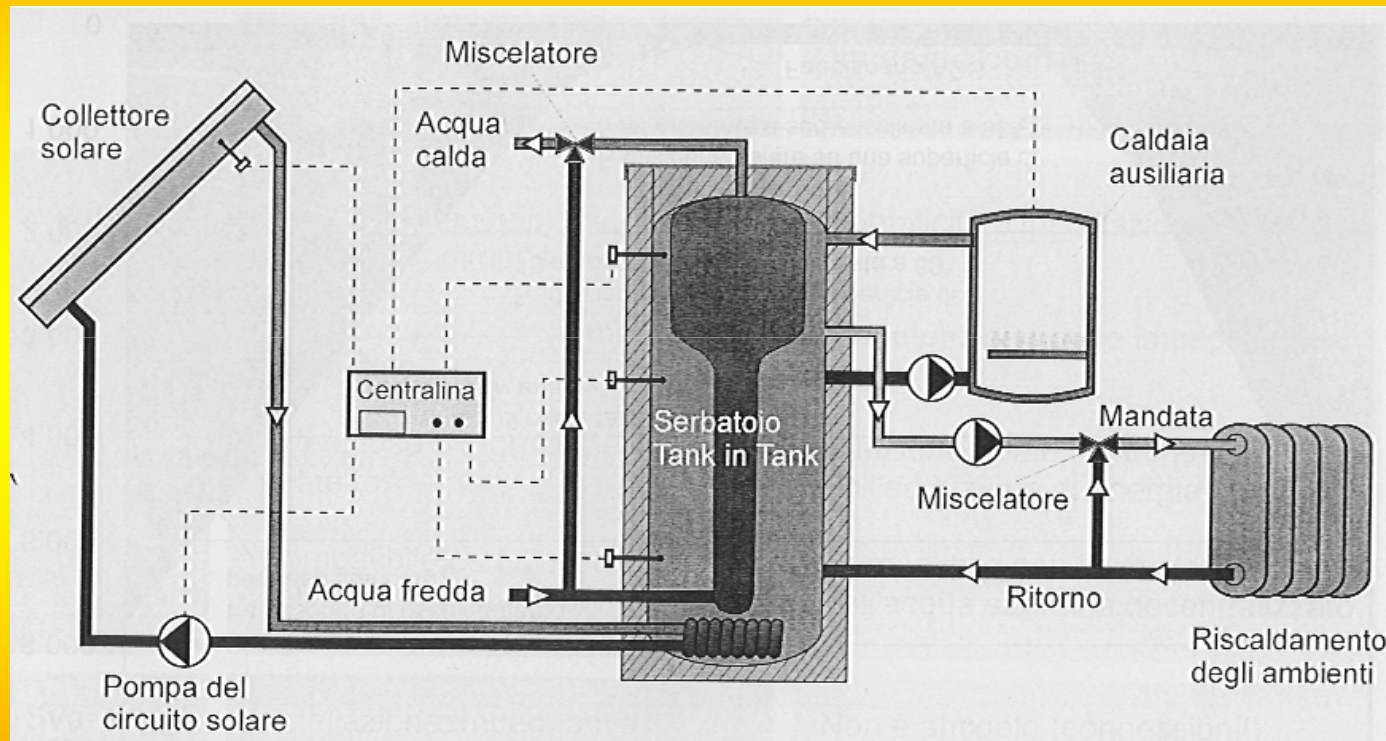
Schema di impianto (circolazione naturale)



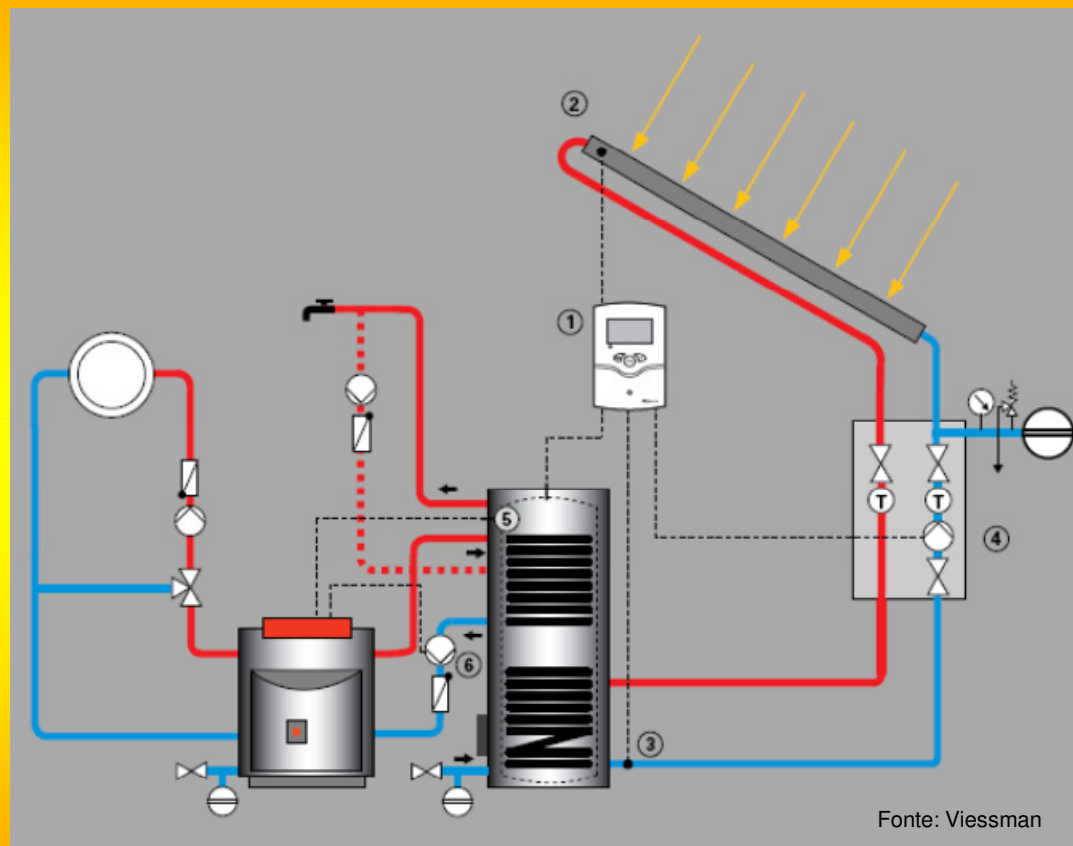
Serbatoio solare o accumulo



Impianto solare combinato per riscaldamento a.c.s. e ambiente



Produzione di acqua calda sanitaria



Collettori solari focalizzanti o concentratori

Il **collettore concentratore** è un captatore di energia solare fornito di dispositivi (riflettenti come superfici speculari, specchi, ecc., oppure rifrangenti come lenti) adatti a convogliare la radiazione solare incidente verso un **assorbitore** la cui area è più piccola dell'apertura del collettore.

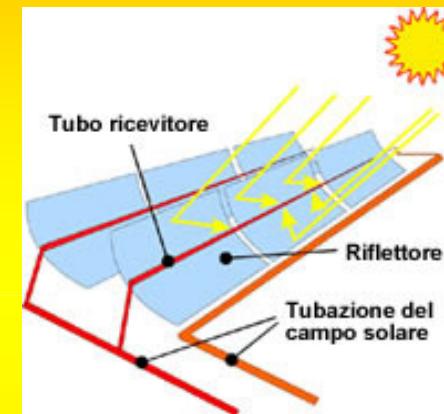
Normalmente il concentratore ha forma parabolica o cilindro-parabolica.

Con questi collettori si raggiungono temperature operative del fluido molto più elevate.



Collettori parabolici a concentrazione

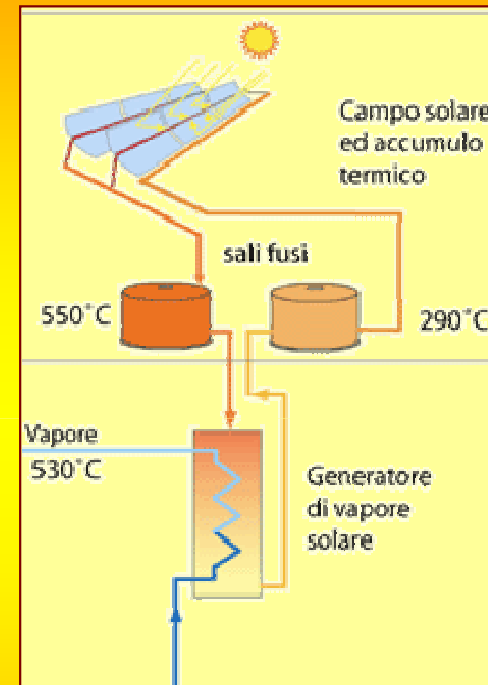
Il collettore parabolico a concentrazione è costituito da un riflettore di forma parabolica (comune specchio di vetro) che concentra i raggi solari su un tubo assorbitore (ricevitore) disposto sul fuoco della parabola. Un fluido portatore di calore, tipicamente olio minerale, pompato attraverso i tubi ricevitori, alimenta una stazione di potenza localizzata al centro del campo solare. Il calore così prodotto può essere trasformato in vapore allo scopo di far funzionare per esempio un gruppo turbo-generatore elettrico (impianti termoelettrici solari). La temperatura tipica di operazione è di 390 °C.



Impianti termoelettrici solari

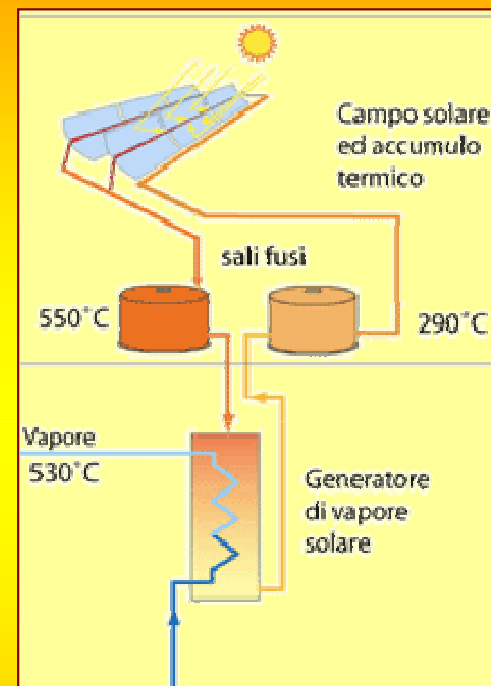


Su questo schema l'ENEA sta sviluppando il progetto Archimede.



Impianti termoelettrici solari

Nell'impianto ENEA gli specchi parabolici lineari concentrano la luce diretta del sole su un tubo ricevitore (dentro il quale scorre il fluido termovettore), che assorbe l'energia raggianti e la converte in calore ad alta temperatura. Il fluido riscaldato (a 550 °C) viene convogliato in un serbatoio "caldo", dove va a costituire l'accumulo di calore ad alta temperatura. Dal serbatoio "caldo", il fluido è inviato ad uno scambiatore dove cede una parte di calore con il quale viene generato vapore che alimenta un sistema convenzionale di produzione di energia elettrica. Il fluido conclude la sua corsa nel serbatoio "freddo", a 290 °C, da dove viene prelevato e re-immesso nel ciclo.



Collettori solari focalizzanti o concentratori



“globo solare” per usi domestici



“forno solare” per ceramica



Esempio di concentratore a parabola da 30 kW



Evoluzioni del solare termico

- Collettori sottovuoto a basso costo
- Collettori integrati negli edifici
- Nuovi materiali selettivi
- Tecnologia “low-flow”
- Integrazione con il fotovoltaico (PV/T)
- Solare termoelettrico
- Solare termodinamico



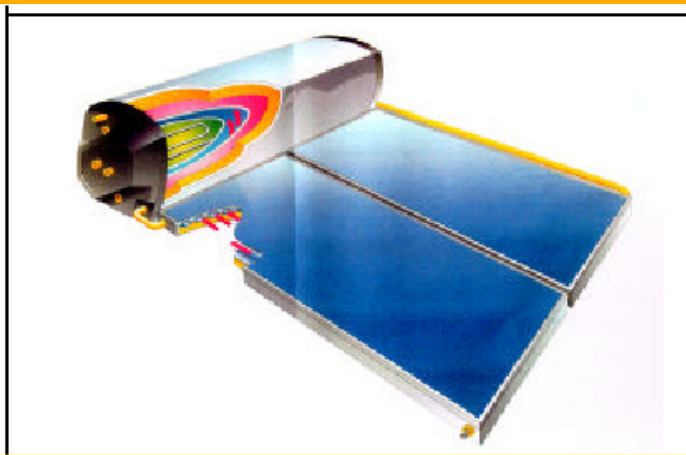
Riscaldamento solare in climi diversi

Per un impianto domestico di 6 m² di collettori vetrati, con una domanda di 300 L/day di acqua calda a 60°C e 300 L di accumulo, la frazione solare copre in media la seguente percentuale di carico:

21% in Tromsø, Norway (70°N)	81% in Matam, Senegal (16°N)
40% in Yellowknife, Canada (62°N)	59% in Puerto Limón, Costa Rica (10°N)
32% in Warsaw, Poland (52°N)	59% in Jakarta, Indonesia (6°S)
51% in Harbin, China (46°N)	86% in Huancayo, Peru (12°S)
67% in Sacramento, USA (39°N)	69% in Harare, Zimbabwe (18°S)
39% in Tokyo, Japan (36°N)	65% in Sydney, Australia (34°S)
78% in Marrakech, Morocco (32°N)	39% in Punta Arenas, Chile (53°S)
75% in Be'er-Sheva, Israel (31°N)	



DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DI UN IMPIANTO



Fonte: Solahart



Impianto a circolazione naturale per A.C.S. per 4 persone:

- 2-5 m² di collettori
- 200-300 l di accumulo
- 500 euro/m² costo impianto

Impianto a circolazione forzata per A.C.S. per 4 persone:

- 2-5 m² di collettori
- 200-300 l di accumulo
- 700 euro/m² costo impianto

Impianto a circolazione forzata per A.C.S. e riscaldamento (4 persone):

- 10 -20 m² di collettori
- 750-1500 l di accumulo
- 500 euro/m² costo impianto

Dimensionamento minimo per zona climatica

Zona climatica	Superficie minima del pannello (m ² /persona)	Volume minimo serbatoio (litri/persona)
Nord	1,00	60
Centro	0,75	55
Sud	0,55	50



	Impianti familiari	Impianti plurifamiliari	hotel
Superficie collettore piano (m ² /persona)	0,7 – 1,2	0,5 – 1,0	
Superficie coll. sottovuoto (m ² /persona)	0,5 – 0,8	0,4 – 0,7	
Superficie collettore piano (m ² /100 litri di a.c.s.)			0,5 – 1,0
Superficie coll.sottovuoto (m ² /100 litri di a.c.s.)			0,4 – 0,7
Volume accumulo (litri/ persona)	40 - 70	40 – 70	
Volume accumulo (litri/ 100 litri di a.c.s.)			50 - 80
Frazione di consumo di a.c.s. coperta	60 - 80	50 - 70	40 - 80



Impianti idrici

Fabbisogno giornaliero V_{acs} l/(persona giorno)

Utenza	Acqua calda 40°C
Residenziali $S < 50 \text{ m}^2$	3,0 l/(m ² giorno)
$50 < S < 120$	2,5 l/(m ² giorno)
$120 < S < 200$	2,0 l/(m ² giorno)
Albergo: stanza con vasca	120
Stanza con doccia	60

Fabbisogno energetico giornaliero:

$$Q_{acs} = V_{acs} \rho c_{p,acqua} \Delta\theta$$

In generale $\Delta\theta = 40 - 15 = 25 \text{ K}$

Definito il fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria Q_{acs} [kWh/giorno], la superficie captante dei collettori può essere definita a partire dalla frazione di copertura solare desiderata (FS) e in funzione della radiazione solare annuale I_{in} incidente sui collettori e dell'efficienza media (ES) del sistema solare.

$$A_{\text{collettori}} = \frac{365 \cdot Q_{acs} \cdot FS}{ES \cdot I_{in}}$$

Ad esempio:

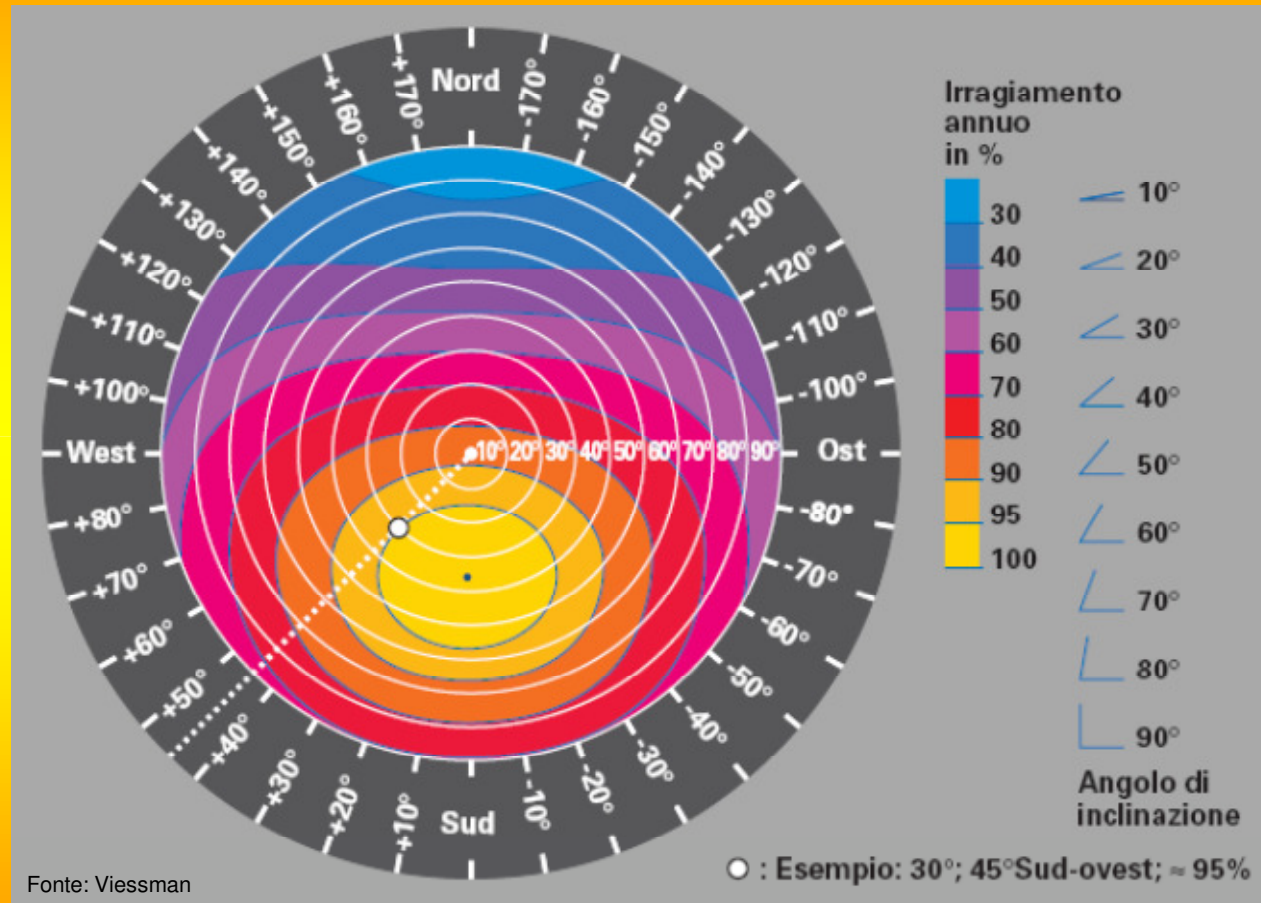
posto $FS = 0,5$, per un appartamento di 100 m^2 si ha una richiesta di 250 l/giorno , si ha:

$$Q_{acs} = 7,3 \text{ kWh/ giorno}$$

Nel caso di Venezia $I_{in} = 1300 \text{ kWh / (m}^2 \text{ anno)}$ circa, ipotizzando per l'efficienza media un valore $ES = 0,4$, si ricava

$$A_{\text{collettori}} = 2,6 \text{ m}^2$$

Variazioni rispetto all'orientazione Sud e all'inclinazione ottimale



Analisi dell'impatto energetico-ambientale sul ciclo di vita (impianto a circolazione forzata)

- L'energia utile prodotta dall'impianto solare deve essere maggiore di quella consumata per la produzione e l'esercizio dell'impianto, affinché sia effettivamente una "Fonte Rinnovabile" di Energia
- L'energia erogata è funzione della zona climatica
- I risparmi annui di energia e di emissioni di CO₂ dipendono dalla fonte di energia sostituita

		NORD	CENTRO	SUD
Tempo di recupero dell'energia primaria				
Elettricità	Anni	0,6	0,5	0,4
Gasolio	Anni	1,0	1,2	1,4
Metano	Anni	1,8	1,4	1,2
Tempo di recupero delle emissioni di CO₂				
Elettricità	Anni	1,1	0,9	0,7
Gasolio	Anni	2,6	1,9	1,5
Metano	Anni	4,3	3,0	2,5

REQUISITI DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI (DPR 59/09 art.4 commi 22-23)

OBBLIGO DI FONTI RINNOVABILI PER
COPRIRE ALMENO IL 50% DEL FABBISOGNO
ANNUO DI ACS

PER TUTTI GLI EDIFICI PUBBLICI E PRIVATI
NUOVI E PER IMPIANTI TERMICI NUOVI O
RISTRUTTURATI



ULTERIORI REQUISITI DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI (DPR 59/09 art.4 commi 22-23)

OBBLIGO DI IMPIANTI FOTOVOLTAICI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA PER TUTTI GLI EDIFICI NUOVI E RISTRUTTURATI INTEGRALMENTE



