CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI

FONDAZIONE CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Impianti fotovoltaici e solari termici di piccola taglia nei sistemi edilizi

WEBINAR (MODALITÀ ON LINE) - MARTEDÌ 11 MAGGIO 2021, ORE 15.00 – 18.15

Prof. Antonio D'Angola
Docente di Energetica
Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata
antonio.dangola@unibas.it

SOMMARIO

IMPIANTI SOLARI TERMICI DI PICCOLA TAGLIA

- Introduzione

- Concetti preliminari di radiazione solare

- Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

- Cenni sugli schemi di principio degli impianti solari termici per ACS ed integrazione con riscaldamento. Presentazione di alcuni casi tipici

- Cenni ai criteri generali di dimensionamento: prestazioni energetiche e interpretazione dei dati tecnici dei collettori solari; calcolo del fabbisogno termico e della frazione solare (metodo f-chart UNI 11300-4:2016 e UNI 15316:2008)

- Foglio di calcolo e valutazione economica dell'investimento

Introduzione

L'uso delle fonti rinnovabili per produzione di energia ai fini del fabbisogno energetico dei sistemi edilizi è un obbligo normativo per alcune tipologie di interventi ed individuato come prioritario per migliorare la prestazione energetica del patrimonio esistente (climatizzazione invernale, estiva, acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione)

Tra i sistemi più diffusi che utilizzano le risorse rinnovabili, nonostante la natura variabile della risorsa, vi sono gli impianti fotovoltaici e il solare termico a bassa temperatura

ENEA – detrazioni fiscali

Tabella 3.1: Numero di interventi eseguiti per tipologia, anni 2014-2018

Anno	2014 - 2017		2018		TOTALE	
Intervento	n.	%	n.	%	n.	%
Condomini			477	0,1%	**477**	**0,0%**
Comma 344 - Riqualificazione globale	15.182	1,1%	2.674	0,8%	**17.856**	**1,0%**
Comma 345a - Coibentazione involucro	96.791	6,7%	25.267	7,5%	**122.058**	**6,9%**
Comma 345b - Sostituzione serramenti	782.969	54,3%	138.790	41,4%	**921.759**	**51,9%**
Comma 345c - Schermature solari	208.036	14,4%	70.491	21,1%	**278.527**	**15,7%**
Comma 346 - Pannelli solari per ACS	44.024	3,1%	5.578	1,7%	**49.602**	**2,8%**
Comma 347 - Climatizzazione invernale	289.452	20,1%	89.262	26,7%	**378.714**	**21,3%**
Building automation	4303	0,3%	2.307	0,7%	**6.610**	**0,4%**
Totale	**1.440.757**	**100%**	**334.846**	**100%**	**1.775.603**	**100%**

Fonte: ENEA

Tabella 3.2: Investimenti attivati per tipologia (M€), anni 2014-2018

Anno	2014 - 2017		2018		TOTALE	
Intervento	M€	%	M€	%	M€	%
Condomini			55,5	1,7%	**56**	**0,3%**
Comma 344 - Riqualificazione globale	1.203	8,9%	249	7,5%	**1.452**	**8,6%**
Comma 345a - Coibentazione involucro	3.245	24,0%	901	27,0%	**4.146**	**24,6%**
Comma 345b - Sostituzione serramenti	5.641	41,8%	1.072	32,2%	**6.713**	**39,9%**
Comma 345c - Schermature solari	445	3,3%	128	3,8%	**573**	**3,4%**
Comma 346 - Pannelli solari per ACS	279	2,1%	36	1,1%	**315**	**1,9%**
Comma 347 - Climatizzazione invernale	2.652	19,7%	873	26,2%	**3.525**	**20,9%**
Building automation	29,9	0,2%	17	0,5%	**47**	**0,3%**
Totale	**13.494**	**100%**	**3.331**	**100%**	**16.826**	**100%**

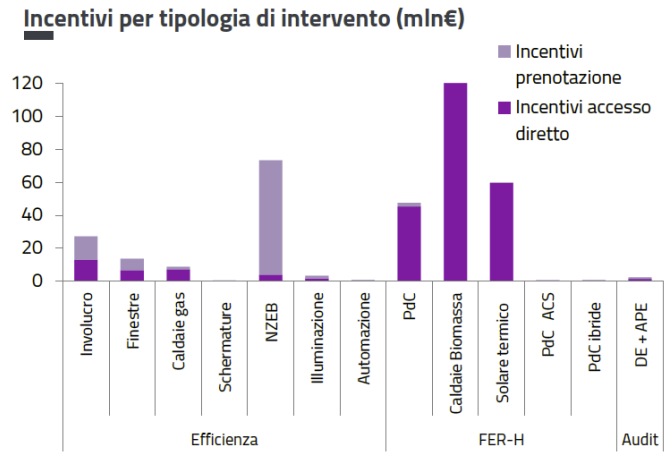
Fonte: ENEA

GSE – incentivi CONTO TERMICO

TABELLA 7 - Accesso diretto: dettaglio dei contratti attivi per tipologia di intervento nel 2019

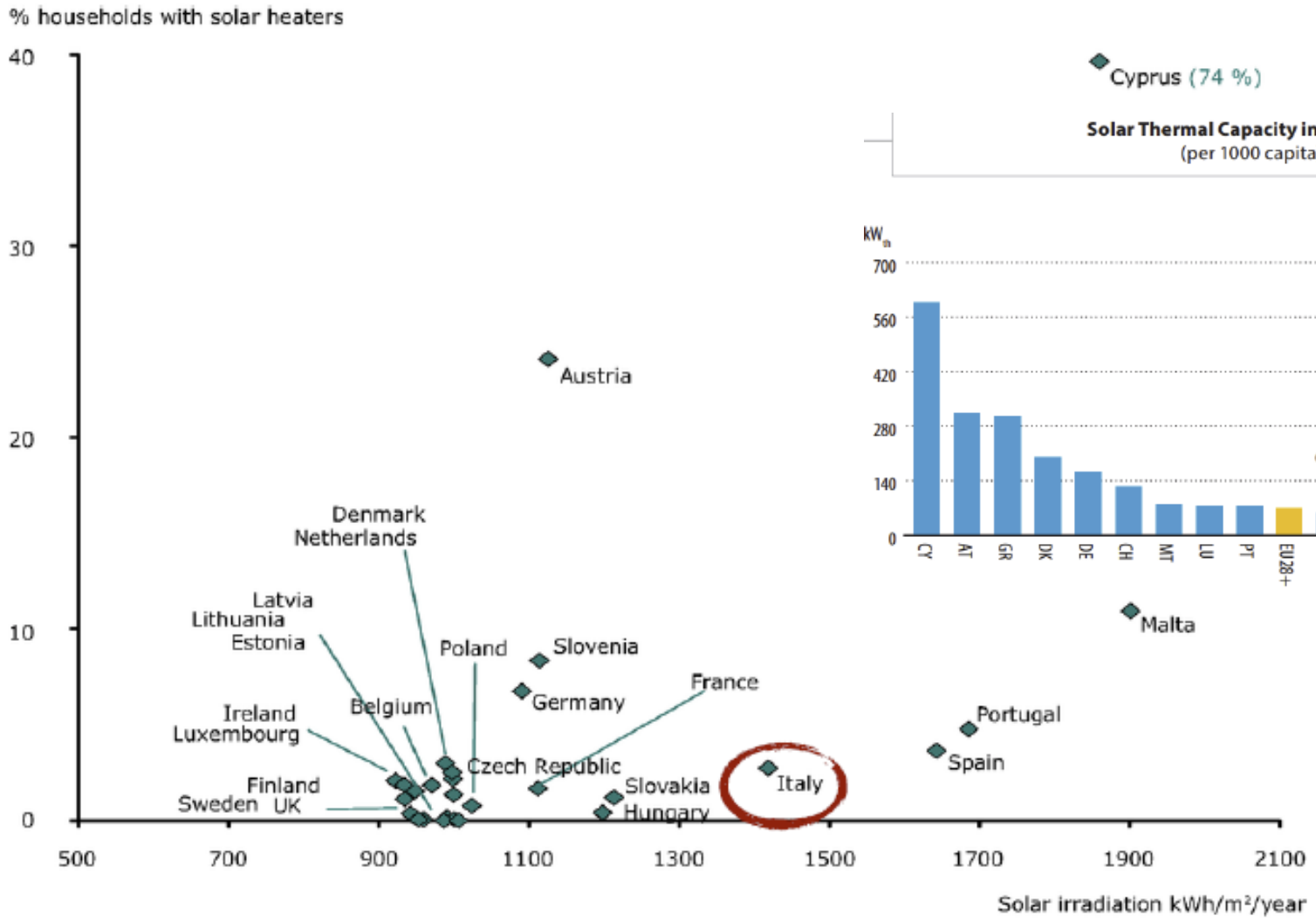
Tipologia di Intervento	N. Interventi	Incentivi per intervento [mln€]	Incentivo medio [€/ intervento]
1.A - Involucro opaco	297	12,86	43.301
1.B - Chiusure trasparenti	301	6,61	21.974
1.C - Generatori a condensazione	2.351	7,26	3.090
1.D - Schermature	30	0,14	4.780
1.E - NZEB	18	3,93	218.289
1.F - Sistemi di illuminazione	175	1,66	9.491
1.G - Building Automation	16	0,16	10.131
2.A - Pompe di calore	14.343	45,34	3.161
2.B - Generatori a biomasse	66.960	145,46	2.172
2.C - Solare termico	28.480	59,58	2.092
2.D - Scaldacqua a pdc	560	0,37	657
2.E - Sistemi Ibridi	127	0,40	3.153
TOTALE (parziale)	**113.658**	**283,79**	**2.497**
DE+APE: Diagnosi e attestato prestazione energetica (*)	562	1,29	
TOTALE		**285,1**	

*Le diagnosi e le certificazioni energetiche non sono considerate interventi indipendenti in quanto sono propedeutiche all'accesso agli incentivi in determinate condizioni.



LE DETRAZIONI FISCALI per l'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia negli edifici esistenti - RAPPORTO ANNUALE 2019 - DATI 2018
RAPPORTI DELLE ATTIVITÀ – GSE Rapporto delle Attività 2019 del Gestore dei Servizi Energetici 06/05/2020

Introduzione



http://solarheateurope.eu/publications/market-statistics/solar-heat-markets-in-europe/

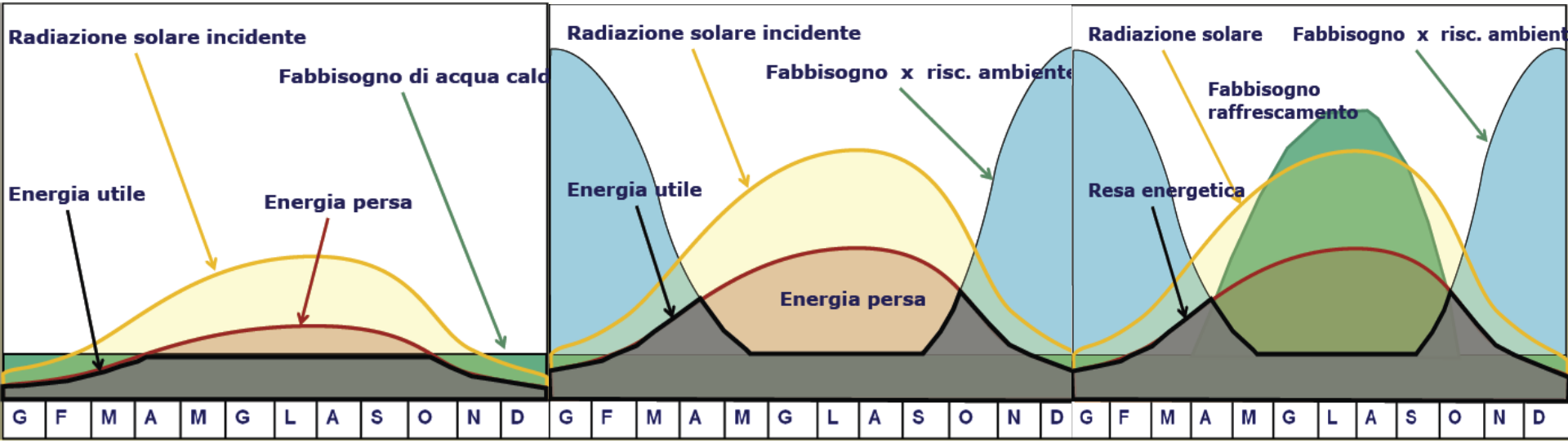
Introduzione

La diffusione del solare termico a bassa temperatura si scontra con lo sfasamento temporale che i sistemi edilizi presentano tra la disponibilità della risorsa solare e il fabbisogno di energia. E' indispensabile seguire le procedure di corretto dimensionamento per scongiurare investimenti inefficaci e controproducenti

ACS

ACS + CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

ACS + CLIMATIZZAZIONE INVERNALE E ESTIVA



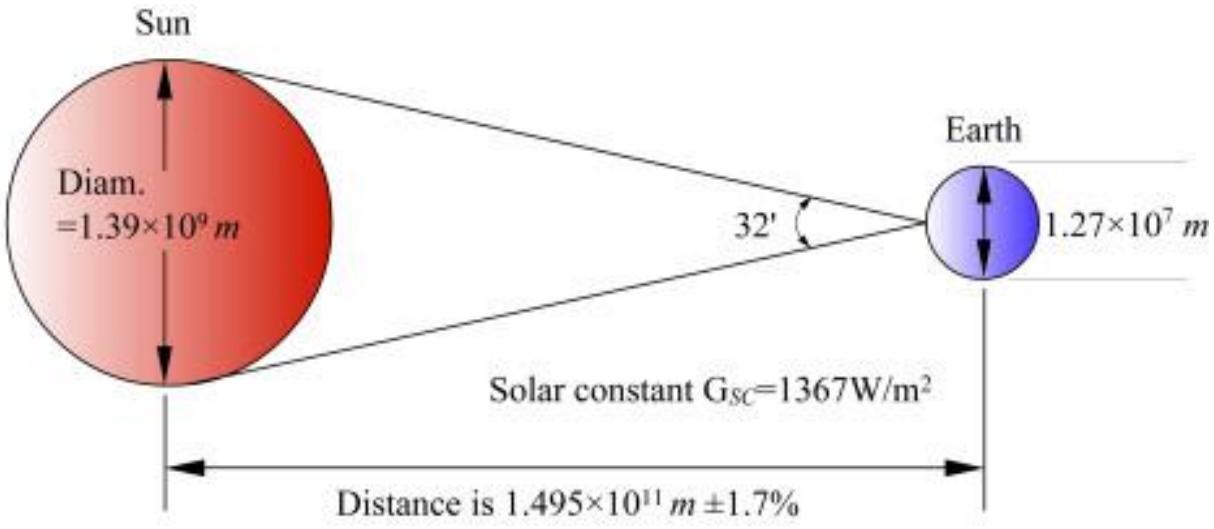
Fonte: Solare termico, Dr. Vincenzo Sabatelli, ENEA - http://www.bologna.enea.it/FEM/FILES/sabatelli/1_Sabatelli.pdf

Concetti preliminari di radiazione solare

L'energia disponibile sulla terra è quasi interamente dovuta al Sole che, per via della sua struttura e delle sue caratteristiche, produce energia e la irraggia nello spazio

La quantità di energia che mediamente arriva al di fuori dell'atmosfera terrestre (Air Mass zero, AM0) per unità di tempo e di superficie (piano perpendicolare ai raggi solari) è chiamata **COSTANTE SOLARE** ed è pari a circa 1367 W/m^2 (variabile durante l'anno per orbita ellittica della Terra attorno al Sole, circa 3-4%)

L'energia solare è emessa sotto forma di radiazioni elettromagnetiche (fotoni) con la distribuzione spettrale di un corpo nero alla temperatura di 5762 ± 50 K

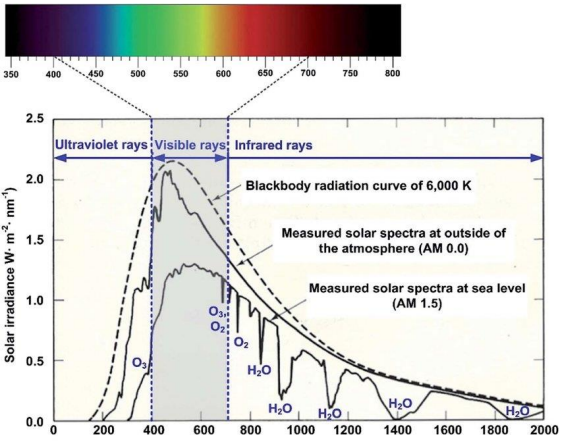


Planet	Distance (x 10^9 m)	Mean Solar Irradiance (W/m^2)
Mercury	57	9116.4
Venus	108	2611.0
Earth	150	1366.1
Mars	227	588.6
Jupiter	778	50.5
Saturn	1426	15.04
Uranus	2868	3.72
Neptune	4497	1.51
Pluto	5806	0.878

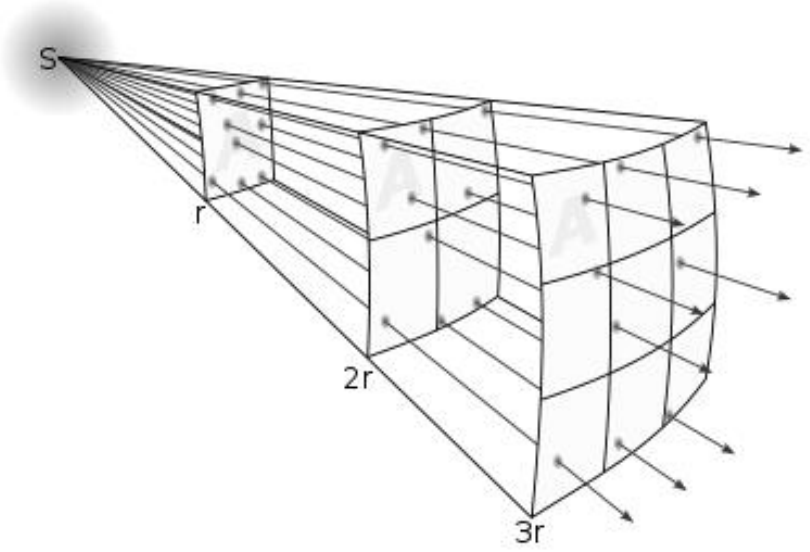
www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-radiation-in-space

Concetti preliminari di radiazione solare

I fotoni sono emessi dal Sole con energia $h\nu$ e presentano una distribuzione in frequenza secondo la legge del corpo nero di Planck
Integrando la radianza spettrale, ovvero la potenza emessa per unità di frequenza, di angolo solido e di area, si ottiene la legge di Stefan–Boltzmann



$$B_\nu(\nu,T) = \frac{2h\nu^3}{c^2}\frac{1}{e^{h\nu/kT}-1}, \qquad j^\star = \sigma T^4$$



$$G_{sc} = \sigma T^4 \frac{R_{Sun}^2}{D_{Sun-Earth}^2} \approx 1367\ \mathrm{W/m^2}$$

$$R_{Sun} = 6.35\cdot 10^6\,\mathrm{m} \quad D_{Sun-Earth} = 1.495\cdot 10^{11}\,\mathrm{m}$$

Concetti preliminari di radiazione solare

La radiazione solare sulla supeficie terrestre varia sensibilimente per:

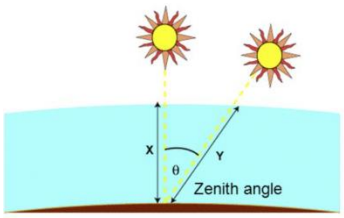
- interazione con l'atmosfera (fenomeni di assorbimento e scattering)
- fenomeni locali come presenza di vapor acqueo, corpi nuvolosi, inquinamento
- coordinate geografiche del sito
- stagioni dell'anno e orario del giorno

Nel passaggio attraverso l'altmosfera, polveri e aerosol assorbono i fotoni incidenti

Ozono (O_3), CO_2 e vapore acqueo presentano elevati coefficienti di assorbimento alle rispettive energie di legame modificando sensibilmente la radiazione presente fuori la nostra atmosfera

Air mass (AM) è il rapporto tra la lunghezza del percorso effettivo dei raggi solari attraverso l'atmosfera e la lunghezza del percorso più breve, cioè quando il sole è allo Zenit

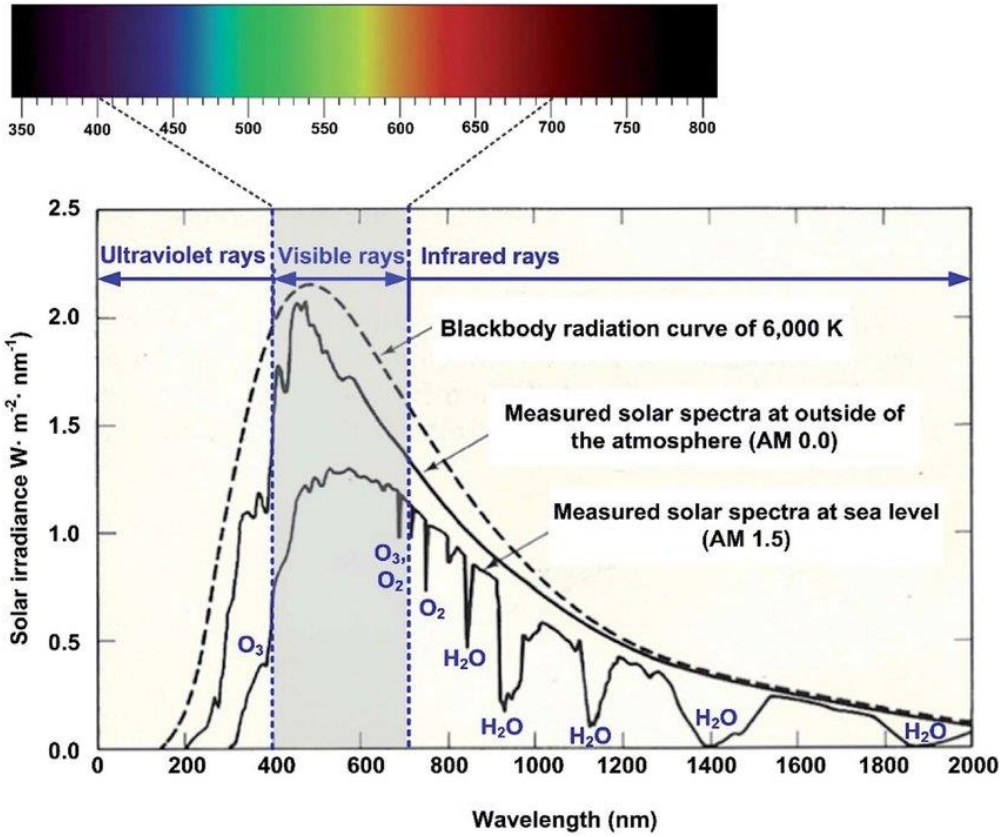
$$AM = 1/\cos(\theta)$$



AM 1: Sun directly overhead

AM 1.5 G: Standard, 1 kW/m²
G (Global): Direct and diffused sunlight
D (Direct): Direct sunlight only

AM0: just above atmosphere (space application)



AM1.5 riferimento per l'industria solare

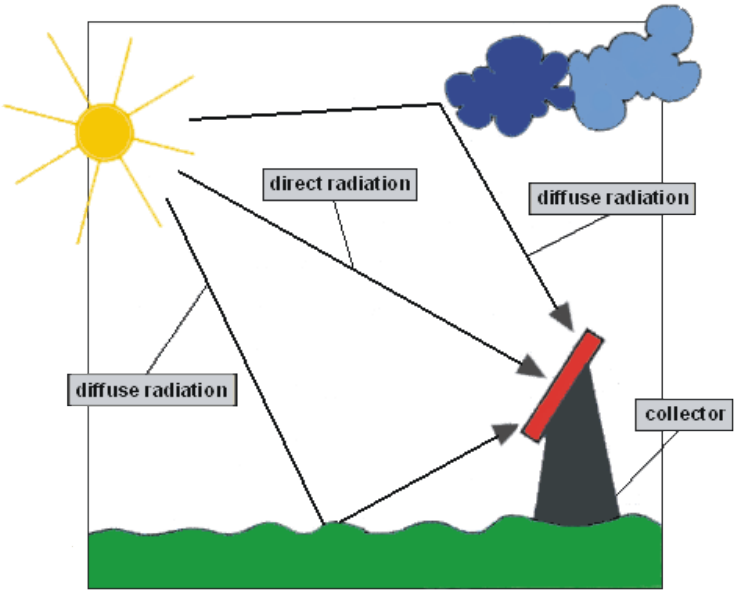
http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/

Concetti preliminari di radiazione solare

La radiazione solare viene in parte diffusa ed assorbita durante l'attraversamento dell'atmosfera giungendo al suolo con una irradianza massima di circa 1000 W/m^2

L'irradianza GLOBALE è data dalla somma della componente **diretta** e di quella **diffusa** (diffusa non meno del 10% ma dipende da condizioni atmosferiche)

Al suolo si aggiunge la quota riflessa (**albedo**), variabile a seconda del luogo e da considerare per valutare irraggiamento su piano inclinato



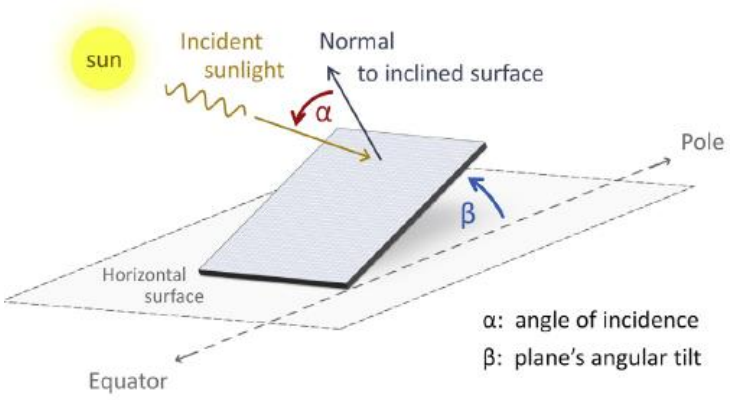
Concetti preliminari di radiazione solare

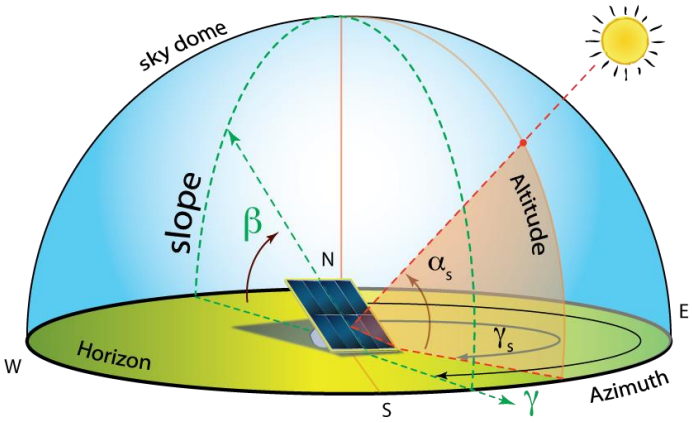
Per poter valutare la producibilità di un sito sono disponibili dati storici di irraggiamento degli ultimi decenni che fornisco l'irraggiamento solare avendo note:

- coordinate geografiche del sito (latitudine, longitudine) attraverso le quali valutare altezza e azimut solare, angolo orario

- mese, giorno

- angolo di tilt $\boldsymbol{\beta}$ e angolo di azimut $\boldsymbol{\gamma}$ formati dalla superficie ricevente inclinata ed il piano orizzontale (questi valori raramente sono a scelta del progettista che si trova ad usare le superfici disponibili)





https://www.e-education.psu.edu/eme810/node/576 -- *C.S. Schuster / Renewable Energy 152 (2020)*

Concetti preliminari di radiazione solare

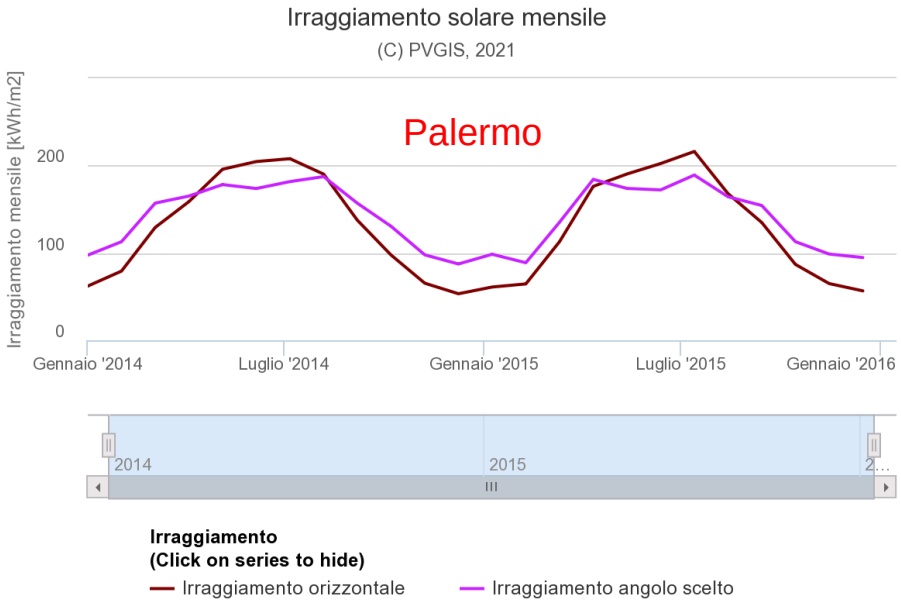
Esistono diversi database o Atlanti solari per ottenere i dato di producibilità:

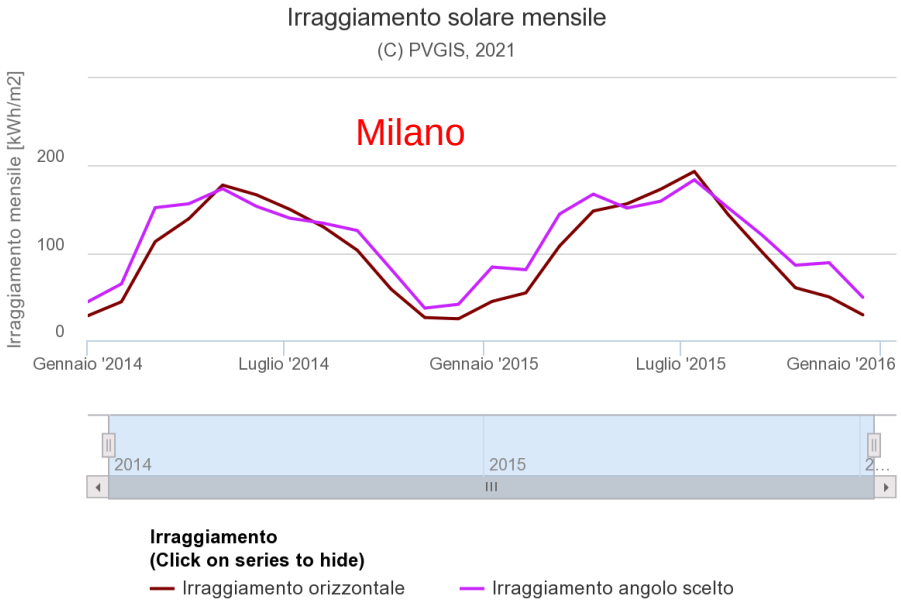
- PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis

- ATLANTE SOLARE ENEA - http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmIncl/Calcola1.php

- http://www.nrel.gov/gis/solar.html (USA)

- UNI 10349-1 metodo di calcolo dell'irradianza solare su superficie inclinata





Somma mensile dell'energia della radiazione solare su ogni metro quadro di un piano rivolto verso l'equatore ed inclinato ad un angolo scelto (45)

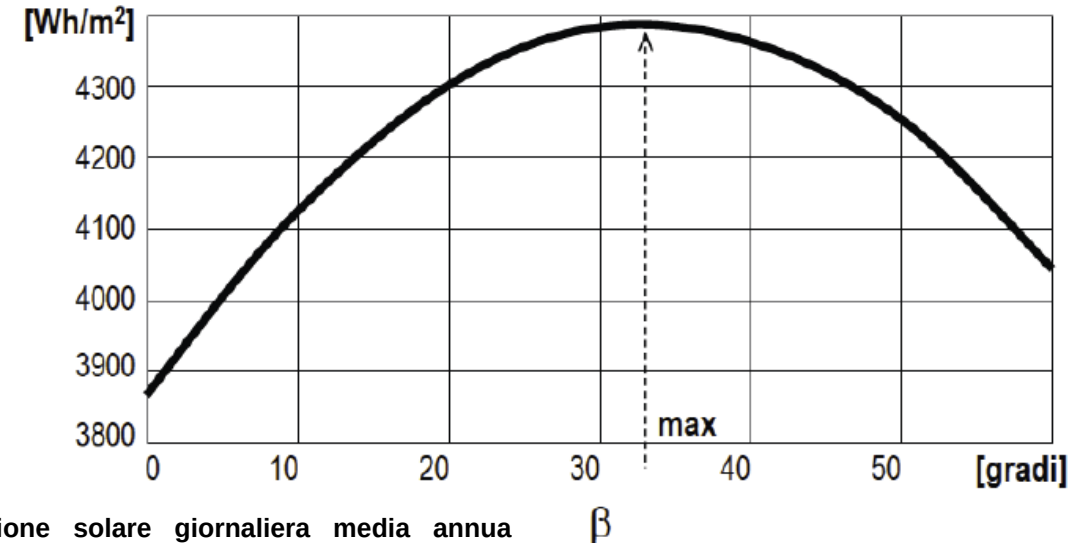
PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis

Concetti preliminari di radiazione solare

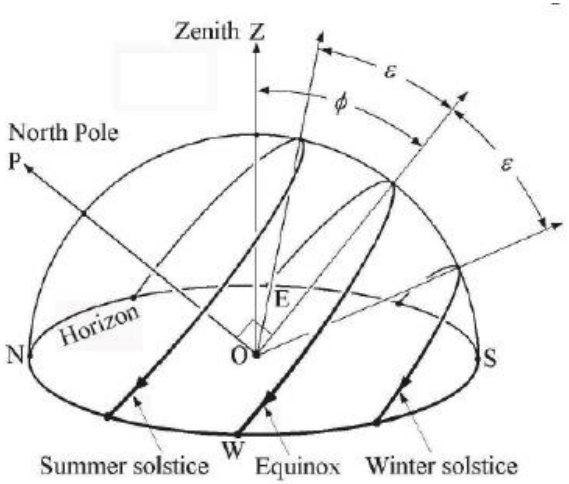
L'ottimo di producibilità si ottiene orientando i moduli a Sud con angolo di tilt che dipende dalle applicazioni:

- per usi estivi, la scelta ottima del tilt è **15 gradi inferiore alla latitudine del sito**

- per usi invernali la scelta ottima del tilt è **la latitudine del sito**



radiazione solare giornaliera media annua latitudine di 43 gradi



Ai fini del calcolo è indispensabile considerare la presenza di **ombre** che si distinguono in ombre legate alla tipologia di orizzonte del sito e alla presenza di ostacoli. A tal fine, per calcolare con precisione la quota di radiazione diretta che raggiunge il ricettore è necessario procedere con calcolo analitico o utilizzare software di simulazione). Alcuni Atlanti solari consentono di inserire le ombre

Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

Gli impianti solari hanno il compito di trasferire l'energia solare da un assorbitore ad un fluido termovettore sotto forma di calore e successivamente ad un serbatoio di accumulo con l'obiettivo di rendere disponibile l'energia termica quando richiesta anche in assenza di radiazione solare

Esistono due configurazioni tipiche di impianti solari:

- Circolazione naturale

- Circolazione forzata

Negli impianti a circolazione naturale la circolazione tra collettori e serbatoio è garantita dalla variabilità della densità del fluido termovettore con la temperatura. Il serbatoio deve trovarsi ad una quota superiore rispetto ai collettori per favorire la circolazione naturale.
Sono economici per via della semplicità impiantistica (assenza di circolatori) ma presentano limiti legati alle capacità di produzione nel caso di fabbisogni di energia termica maggiore (climi rigidi)

Gli impianti a circolazione forzata, nella configurazione più diffusa, presentano un circuito primario all'interno del quale, attraverso una pompa di circolazione, viene trasferito il calore dal collettore al serbatoio di accumulo e quindi trasferito all'acqua attraverso uno scambiatore di calore

Stato dell’arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

Il problema principale dello sfruttamento dell’energia solare è legato alle capacità dei sistemi di accumulo di garantire uno sfruttamento intensivo della risorsa

Le applicazioni più diffuse e con ritorni economici che ne giustificano la diffusione sono:

- Produzione di ACS
- Integrazione di sistemi di riscaldamento (particolarmente consigliato per sistemi a bassa temperatura)
- Riscaldamento di piscine
- Produzione di acqua di processo per applicazioni industriali

Stato dell’arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

I componenti principali degli impianti solari a circolazione forzata sono:

- i collettori solari

- il serbatoio di accumulo, che ha la funzione di rendere disponibile acqua calda all’utenza a prescindere dal momento della giornata o dalle condizioni meteorologiche, raccogliendo l’acqua calda man mano che viene riscaldata dai collettori e mantenendola alla temperatura di utilizzo fino al momento della richiesta dell’utenza

- il circuito di distribuzione e la pompa da dimensionare tenendo presenti le perdite di carico

- il vaso di espansione, capace di accogliere una eccessiva dilatazione termica del fluido termovettore, evitando che si creino pericolose sovrapressioni;

- dispositivi di sicurezza e controllo dell’impianto (valvole di sfiato, valvole di sicurezza, valvole di intercettazione, termostati, centralina solare)

- il sistema ausiliario per sopperire all’aleatorietà della fonte solare e alla minore disponibilità invernale senza ricorrere al sovradimensionamento dell’impianto solare

- il sistema di ancoraggio

COLLETTORI SOLARI

si distinguono in:

- **piani scoperti**
- **piani vetrati**
- **sottovuoto**

Il componente fondamentale dei collettori solari è l'assorbitore che assorbe la radiazione solare e la trasferisce al fluido termovettore

I collettori, ad eccezione dei piani scoperti, che hanno un uso prevalente durante la stagione estiva (applicazioni a basse temperature), sono dotati di una copertura trasparente e in alcuni casi di opportuno isolamento per ridurre le perdite dell'assorbitore

Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

COLLETTORI SOLARI PIANI VETRATI

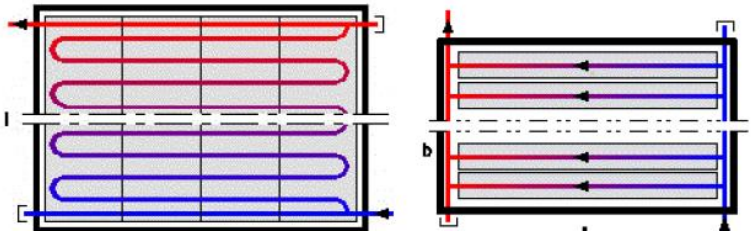
- assorbitore selettivo

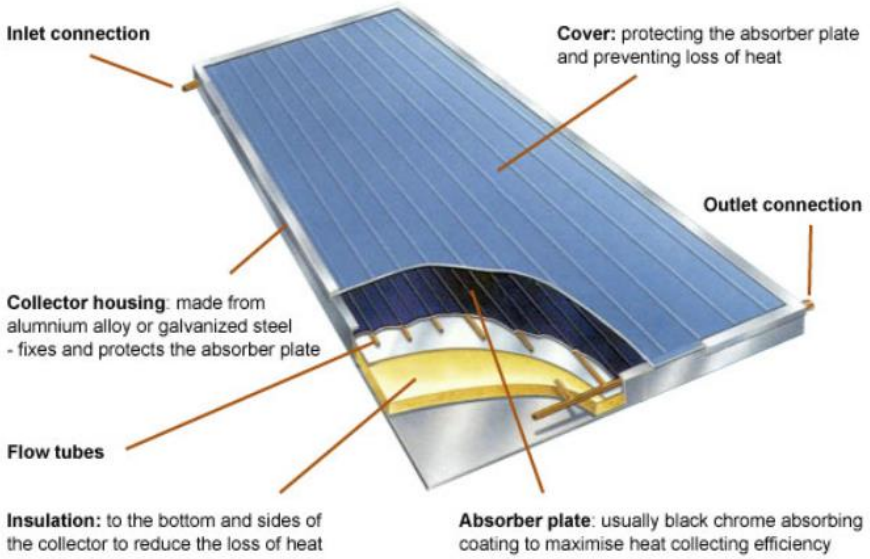
- copertura trasparente
  (una o più di una)

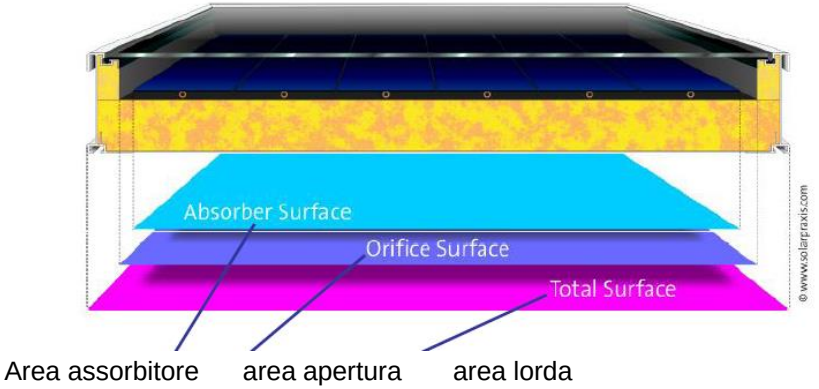
- isolante termico per ridurre al minimo le dispersioni dell'assorbitore verso l'esterno

- struttura esterna di supporto per contenere e proteggere da polvere, umidità e agenti atmosferici

- tubi saldati alla piastra assorbente con canalizzazioni ad arpa o serpentina







assorbitore selettivo

- elevato coefficiente di assorbimento per lunghezze d'onda dello spettro solare < 2 μm
- bassa emissività (o alta riflessività) nell'infrarosso (T di esercizio dei collettori) > 3μm

In questo modo si minimizzano le perdite

I più comuni sono materiali metallici rivestiti di un sottile strato ossidato ad alta riflessività nell'infrarosso (rame annerito, nickel annerito, cromo annerito)

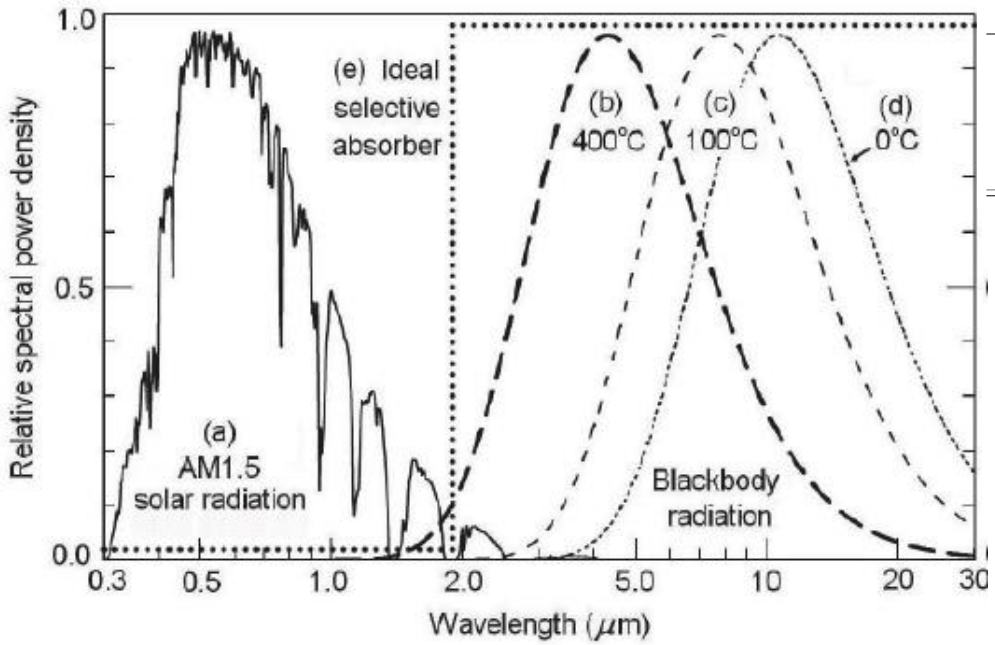
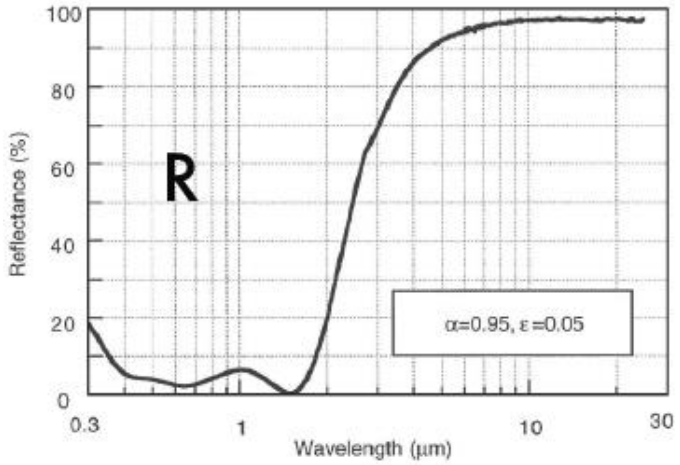


Table 11.1: Selective Absorbing Surfaces

System	Mirror	Absorbant	α	ϵ
Black nickel	Ni or steel	NiS–ZnS	0.88 – 0.96	0.03 – 0.10
Black chrome	Cr	Cr_2O_3	0.97	0.09
Black copper	Cu	Cu_2O–CuO	0.97 – 0.98	0.02
Aluminum nitride	Al	Al_3N_4	0.97	0.10



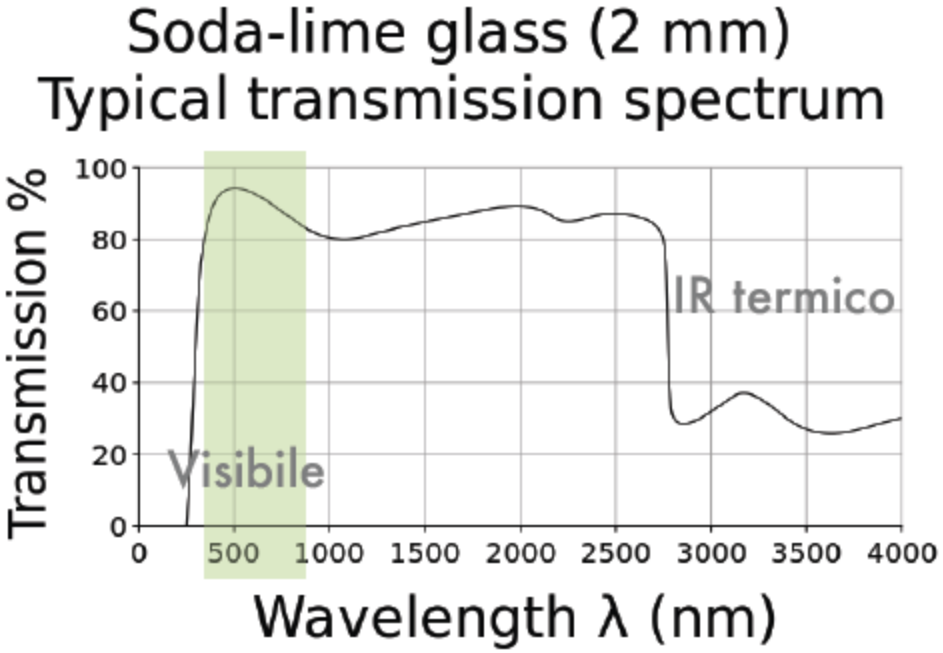
J Chen, Physics of solar energy, Wiley - Twidell & Weir, Renewable energy resources, Taylor &Francis

copertura trasparente

- elevato coefficiente di trasmissione della radiazione solare

- basso coefficiente di trasmissione nel lontano infrarosso

Sono utilizzati vetri comuni o vetri basso emissivi che sono specchi infrarossi (tipologia degli infissi)



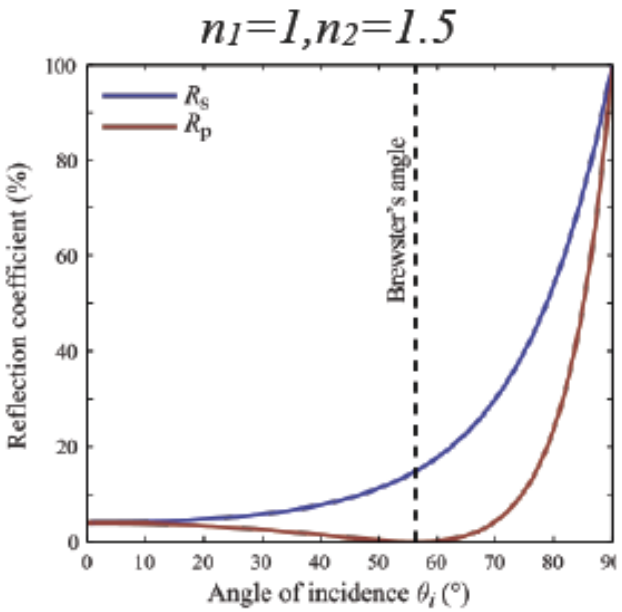
J Chen, Physics of solar energy, Wiley - Twidell & Weir, Renewable energy resources, Taylor &Francis

copertura trasparente

Per via dei fenomeni ottici di interazione della luce solare con il vetro di copertura (relazioni di Fresnel) il rapporto tra l'intensità dell'onda incidente e trasmessa dipende dalla polarizzazione dell'onda e dagli indici di rifrazione

Nel caso di aria-vetro la riflettanza è ridotta e quindi la luce, salvo per elevati angoli rispetto alla normale **viene trasmessa**

Viene definito il **MODIFICATORE dell'angolo di incidenza $K(\theta)$** rispetto alla normale che rappresenta un fattore correttivo che influenza le prestazioni energetiche del collettore

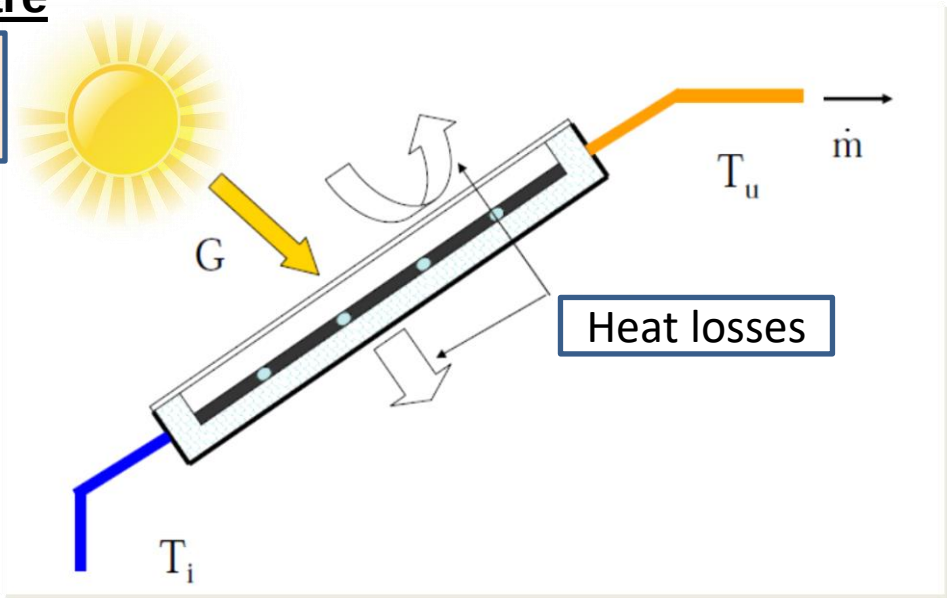


polarizzazione parallela (p, rossa)
perpendicolare (s, blu)

J Chen, Physics of solar energy, Wiley - Twidell & Weir, Renewable energy resources, Taylor &Francis

Bilancio e rendimento del collettore solare

$$\dot{Q}_{utile} = \dot{Q}_{sol} - \dot{Q}_{loss} = \dot{m}\ \ c_p(T_u - T_i)$$



$$\dot{Q}_{loss} = AU_L(T_m - T_a)$$

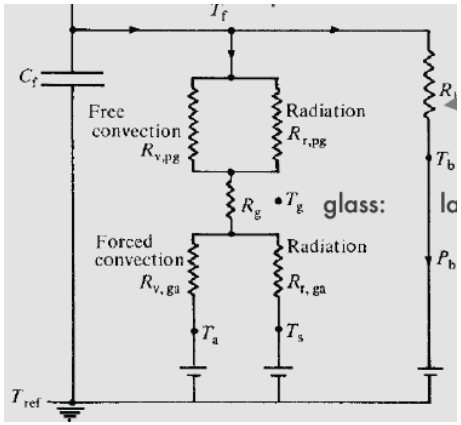
$$\dot{Q}_{sol} = K(\theta)\tau\alpha G_{\perp} A$$

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{utile}}{G_{\perp} A}$$

$$\eta = K(\theta)\tau\alpha - \frac{AU_L}{G_{\perp} A}(T_m - T_a) = K(\theta)\eta_0 - a_1 \frac{(T_m - T_a)}{G_{\perp}}$$

$$\eta = F_R \left[K(\theta)\eta_0 - a_1 \frac{(T_i - T_a)}{G_{\perp}} \right]$$

Il coefficiente di scambio termico globale $U_L A$ contiene il contributi di diversi fattori (convezione, conduzione, irraggiamento) modellizzabile con uno schema di circuito termico



Si aggiunge termine quadratico da prove sperimentali e UNI 12975-2:prestazioni termiche

$$\eta = K_{(\theta)} \cdot \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_m - T_a)}{G_{\perp}} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{G_{\perp}}$$

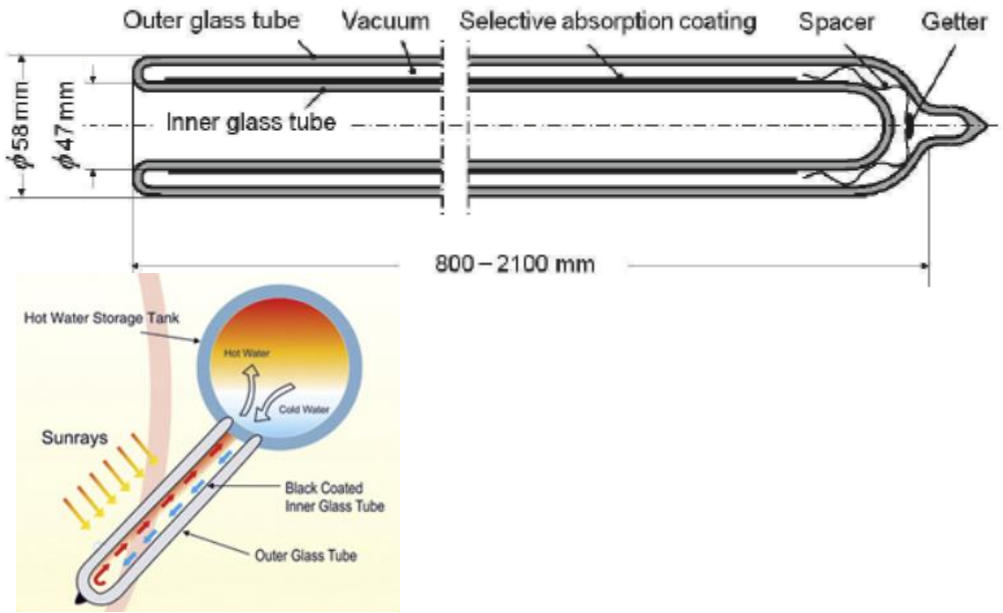
$$\eta = K_{(\theta)} \cdot \eta_0 - a_1 \cdot T^* - a_2 \cdot T^{*2} \cdot G_{\perp} \quad \text{dove} \quad T^* = \frac{(T_m - T_a)}{G_{\perp}}$$

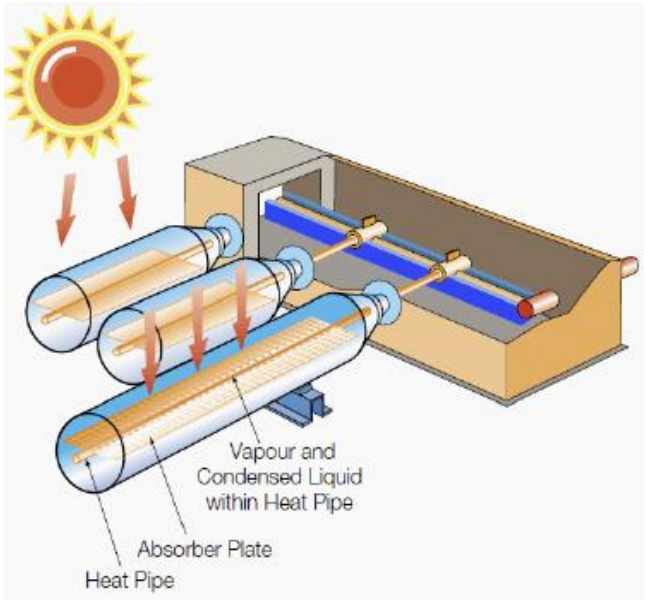
Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

COLLETTORI SOTTOVUOTO

Creare il vuoto tra assorbitore e «copertura» per limitare dispersioni verso esterno e aumentare l'efficienza durante intero anno solare

Due cilindri coassiali. Possono essere realizzati anche sui piani ma i più diffusi sono cilindrici per ragioni strutturali (alle forti differenze di pressione)





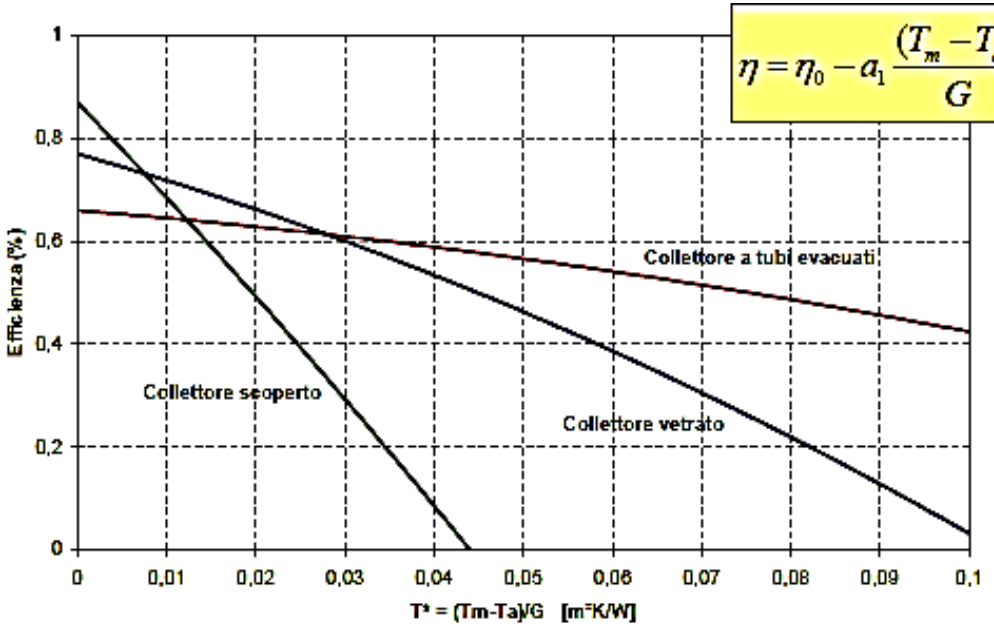
Tubi a vuoto a contatto diretto, con trasferimento del calore dall'assorbitore al fluido

Heat pipe: fluido vicino all'evaporazione. Se scaldato, il fluido evapora e successivamente condensa all'altra estremità. Vantaggio elevatissima conducibilità termica con trasferimento di calore anche a bassi valore di gradiente di temperatura; nessun problema di gelo o rottura. Necessario circuito primario e secondario

J Chen, Physics of solar energy, Wiley - Twidell & Weir, Renewable energy resources, Taylor &Francis

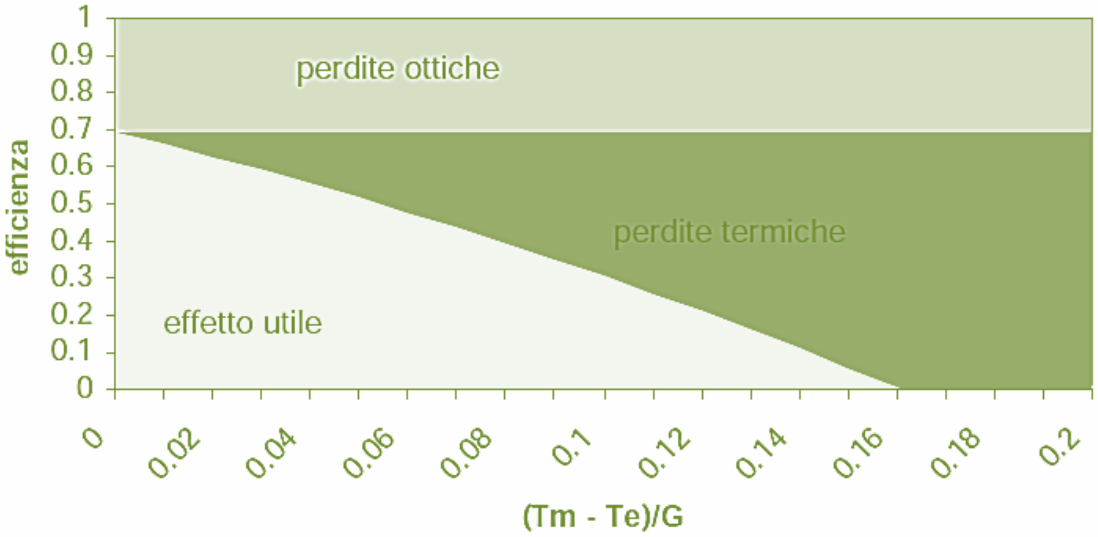
Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{(T_m - T_a)}{G} - a_2 G \left[\frac{(T_m - T_a)}{G}\right]^2$$



L'efficienza diminuisce al crescere della temperatura di funzionamento

T_m temperatura del fluido all'interno del collettore.
Per valori tipici di funzionamento si può assumere pari alla media aritmetica delle temperature di ingresso e uscita



Stato dell’arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

- CERTIFICATO EN 12975
- CERTIFICAZIONE SOLAR KEYMARK
- 5 ANNI DI GARANZIA
- SUPERFICIE SELETTIVA SU PIASTRA IN ALLUMINIO
- ISOLAMENTO IN LANA DI ROCCIA

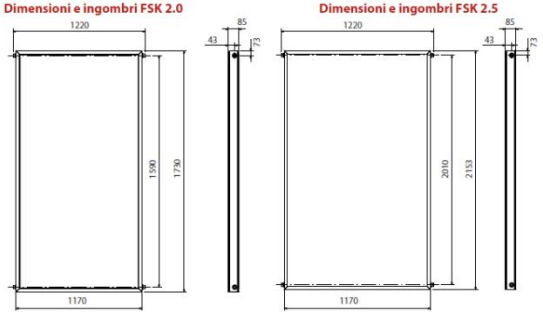
5 anni garanzia collettori solari

EN 12975

Pannello solare piano per montaggio verticale e orizzontale dotato di piastra captante in alluminio con film selettivo. La piastra captante è saldata ad una serie di tubazioni in rame unite ad arpa a due collettori di distribuzione idraulica sempre in rame con quattro uscite idrauliche . Il pannello solare è costituito di una struttura in alluminio, isolato verso il basso con lana di roccia e dotato superiormente di vetro solare di tipo temprato con Black-Frame Desingn.

Elemento	Descrizione
VETRO	Vetro temprato Black-Frame Desingn
ISOLANTE	Lana di roccia
SUPERFICIE ASSORBENTE	Full selective
ASSORBITORE	Alluminio / Rame
DISTRIBUZIONE INTERNA	Arpa
TELAIO E FONDO	Alluminio / Alluminio

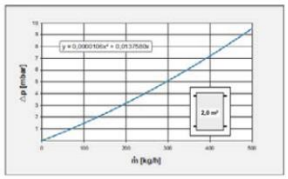
Dimensioni e ingombri FSK 2.0

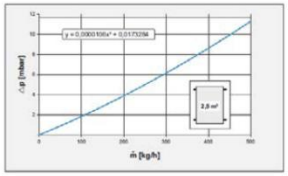


Dimensioni e ingombri FSK 2.5

Area lorda (m²)	2.02	2.51
Area di apertura (m²)	1.84	2.31
Area di assorbimento (m²)	1.84	2.31
Larghezza (mm)	1170	1170
Altezza (mm)	1730	2150
Profondità (mm)	83	83
Peso a vuoto (kg)	31	38

Perdite di carico





Stato dell’arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

Assorbitore		Alluminio, rivestimento sottovuoto altamente selettivo	Alluminio, rivestimento sottovuoto altamente selettivo
Film selettivo		Full face selective TiNOx Al	Full face selective TiNOx Al
Assorbanza		0,95	0,95
Ø Tubo collettore		22 mm	22 mm
Ø Tubo registro		8 mm	8 mm
Connessioni idrauliche		n°4 x 22 mm (raccodo a ogiva)	n°4 x 22 mm (raccodo a ogiva)
Angolo di installazione	°	15.. 75	15 .. 75
Contenuto di liquido	l	1.56	1.77
Temperatura di stagnazione	°C	181	181
Spessore isolamento	mm	40	40
Spessore vetro	mm	3.2	3.2
Trasmittanza		0,90	0,90
Pressione massima	bar	10	10
Numero massimo pannelli in serie		6	6
Distanza minima tra pannelli	mm	55	55

Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

Rendimento ottico η_0 (1000 W/m²)	%	78,5	78,5
Perdita di calore I ordine a_1	W/m²K	3,594	3,594
Perdita di calore II ordine a_1	W/m²K²	0,014	0,014
IAM Incidence Angle Modifier	$K_{\theta t}$ (50°)	0,94	0,951
Capacità termica C	kJ/m²K	9,543	9,543
Portata consigliata	l/m²min	0,3-0,6	0,3-0,6
Potenza di picco (1000 W/m²)	W	1507	1751
Producibilità energetica (Test di Wurzburg, 3 m²)	kWh/ anno	1115	1295
Q_u - a 50°C (C.E.T.)	**kWh_t/m^2**	**449,01**	**451,98**
Q_u - a 75°C (C.E.T.)	**kWh_t/m^2**	**266,34**	**267,86**
Q_u - a 50°C (C.E.T.)	**kWh_t**	**907,00**	**1.139,00**
Q_u - a 75°C (C.E.T.)	**kWh_t**	**538,00**	**675,00**
F'(τα)		0,795	0,795
b_0		0,103	0,103
$K_{\theta d}$		0,936	0,936
Rendimento a T*m = 0,04 (C.E.T.)	%	62	62

IAM laterale e trasversale

Angolo incidente	0	20	40	50	60	70	90
$K_{\theta b}(\theta_{laterale})$	1,00	0,99	0,97	0,94	0,90	0,80	0,00
$K_{\theta b}(\theta_{trasversale})$	1,00	0,99	0,97	0,94	0,90	0,80	0,00

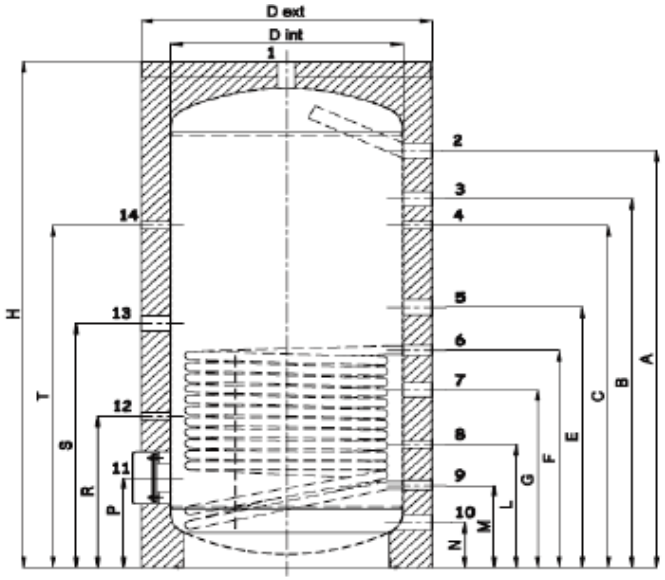
T_m-T_a (K)	(W)	(W)
0	1498	1864
10	1421	1767
30	1252	1558
50	1064	1327
70	856	1073

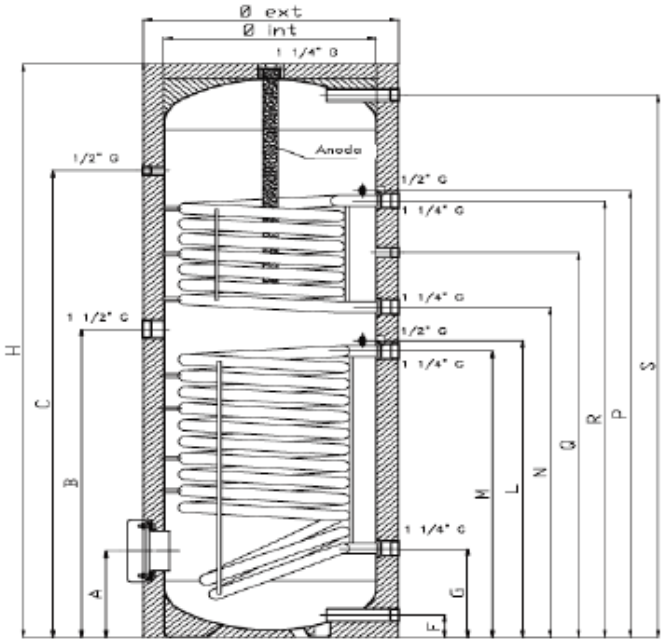
Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

serbatoi di accumulo termico (giornalieri)

Elemento essenziale per ridurre sfasamento tra produzione ed utilizzo

Accumulo con uno o più scambiatori integrati





Negli impianti a due circuiti con circolazione forzata (sistemi edilizi) presentano scambiatori di calore a tubi lisci integrati nel serbatoio

La superficie dello scambiatore di calore dovrebbe essere circa 0.4 m^2/m^2 di superficie di apertura del collettore

I sistemi a più scambiatori sono utilizzati per integrazione con generatori di calore

Sono tipicamente in acciaio (inossidabile) e rivestiti con isolante per evitare dispersioni verso esterno

Stato dell'arte della tecnologia solare termica a bassa temperatura e descrizione dei principali componenti degli impianti

circuito di distribuzione

Il fluido termovettore nel primario è una miscela (acqua + glicole)

Non devono essere usati nel circuito primario tubi in platica o multistrato ed evitati tubi zincati per fenomeni di dezincatura a temperature sopra i 60 C

Vengono generalmente impiegati tubi lisci in rame o tubi corrugati in acciaio inossidabile

Il dimensionamento per dimensionare i sistemi di pompaggio va effettuato con il metodo delle perdite di carico lineari costanti

- calcolare la portata per m^2 di superficie del collettore
- ipotizzare perdite di carico lineari nell'intervallo 10-15 mm c.a./m
- aggiungere perdite di carico nei pannelli solari, nello scambiatore, altre perdite di carico del circuito (curve, valvole, regolatori,…)

vaso di espansione e valvola di sicurezza tarata

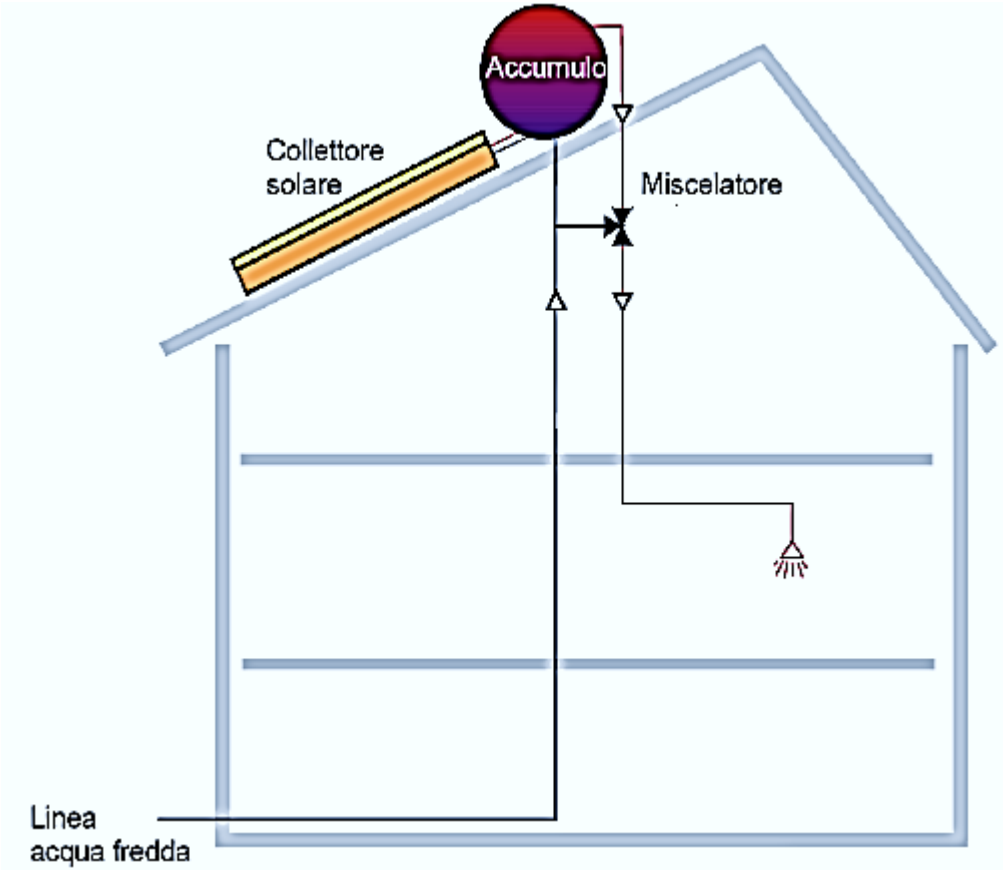
Evitare sovrappressioni dovute alla variazione di volume dell'acqua per aumento della temperatura. E' necessario calcolare il volume di liquido nel circuito (condizioni di stagnazione e cambiamenti di fase). La valvola di sicurezza entra in azione per valori prossimi alla massima pressione (derivare tubo da inviare a recipiente). Sono presenti valvole di sfiato

RACCOLTA R2009B Le seguenti disposizioni si applicano a tutti gli impianti solari produttori di energia termica per il riscaldamento degli ambienti, per la produzione di acqua calda sanitaria, e per altri usi tecnologici del calore, con superficie di apertura non inferiore a 50 m^2 e comunque con potenzialità nominale utile complessiva superiore a 35 kW

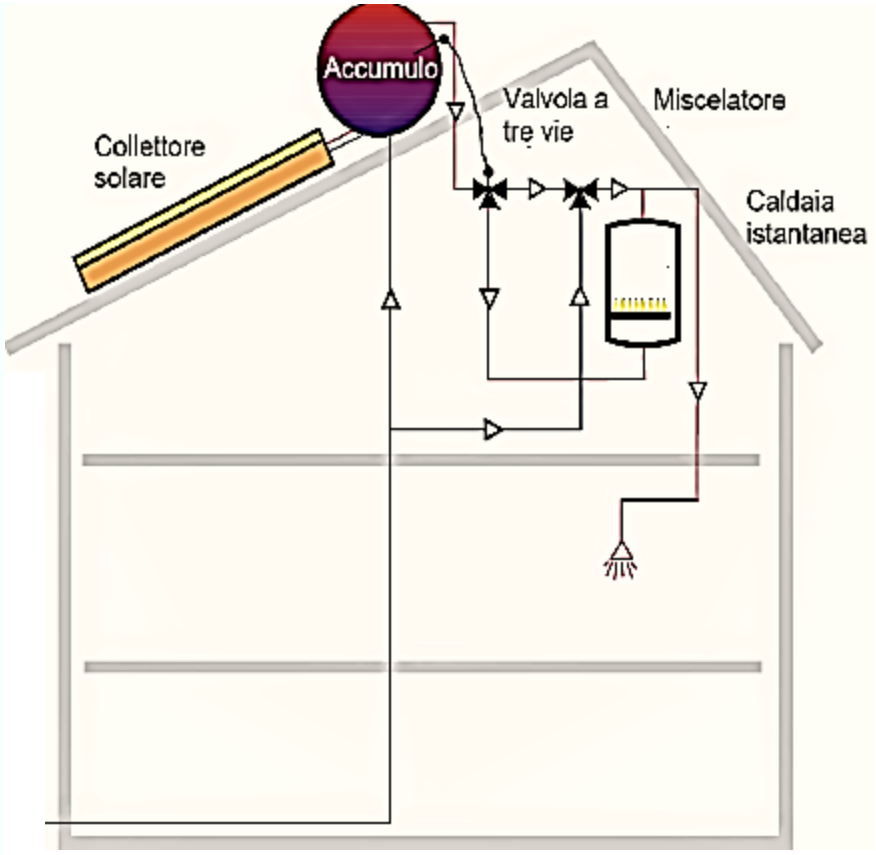
Schemi di principio degli impianti solari termici per ACS ed integrazione con riscaldamento

Schema impianto a circolazione naturale con e senza integrazione

Miscelatore in funzione se la temperatura di mandata supera la temperatura di erogazione

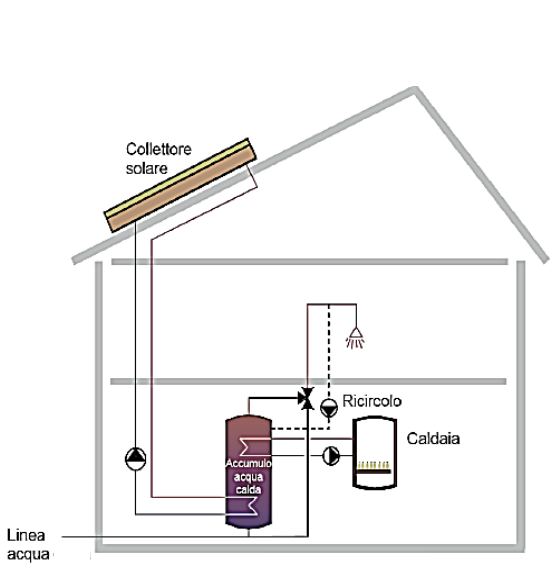


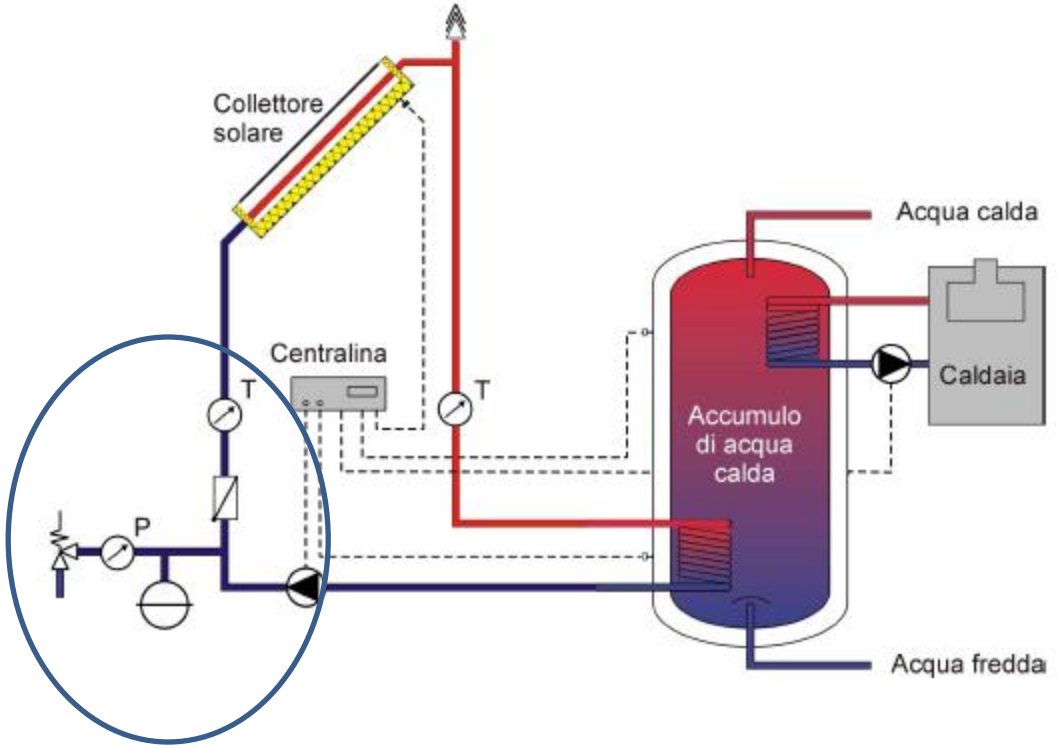
Caldaia istantanea in azione se la temperatura di mandata è inferiore a quella di erogazione



Schemi di principio degli impianti solari termici per ACS ed integrazione con riscaldamento

Schema impianto a circolazione forzata con integrazione





Gruppo pompa e sicurezza

Il termostato differenziale mette in azione la pompa quando la differenza di temperatura tra fluido nel collettore e fluido nel serbatoio è superiore 5-10°C
Tale differenza di temperatura garantisce l'instaurarsi delle condizioni di scambio termico così che l'energia termica accumulata dal fluido termovettore venga ceduta al serbatoio di accumulo

Schemi di principio degli impianti solari termici per ACS ed integrazione con riscaldamento

Alcuni accorgimenti

- Controllo della **LEGIONELLA** con manutenzione
  (batterio che trova ambiente favorevole con temperature tra 32 e 40 C):
  - shock termici (> 60 C) con diversi tempi di permanenza sulla base della temperatura
  - sistemi chimici di disinfezione

- In generale accorgimenti dettati dalle UNI 12976 e 12977

- Verificare il corretto ancoraggio e carichi vento/neve

  Rapporto Tecnico CEI 82-74 «*Metodi di calcolo delle azioni del vento e criteri di dimensionamento di strutture di supporto di moduli fotovoltaici o di collettori solari*»

- Rispettare numero di collettori in serie (in genere massimo 6 comunque indicati da costruttore)

Cenni ai criteri generali di dimensionamento

Come regola generale non conviene coprire l'intero fabbisogno di energia termica ma massimizzare i costi/benefici

Alcuni valori tipici del dimensionamento da considerare in funzione della superficie captante sono:

- Portata d'acqua nei collettori tra **50 e 100 l/h** per ogni m^2 di collettore

- Serbatoio di accumulo **75 l** per ogni m^2 di collettore

Discorso a parte per dimensionare la **SUPERFICIE CAPTANTE**

Risultato di una accurata analisi costi-benefici che dipende dal tipo di applicazione

<u>Metodologie utilizzate:</u>

Calcolo della FRAZIONE SOLARE che valuta su base mensile il rapporto tra l'energia utile fornita dal sistema solare rispetto al fabbisogno complessivo mensile

FRAZIONE SOLARE – metodo «f-chart» UNI 15316-4-3 – UNI/TS 11300-2

rapporto tra l'energia utile fornita dal sistema solare E_s rispetto al fabbisogno complessivo **mensile** L

$$f = \frac{E_s}{L}$$

Il valore di *L* può essere calcolato sulla base della quantità di acqua richiesta sia per ACS (ad es. UNI/TS 11300-2 o per il riscaldamento (UNI 13790:2008)

La frazione mensile *f* può essere calcolata sulla base delle condizioni di esercizio dell'impianto attraverso **formule di correlazione** ottenute utilizzando simulazioni numeriche dettagliate del comportamento termico dell'impianto della tipologia considerata avendo note le condizioni ambientali e di producibilità

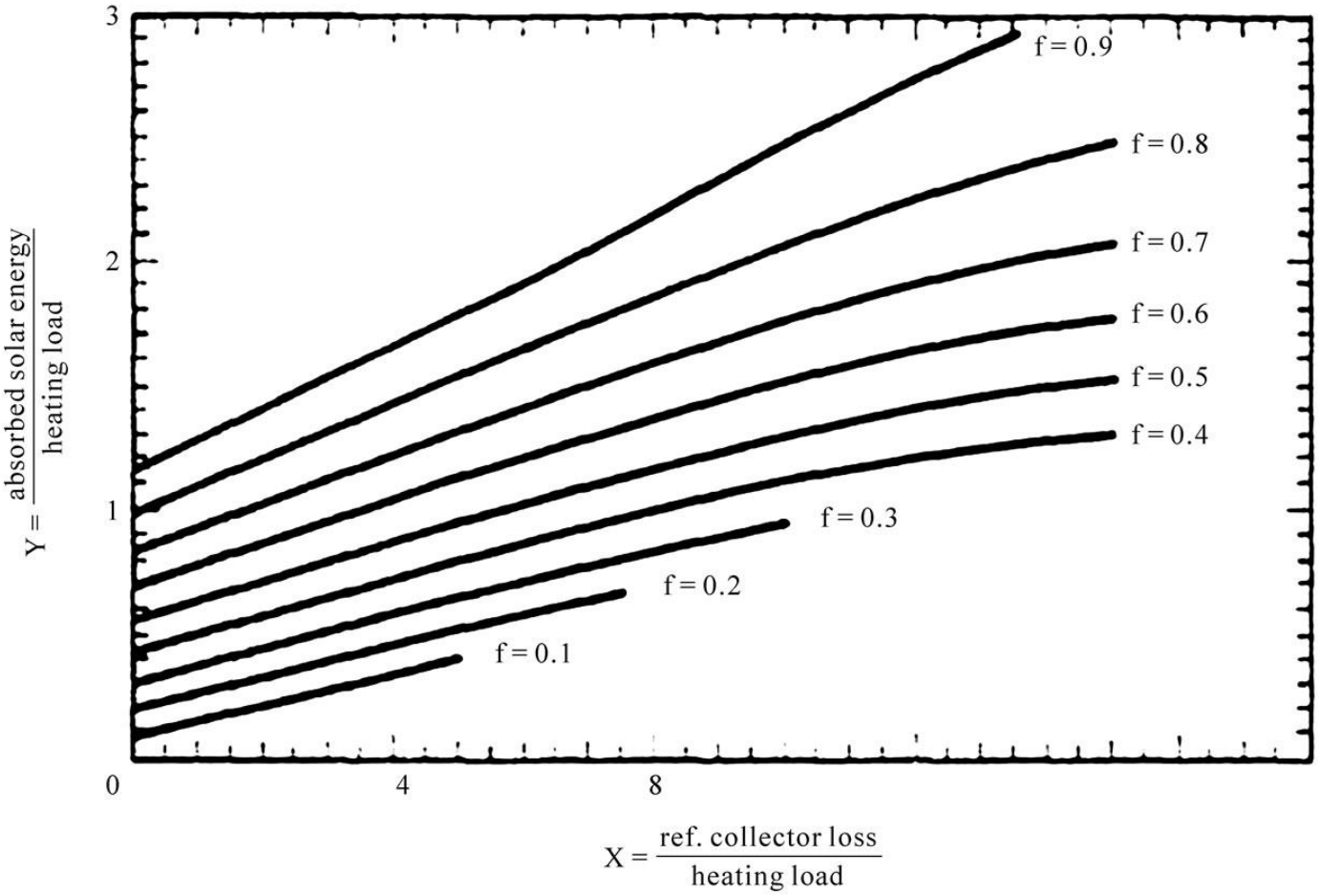
$$f = aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + f'Y^3$$

$$X = \frac{A_C F'_R U_L \left(T_{ref} - \bar{T}_a\right) \Delta t}{L} \qquad Y = \frac{A_C F'_R \overline{\tau\alpha} H_T N}{L}$$

Noti *X/S* e *Y/S* è possibile valutare l'andamento di *f* e valutare così il risparmio energetico

Il calcolo va esteso all'anno (essendo su base mensile) attraverso l'uso di medie pesate

Cenni ai criteri generali di dimensionamento



Smart Grid and Renewable Energy, Vol.2 No.1(2011)

Cenni ai criteri generali di dimensionamento

Per il calcolo del fabbisogno complessivo mensile *L* il riferimento è la UNI/TS 11300:2 che ci fornisce l'energia termica per riscaldare una data quantità di acqua

$$Q_{h,W} = \rho_W c_W V_W \left(T_{W,er} - T_{W,0}\right) G_W$$

ρ_W	massa volumica dell'acqua [1 kg/L ≡ 1000 kg/m^3]
c_W	calore specifico dell'acqua [convenzionalmente pari a 4183 J/(kg°C) ≡ 1.162 Wh/(kg°C)]
V_W	volume di acqua calda sanitaria richiesto durante il periodo di calcolo [L/G]
$T_{W,er}$	temperatura di erogazione [°C]
$T_{W,0}$	temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [°C]
G_W	numero dei giorni del periodo di calcolo [G]

Con temperature di erogazione dell'ACS pari a 40 C e ingresso a 15 C, salvo conoscere il dato dell'ente erogatore su base mensile

Il fabbisogno volumetrico giornaliero è il l/gg con valori di a e Nu definiti nella normativa UNI/TS 11300:2

$$V_W = a\, N_U$$

a	fabbisogno giornaliero specifico [l/(gg□unità di riferimento)]
N_u	parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio [unità di riferimento]

CONSULTARE LA NORMA UNI/TS 11300:2 PER I VALORI di a e N_u (edifici residenziali, alberghi, palestre, scuole,...)

Cenni ai criteri generali di dimensionamento

Alcuni numeri di dimensionamento di «massima»:

Per **ACS** (orientamento SUD, tilt 30 gradi, copertura 60%)

Appartamento 4 persone – 160-360 l/giorno		
Zona (Italia)	Superficie unitaria [m^2/(50 l/giorno)]	Superficie totale teorica [m^2]
Nord	1.2	3.8-8.6
Centro	1.0	3.2-7.2
Sud	0.8	2.6-5.8
Struttura alberghiera con ristorante, 40 ospiti, 4200 l/giorno ($^+$sottovuoto)		
Nord	1.2	67^+ - 101
Centro	1.0	56^+ - 84
Sud	0.8	45^+ - 67

Valutazione economica dell'investimento

Noti i parametri relativi ai costi:

- Costo di investimento dell'impianto I – si attesta sui 1000 euro/m^2
  sono da decurtare incentivi o detrazioni

- Costo dell'energia sostituita attraverso la frazione solare *f*
  e quindi del risparmio energetico R

- Il tasso di interesse i e la durata dell'ammortamento n

E' possibile fare una analisi economica dell'investimento attraverso le valutazioni del

PBP e del VAN calibrando la superficie da installare

$$VAN = -I + R\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n}$$