

Collettori solari

Nel documento "Energia solare" abbiamo esposto quegli aspetti della radiazione solare che riguardano l'energia solare e la sua intensità. In questo documento saranno trattati gli aspetti termodinamici e tecnici dei collettori solari che trasformano l'energia solare in calore utile. I collettori solari più semplici e più diffusi sono quelli a piastra che servono a produrre acqua calda sanitaria.

1. Elementi di un collettore a piastra

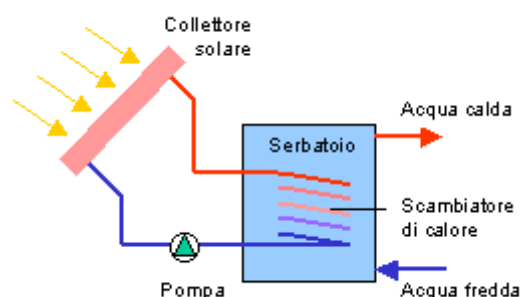


Figura 1 - Schema di un collettore solare

temperature vanno sotto lo zero.

Un collettore a piastra è composto di una cassa termicamente ben isolata, un vetro protettivo, l'assorbitore e un serbatoio in cui si trova l'acqua da riscaldare mediante uno scambiatore di calore (figura 1). L'elemento più importante è l'assorbitore che capta i raggi solari. Si tratta di una lastra metallica sulla quale sono saldate (o inserite) delle serpentine di tubi. Nei tubi dell'assorbitore circola il termovettore, uno speciale liquido che non si gela facilmente quando le

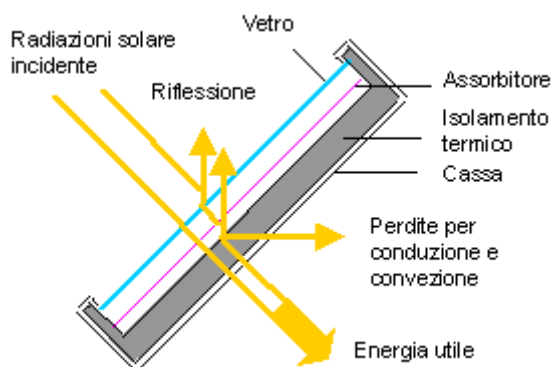


Figura 2 - Elementi di un collettore

Gli elementi:

- Vetro di copertura
- Cassa
- Assorbitore con canali per il termovettore
- Isolamento termico
- Serbatoio per l'acqua calda



Figura 3 - Sezione di un collettore

Funzionamento del collettore

La temperatura iniziale dell'assorbitore è normalmente quella dell'ambiente circostante. Esposto al sole, l'assorbitore si riscalda, e anche il fluido nei tubi si riscalda. Raggiunta una determinata temperatura, il fluido comincia a circolare nelle serpentine: dal basso sale alla cima del collettore e arriva al serbatoio dove uno scambiatore trasferisce il calore all'acqua che si vuole riscaldare. Cedendo il calore all'acqua, il fluido si raffredda e torna nella parte bassa del collettore. Poi il processo ricomincia da capo (figura 4).

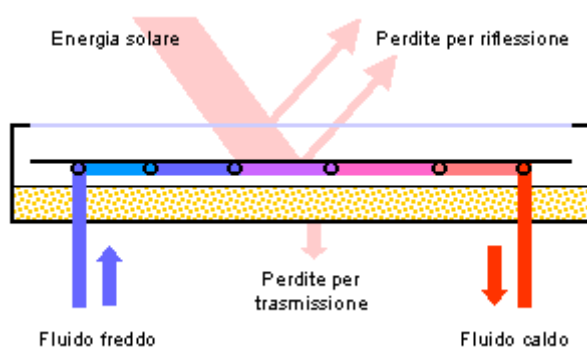


Figura 5 – Flussi termici in un collettore

Processi energetici:

- Apporti energetici solari [W/m^2]
- Perdite del collettore per riflessione
- Perdite del collettore per trasmissione
- Flusso dell'energia utile

Isolamento termico

L'isolamento termico della cassa è necessario per ridurre le perdite di calore per trasmissione. I normali materiali termoisolanti hanno una struttura alveolare, sono quindi leggeri perché costituiti prevalentemente d'aria;. Le piccole camere d'aria del materiale frenano la trasmissione del calore, perché la trasmittanza termica dell'aria è minore rispetto a quella dei corpi solidi.

Assorbitori

La capacità di assorbire calore è una caratteristica specifica dei materiali, come lo è anche la capacità di emettere calore. Tutti i corpi caldi emettono calore (radiazione infrarossa) in maniera differente secondo le caratteristiche del materiale di cui sono fatti e della loro superficie. La proprietà di emettere calore si chiama "emissività" ed è indicata dal "coefficiente d'irraggiamento".

Assorbitore "normale"

Un assorbitore può essere una semplice lastra metallica (rame) dipinta di nero. L'emissività di una lastra di questo genere è più o meno la stessa per tutte le lunghezze d'onda della radiazione (per esempio 0,95) e perciò l'irradiazione di calore è ostacolata solo dal vetro di copertura. Il vetro assorbe la radiazione, si riscalda e cede il calore all'ambiente esterno. Questo calore ceduto all'ambiente costituisce una delle perdite del collettore.

Assorbitore selettivo

Il comportamento di un assorbitore selettivo è completamente diverso da quello di un assorbitore normale. La sua emissione di radiazione infrarossa è molto inferiore (meno del 10% rispetto a quella di un normale assorbitore). Un assorbitore selettivo emette (irradia) quindi una quantità minore di calore (radiazione infrarossa) all'ambiente circostante rispetto a quello nero. L'effetto è ottenuto dallo speciale rivestimento detto "selettivo", che può consistere, per esempio, in una combinazione chimica di titanio e ossido d'azoto.

2. Apporti e perdite d'energia

Gli apporti d'energia solare (luce), misurati in W/m^2 , dipendono dalle condizioni meteorologiche (nuvole, nebbia) e variano nel corso del giorno perché varia la posizione del sole e, con essa, anche l'angolo d'incidenza. In Italia, in una bella giornata, la radiazione solare può raggiungere un'intensità di $900\text{-}1100 \text{ W}/\text{m}^2$.

Non tutta l'energia solare che incide sul collettore è trasformata in energia utile. Una parte è riflessa dal vetro di copertura (perdite ottiche) e un'altra irradiata dall'assorbitore stesso. Vi sono inoltre perdite per trasmissione e per convezione che avvengono attraverso la cassa.

La quantità d'energia solare che raggiunge l'assorbitore dipende dalla trasmittanza τ del vetro di copertura che è la percentuale dell'energia solare incidente trasmessa dal vetro. Per esempio, la trasmittanza τ di una lastra di vetro dello spessore di 4 mm è del 90% (o 0,9).

La quantità d'energia assorbita dall'assorbitore dipende dal coefficiente di assorbimento α , una grandezza specifica del materiale. Il suo valore è sempre inferiore ad 1,0, per esempio 0,9.

La quantità d'energia assorbita dall'assorbitore Q_{ass} è quindi:

$$Q_{\text{ass}} = E_g \cdot \tau \cdot \alpha$$

dove:

E_g è l'intensità della radiazione solare [W/m^2]
 τ è la trasmittanza (coefficiente di trasmissione) del vetro
 α è il coefficiente di assorbimento

L'energia non assorbita è: $E_g \cdot (1 - \tau \cdot \alpha)$ [W/m^2]

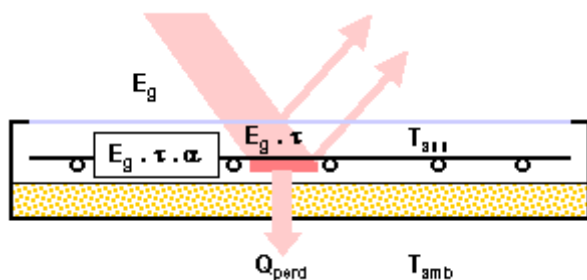


Figura 4 - Grandezze dei flussi termici

Grandezze:

- E_g = apporti solari [W/m^2]
- τ = Coefficiente di trasmissione del vetro
- α = coefficiente di assorbimento
- Q_{perd} = Perdite per trasmissione [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
- T_{ass} = Temperatura dell'assorbitore [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{amb} = Temperatura dell'ambiente [$^{\circ}\text{C}$]

Le perdite per trasmissione dipendono dalla costruzione della cassa, in particolare dal suo isolamento termico e dalla differenza tra la temperatura dell'assorbitore e la temperatura dell'ambiente in cui si trova il collettore. Più è grande la differenza, più elevate sono le perdite. Le perdite per trasmissione sono espresse tramite il coefficiente di trasmissione termica U , misurato in $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$. Il coefficiente indica la quantità d'energia trasmessa da un metro quadrato di un corpo quando la differenza di temperatura (ΔT) è di 1 K (Kelvin). Il coefficiente di un collettore solare deve essere stabilito in prove di laboratorio ed è indicato con U_{eff}

(trasmissione effettiva). In modo molto semplificato, le perdite per trasmissione si presentano come segue:

$$Q_{\text{perd}} = U_{\text{eff}} \cdot (T_{\text{ass}} - T_{\text{amb}})$$

dove:

Q_{perd} sono le perdite del collettore per trasmissione [W/m^2]
 U_{eff} è il coefficiente di trasmissione termica del collettore
 T_{ass} è la temperatura dell'assorbitore
 T_{amb} è la temperatura dell'ambiente circostante

3. Rendimento del collettore

Il rendimento di un collettore, indicato dalla lettera greca η (eta) ed espresso in %, è il rapporto tra l'energia utile (Q_{coll}) che riscalda l'acqua e l'energia solare incidente (E_g). L'energia utile guadagnata dipende dalle caratteristiche del collettore (τ, α), dalle temperature d'esercizio ($T_{\text{ass}} = T_{\text{fluid}}$) e da fattori meteorologici (T_{amb}, E_g).

$$\eta = (Q_{\text{coll}} / E_g) = \tau \cdot \alpha - U_{\text{eff}} ((T_{\text{ass}} - T_{\text{amb}}) / E_g)$$

Il rendimento di un collettore è illustrato dalle figure 4 e 5 dalla linea rossa. La rappresentazione è molto semplificata, perché si basa sull'ipotesi di una proporzionalità lineare tra perdite e temperatura dell'assorbitore. La "costante di proporzionalità" corrisponde al coefficiente di trasmissione che dipende dalle proprietà termiche del collettore.

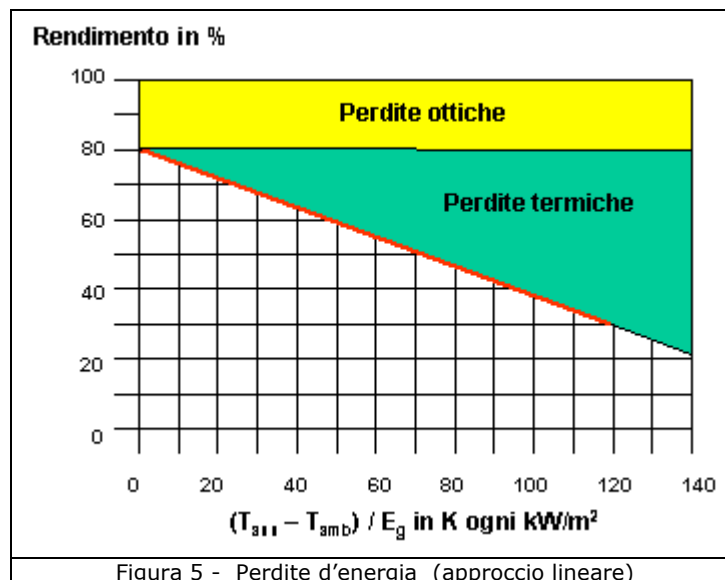
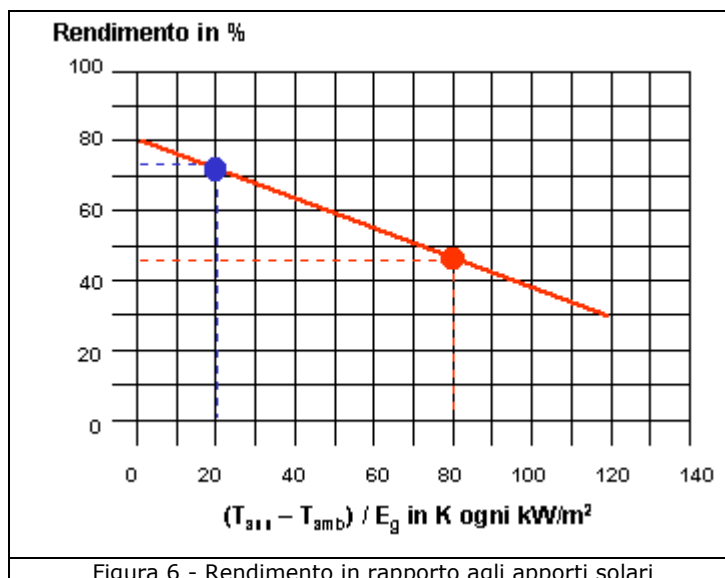


Figura 5 - Perdite d'energia (approccio lineare)

La figura 5 mostra le "perdite ottiche" (campi gialli) e le perdite di calore per trasmissione che aumentano in rapporto all'aumento della temperatura d'esercizio.

I valori della differenza di temperatura ($\Delta T = T_{\text{ass}} - T_{\text{amb}} / E_g$) riportati sull'asse "x" (ordinata) dei diagrammi (figure 4 e 5) sono indicati in K per ogni kW/m^2 e non, come normalmente si usa, in K per ogni W/m^2 .



4. Bilancio energetico e rendimento di un collettore

La seguente tabella 1 mostra l'esempio di un bilancio energetico, riporta inoltre la formula generale per il calcolo del rendimento (%) del collettore.

Tabella 1 - Calcolo del rendimento del collettore						
$U_{\text{eff}} = 4,3 \text{ W/m}^2\text{K}$			$\tau = 0,9$	$\alpha = 0,9$	$\Delta T = T_{\text{abs}} - T_{\text{amb}}$	
$U_{\text{eff}} = 4,3/1000 \text{ [kW/m}^2\text{K]}$				Nel diagramma della figura 5 è stata usata la misura $\Delta T/E_g$ in K ogni kW/m^2 . Pertanto nel calcolo delle perdite deve essere usato il coefficiente di trasmissione U in $\text{kW/m}^2\text{K}$		
T_{amb}	T_{ass}	E_g	$\tau \cdot \alpha$	$\Delta T/E_g$	$\Delta T/E_g \cdot U_{\text{eff}}$	η
°C	°C	kW/m^2				%
15	15	1,0	0,81	0	0	81,0
15	35	1,0	0,81	20	$20 \cdot 0,043 = 0,086$	72,4
15	65	1,0	0,81	50	$50 \cdot 0,043 = 0,215$	59,5
15	95	1,0	0,81	80	$80 \cdot 0,043 = 0,344$	46,6
15	135	1,0	0,81	110	$110 \cdot 0,043 = 0,516$	29,4
$\eta = \tau \cdot \alpha - U_{\text{eff}} \cdot ((T_{\text{ass}} - T_{\text{amb}}) / E_g)$						

5. Temperatura d'arresto

Nel collettore si stabilisce un equilibrio tra apporti d'energia e perdite di calore. Ad una determinata temperatura (temperatura d'arresto o di stagnazione), il flusso energetico nel collettore si arresta. La temperatura d'arresto è tanto maggiore quanto maggiore è l'intensità dell'irradiazione. Una bassa temperatura d'arresto può significare che l'assorbitore cede, già a basse temperature, un'elevata quantità di calore all'ambiente (insufficiente isolamento termico), oppure che gli apporti solari sono troppo bassi.

Quando l'energia utile non viene prelevata, il collettore solare si riscalda fino al punto in cui le perdite di calore (Q_{perd}) raggiungono il livello dell'energia solare

assorbita ($E_g \cdot \tau \cdot \alpha$). In questo caso il rendimento è η diventa zero (0) e si parla di "temperatura di stagnazione" (T_{stag}). La temperatura di stagnazione aumenta con l'aumento degli apporti solari e dipende dai valori di τ e α .

$$T_{stag} = T_{amb} + (E_g \cdot \tau \cdot \alpha) / U_{eff}$$

Appena il collettore assume radiazione solare, la sua temperatura d'arresto sale a valori sopra la temperatura dell'ambiente circostante. La temperatura di stagnazione viene raggiunta non solo quando l'intensità degli apporti è massima, ma anche in altre condizioni.

Tabella 2 - Calcolo della temperatura d'arresto				
$U_{eff} = 4,3$	$\tau = 0,9$	$\alpha = 0,9$		
T_{amb}	E_g	$\tau \cdot \alpha \cdot E_g$	$(\tau \cdot \alpha \cdot E_g) / U_{eff}$	$T_{stag} = T_{amb} + (\tau \cdot \alpha \cdot E_g) / U_{eff}$
°C	kW/m ²		K	°C
15	50	40,5	9,4	24,4
15	100	81,0	19,0	33,8
15	150	121,5	28,3	43,3
15	300	243,0	57,0	71,5
15	600	486,0	113,0	128,0
15	900	729,0	169,5	184,5
$T_{stag} = T_{amb} + (\tau \cdot \alpha \cdot E_g) / U_{eff}$				

Nota importante

L'uso della formula lineare utilizzata finora ha dei limiti. Usando in questa formula i valori U_{eff} dei moderni collettori, per esempio quelli dei collettori a tubi sotto vuoto, risultano per $T_{stag} = T_{max}$ valori altissimi e totalmente irrealistici. Questo risultato si spiega con il fatto che, ad alte temperature d'esercizio, le perdite per irradiazione non aumentano più linearmente. Quando la temperatura dell'assorbitore raddoppia, le perdite risultano essere molto più grandi.

6. Riscaldamento dell'acqua nel serbatoio

Punto di partenza del calcolo è la potenza del collettore Q_{coll} . Trascurando le perdite di calore che avvengono nei tubi che collegano l'assorbitore con il serbatoio e quelle del serbatoio stesso, la temperatura dell'acqua nel serbatoio può essere calcolata secondo la seguente formula:

$$Q_{coll} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{iniz} - T_{fine})$$

Dove

- V è il volume d'acqua nel serbatoio
- ρ e la densità dell'acqua (kg/litro = 1,0)
- C_p è il calore specifico dell'acqua (= 1,163 Wh/(kg K))
- T_{iniz} e la temperatura iniziale dell'acqua

T_{fine} è la temperatura finale dell'acqua

La differenza tra T_{iniz} e T_{fine} ($= \Delta T_{acqua}$) è quindi:

$$\Delta T_{acqua} = \Delta t \cdot Q_{coll} / V \cdot \rho \cdot C_p$$

dove Δt è la durata del riscaldamento.

Per una potenza del collettore di 635 W, un volume d'acqua di 60 litri e una durata di riscaldamento di 2,5 ore si ha quindi:

$$\Delta T_{acqua} = 2,5 \cdot 635 / 60 \cdot 1 \cdot 1,163 = 22,8 \text{ K}$$

7. Grandezze e formule

U_{eff} = coefficiente di trasmissione [$W/m^2 \text{ K}$]

τ = coefficiente di trasmissione dell'assorbitore

α = coefficiente d'assorbimento dell'assorbitore

η = rendimento dell'assorbitore

$$\eta = (Q_{coll} / E_g) = \tau \alpha - k_{eff} \cdot ((T_{ass} - T_{amb}) / E_g)$$

T_{ass} = Temperatura dell'assorbitore [$^{\circ}C$]

T_{amb} = Temperatura dell'ambiente [$^{\circ}C$]

Q_{coll} = Quantità d'energia assorbita dal collettore [kW]

$$Q_{coll} = E_g \cdot \tau \alpha - U_{eff} (T_{ass} - T_{amb})$$

Q_{perd} = Quantità di calore persa dal collettore [W/m^2]

$$Q_{coll} = U_{eff} (T_{ass} - T_{amb})$$

$\Delta T = (T_{ass} - T_{amb})$ = Differenza di temperatura (K)

MiniWatt.it

MiniWatt.it è un servizio d'informazione sull'efficienza energetica, il risparmio energetico, edifici a basso consumo energetico ed edifici passivi.

www.miniwatt.it

Redazione:

Via Spinosa, 4/C - 46047 Porto Mantovano (MN)

tel.: 0376 39 07 22 - fax: 0376 39 07 22

e-mail: info@assa-cee.org

www.assa-cee.org