



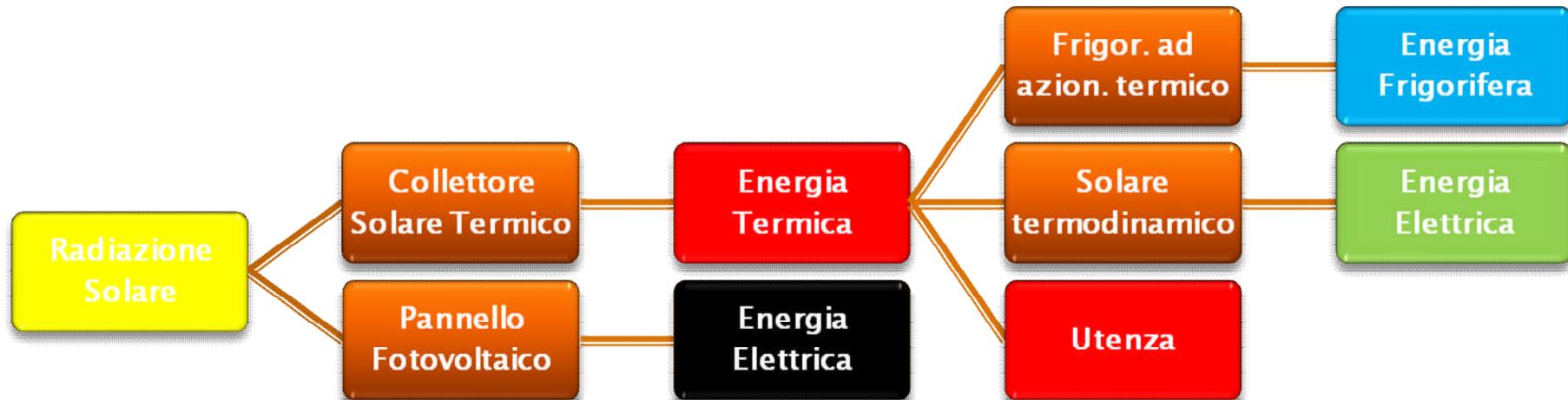
Mostra Convegno sulle Fonti Rinnovabili
e l'Efficienza Energetica nel Mediterraneo
*Conference Exhibition on Renewable Sources
and Energy Efficiency in the Mediterranean*

Collettori per applicazioni SHC (Solar Heating and Cooling)



Ing. Francesco Calise
DETEC – Università degli Studi di Napoli Federico II

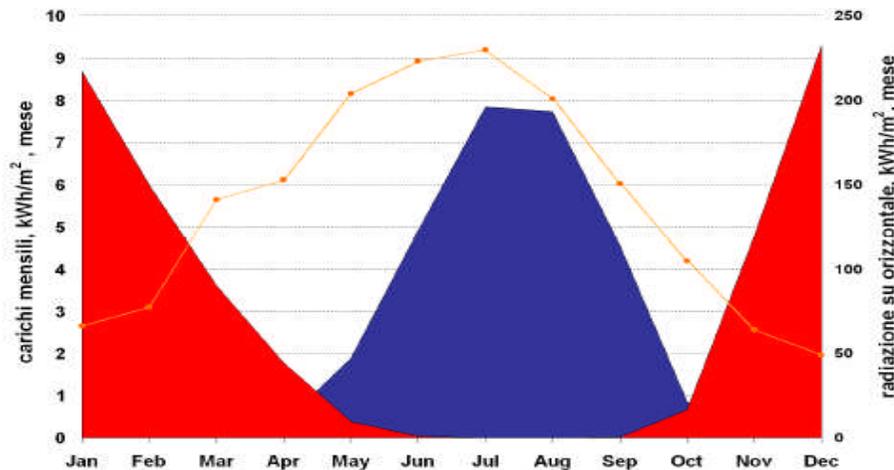
Utilizzo dell'energia solare



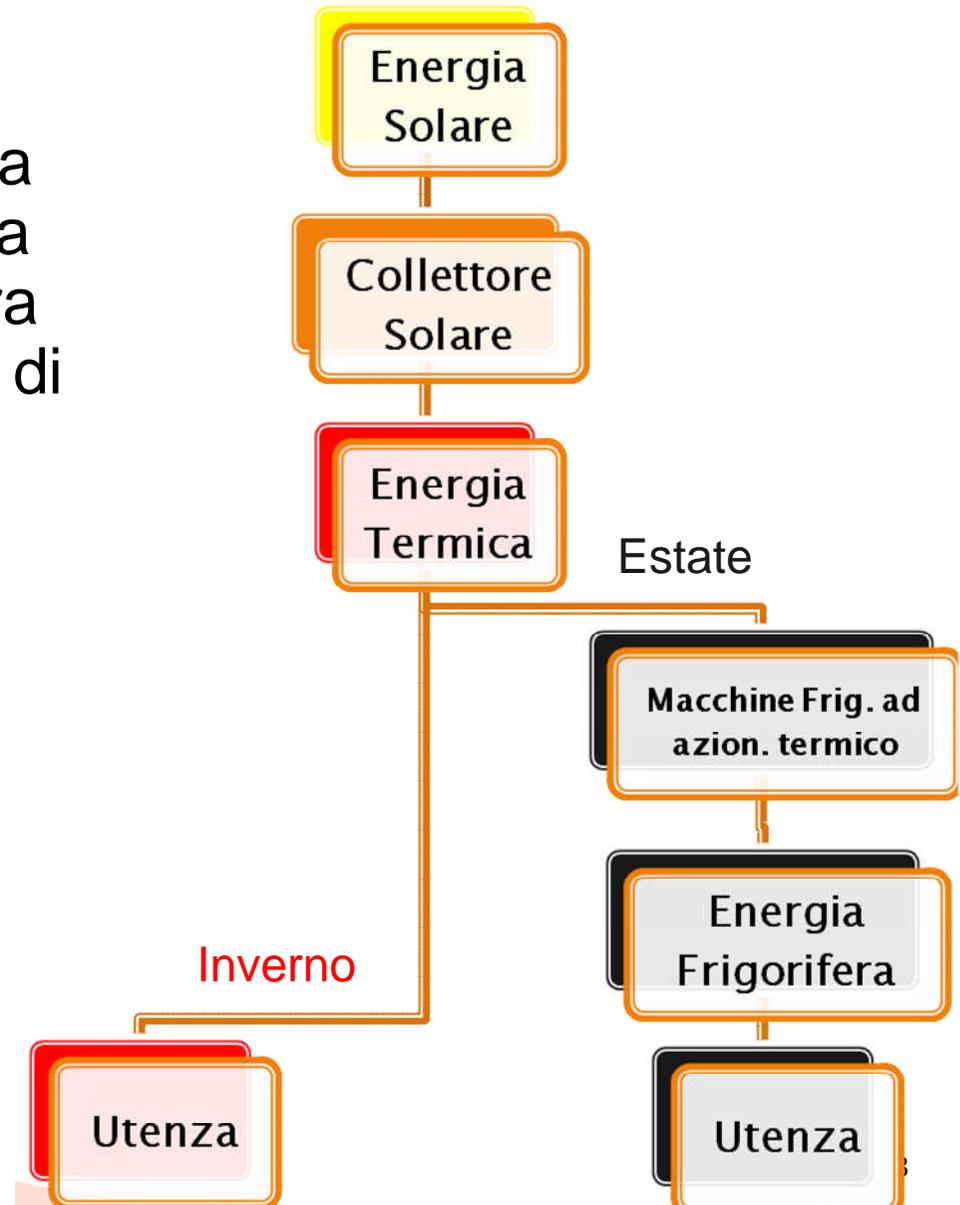
- L'energia proveniente dal sole può essere sfruttata sostanzialmente attraverso due principali tecnologie: il collettore solare e il pannello fotovoltaico.
- Nel collettore solare la radiazione giunge al dispositivo di captazione, viene assorbita dall'assorbitore e trasferita ad un fluido termovettore, che può essere acqua, aria o un fluido diatermico per poi cedere e accumulare questo calore in un apposito serbatoio.
- Il pannello fotovoltaico, invece, sfrutta le proprietà fotoelettriche di alcuni materiali per produrre energia elettrica.

SHC: l'idea di base

L'idea di principio si basa sulla possibilità di utilizzare l'energia termica prodotta dal sole, per la produzione di energia frigorifera simultaneamente alla richiesta di raffrescamento dell'edificio



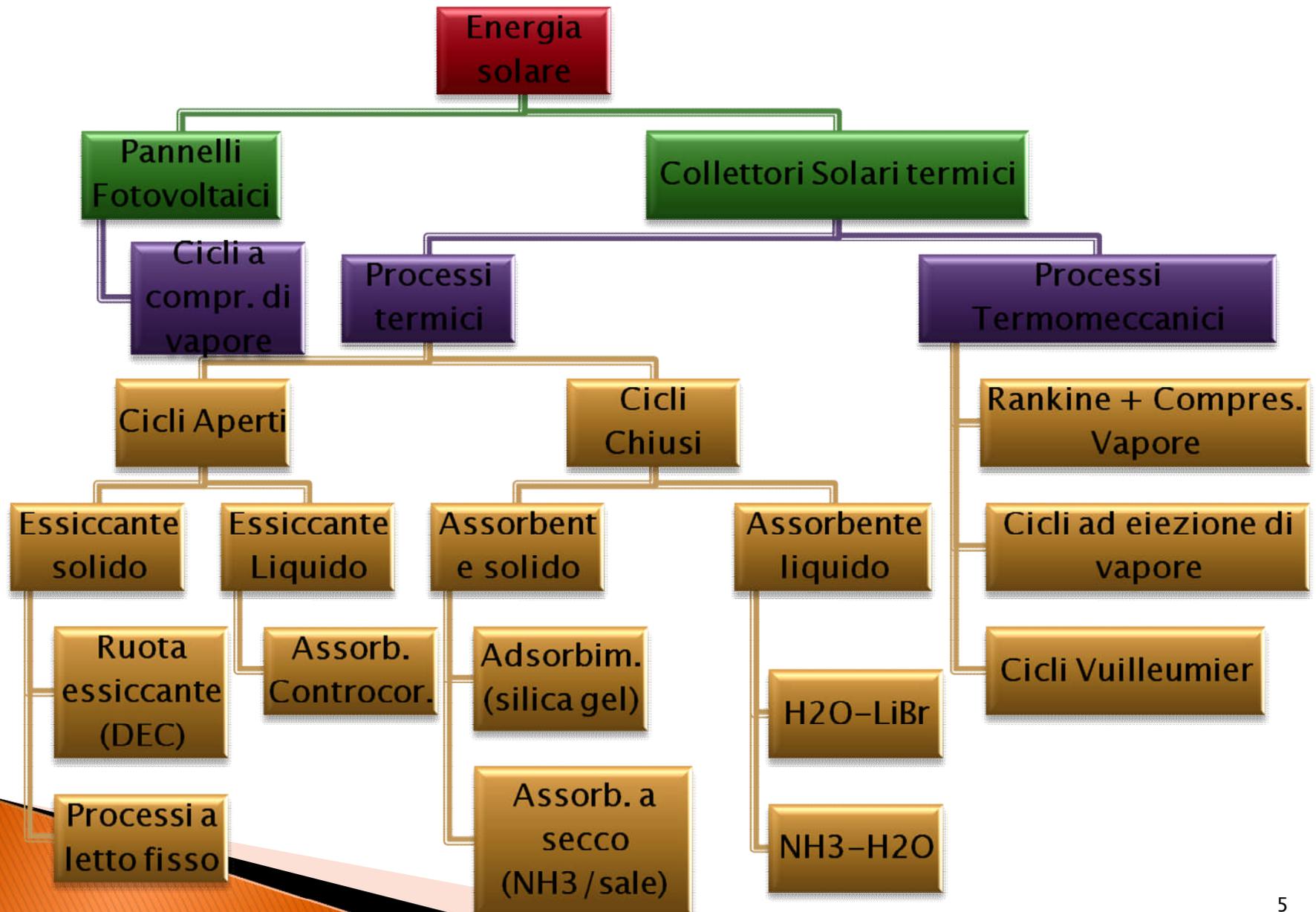
Esempio:
Edificio uffici
Napoli



SHC: pro e contro

- L'idea di principio del SHC nasce principalmente per il funzionamento estivo
- Vantaggi:
 - **La disponibilità di energia solare è simultanea rispetto alla richiesta di energia frigorifera**
 - **Riduzione dei picchi di richiesta di energia elettrica dovuti alla climatizzazione estiva**
 - **Funzionamento sicuro e senza fluidi tossici e danni per l'atmosfera**
 - **“Environmental friendly”**
 - **Risparmio energetico**
 - **Utilizzo dell'energia termica prodotta in inverno come integrazione dell'impianto di riscaldamento**
- Svantaggi
 - **Costi di impianto molto elevati**
 - **Bassa densità di potenza: richiede superfici molto ampie**

SHC: classificazione (1)

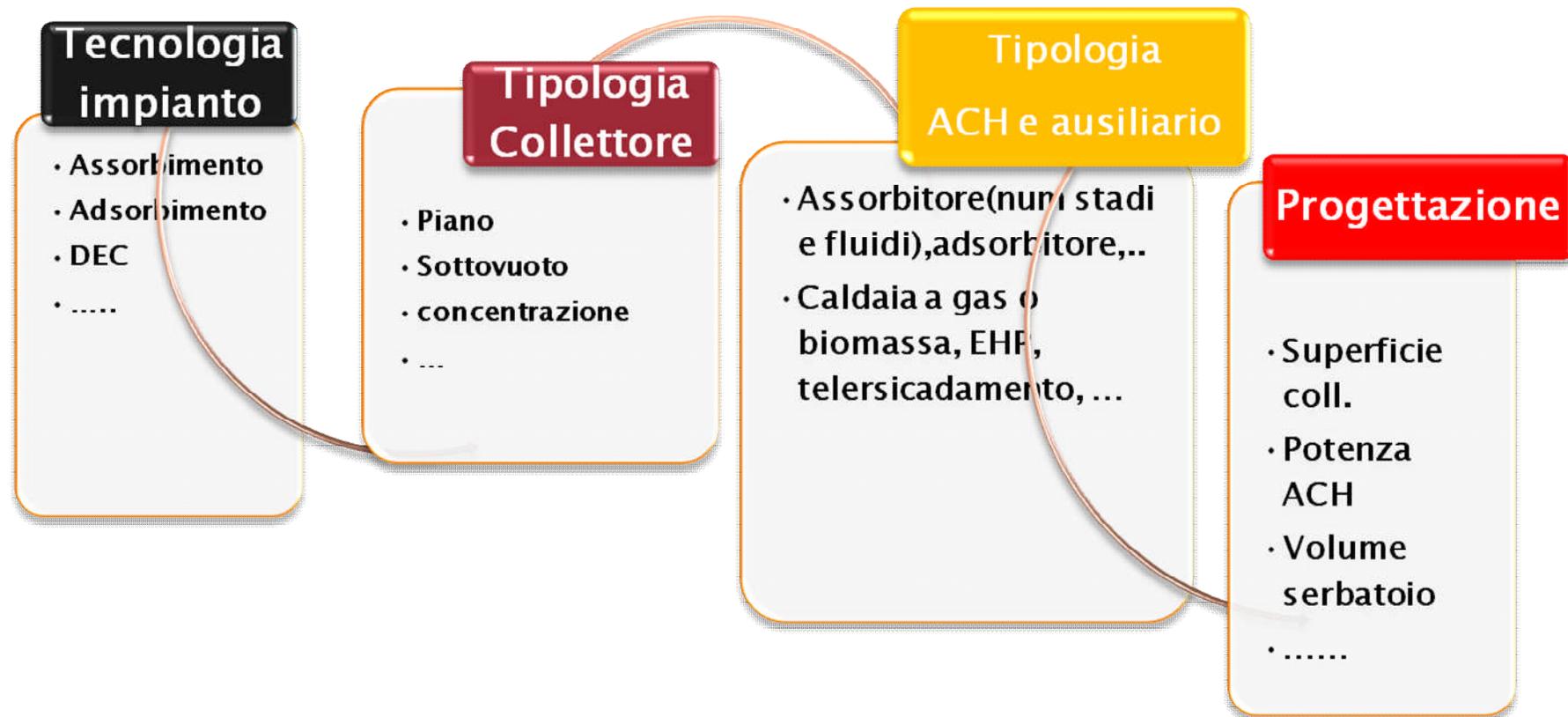


SHC: classificazione (2)

- ▶ L'utilizzo di sistemi fotovoltaici è estremamente raro in quanto la loro redditività è massimizzabile solo con un collegamento alla rete (conto energia e/o scambio sul posto)
- ▶ Assumendo una potenza di picco radiativa per unità di superficie captante di 1000 W/m^2 , le massime potenze frigorifere delle diverse tecnologie sono*:
 - PV+Compressione Vapore: 300 W (1700 €/kWf)
 - SC+Rankine: 300 W (2300 €/kWf)
 - SC+ ACH monostadio: 400 W (600 €/kWf)
 - SC+ ACH bistadio: 600 W (900 €/kWf)
 - SC+ Adsorbimento: 350 W (1700 €/kWf)
 - DEC: 350 W (700 €/kWf)
 - Eiezione di Vapore: 150 W (1700 €/kWf)

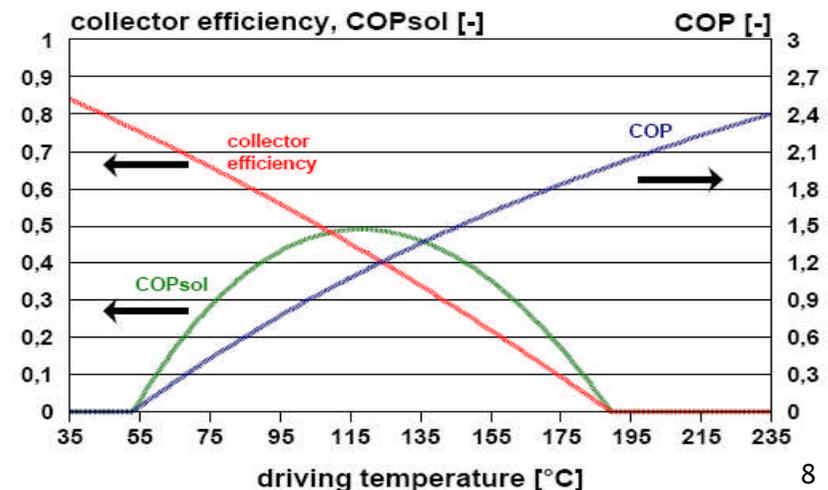
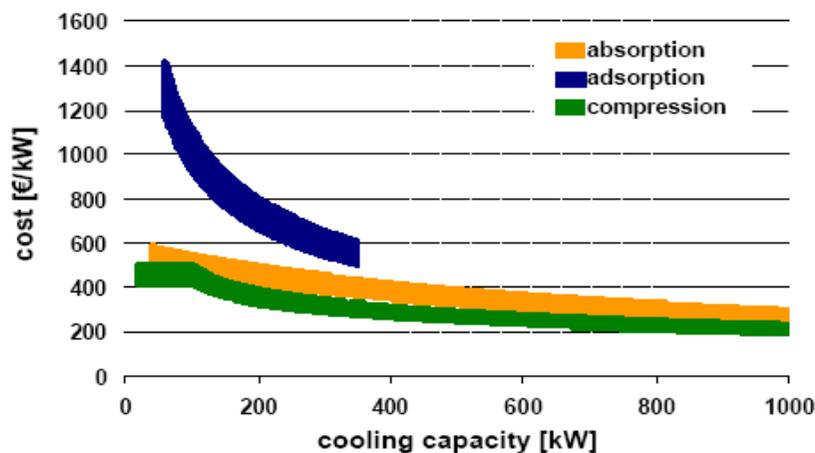
* D.S. Kim et al., Int. J. of Refrigeration, 2008

SHC: scelta della tecnologia(1)



SHC: scelta della tecnologia(2)

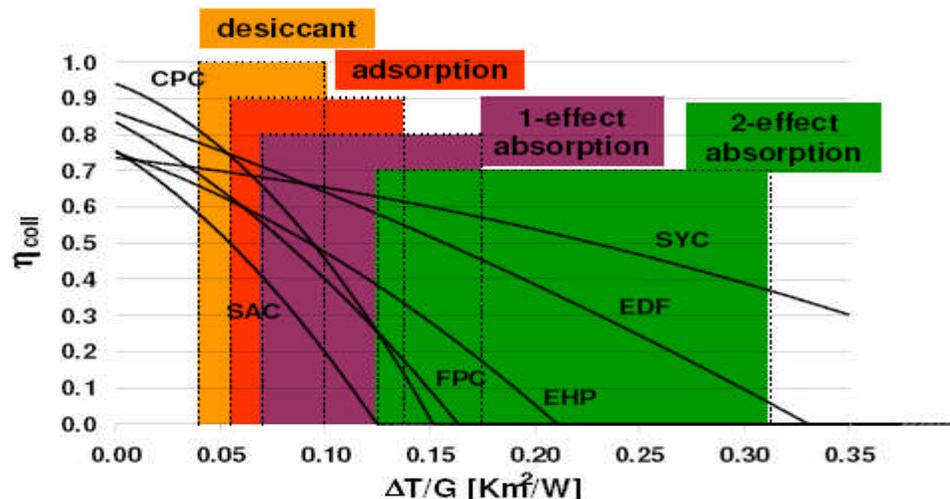
- ▶ In primo luogo è necessario selezionare la tipologia di impianto SHC. In generale, i cicli ad eiezione e Rankine vengono scartati perché troppo costosi e poco efficienti
- ▶ Le applicazioni DEC sono invece dedicate a climi specifici e strettamente legate all'impianto di climatizzazione ad aria
- ▶ In tutti gli altri casi la scelta è fra assorbimento ed adsorbimento.
- ▶ La gran parte degli impianti SHC esistenti si basa su cicli ad assorbimento che rappresentano il miglior compromesso fra costi ed efficienza
- ▶ Il parametro discriminante, $COP_{sol} = COP \cdot \eta_{coll}$, è funzione della temperatura di uscita dai collettori



SHC: scelta della tecnologia(3)

- ▶ Il valore ottimale della temperatura di uscita dai collettori varia in funzione dei parametri “esterni” (radiazione incidente, carico termico e frigorifero, etc).
- ▶ Si è visto che nei climi mediterranei la combinazione collettori a concentrazione + assorbitore bistadio consegue il massimo COP_{sol} , tuttavia è usata solo raramente in quanto:
 - I costi di impianto sono molto elevati
 - La disponibilità commerciale e l’affidabilità dei collettori a concentrazione è scarsa
- ▶ Ne deriva che la stragrande maggioranza degli impianti SHC utilizza assorbitori monostadio (H₂O–LiBr) e collettori solari ad alta efficienza (prevalentemente a tubi evacuati)

SAC = collettori aria
CPC = stationary CPC
FPC = collettori piani sup. selettiva
EHP = Tubi evacuati heat-pipe
EDF = Tubi evacuati flusso diretto
SYC = Concentratori stazionari, Sydney-type



SHC: sistema di backup

- ▶ In quasi tutti i sistemi SHC è previsto un sistema ausiliario che produce energia termica e/o frigorifera in caso di scarsa radiazione e/o alto carico
- ▶ Le possibili alternative sono:
 - Caldaia a gas: è posta a monte dell'ACH ed a valle dei collettori; la combinazione caldaia + ACH è molto poco efficiente: si usa solo per impianti piccoli e con elevate frazioni solari
 - Caldaia + EHP: in estate interviene la caldaia che alimenta l'ACH in caso di scarsa radiazione; in inverno l'energia termica ausiliaria è fornita da una pompa di calore
 - EHP: a differenza del caso precedente, in estate, in caso di scarsa radiazione, viene spento l'ACH ed attivata la pompa di calore. È utilizzato in impianti di grandi dimensioni e/o basse frazioni solari per climi mediterranei
 - Cogenerazione
 - Teleriscaldamento
 - Caldaia a biomassa

SHC: dimensionamento componenti

- ▶ Valori tipici di $3 \text{ m}^2/\text{kW}_f$ consentono di coprire circa il 75 % del carico frigorifero utilizzando l'energia solare
- ▶ Numerosi studi hanno dimostrato che la redditività degli impianti SHC cresce quando questi sono dimensionati su una piccola parte del carico (20–30%), specialmente se l'integrazione è realizzata con EHP. Nei casi di SHC con caldaia di backup (piccoli impianti) la redditività è massima per F_{sol} prossima al 75%
- ▶ Fondamentale è il dimensionamento del serbatoio di accumulo posto fra il loop solare e l'assorbitore. Valori comunemente adottati variano da 25 a 150 L/m² di collettore. Il valore ottimale dipende molto dal carico termico/frigorifero e dall'irraggiamento
- ▶ In alcuni casi sono stati implementati sistemi di accumulo “innovativi”, quali:
 - Serbatoi a volume variabili e/o sistemi di più serbatoi
 - Serbatoi a calore latente (ad es. eutettici)
 - Serbatoi chimici
- ▶ Non esiste una norma tecnica condivisa per il dimensionamento degli impianti SHC: lo strumento migliore per la progettazione degli impianti SHC è la **SIMULAZIONE DINAMICA**

Collettori piani ed a concentrazione

- Per i *collettori piani* (e per tutte sue le varianti) l'area della superficie che assorbe la radiazione è pari a quella che intercetta la radiazione solare; questi vengono impiegati in impianti a bassa temperatura.
- I *collettori a concentrazione o a foccheggiamento*, invece, hanno normalmente dei riflettori concavi o dei campi di specchi che concentrano la radiazione incidente sull'area totale del riflettore su uno scambiatore di calore di area minore e pertanto investito da un flusso di energia maggiore; vengono impiegati in i applicazioni medie o alte (fino a 3000°C nelle fornaci solari).



Figure 2.2-1. Trough Plant



Figure 2.2-2. Dish/Stirling System



Figure 2.2-3. Thermal Storage



Figure 2.2-4. Linear Fresnel System



Figure 2.2-5. Advanced Power Towers

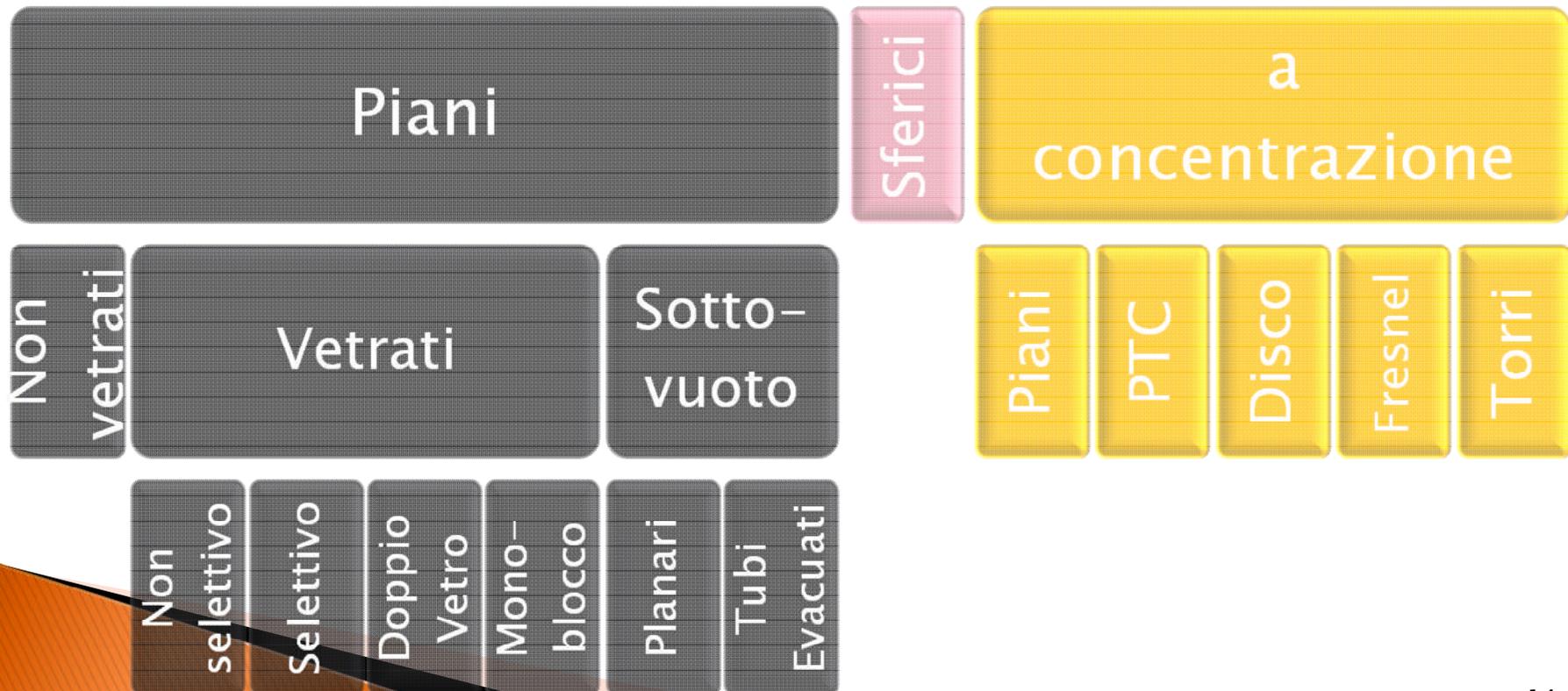
Classificazione dei sistemi di captazione solare

- I dispositivi di captazione possono essere classificati in base alla temperatura del fluido termovettore e al rapporto di concentrazione Cr , definito come il rapporto tra la superficie di ammissione dell'irraggiamento solare non concentrato e la superficie di assorbimento del dispositivo, nonché rispetto alla capacità di utilizzare le tre forme di radiazione solare.

Tipologia	Temperatura operativa del fluido (°C)	Rapporto di concentrazione Cr	Radiazione captata		
			diretta	diffusa	riflessa
Centrali solari					
Sistemi a torre	500 ÷ 1000	100 ÷ 1000	●	○	○
Concentratori					
Parabolici	300 ÷ 800	50 ÷ 1000	●	○	○
Cilindro - parabolici	150 ÷ 350	10 ÷ 80	●	○	○
Pannelli solari					
Collettori sotto vuoto	100 ÷ 200	1	●	●	●
Pannelli piani	40 ÷ 120	1	●	●	●

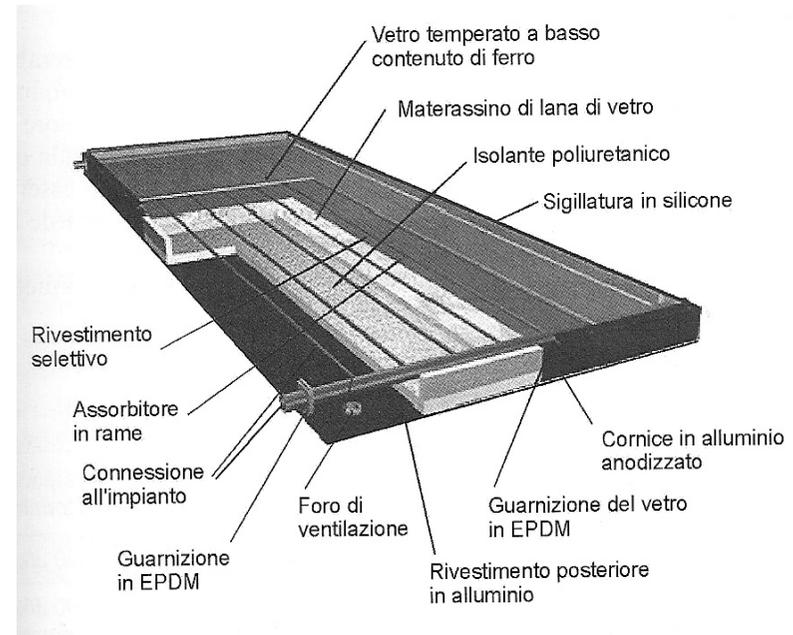
Classificazione dei sistemi di captazione solare (3)

Collettori Solari



Collettori piani vetrati

- Presentano un ottimo rapporto qualità prezzo
- Hanno una durata non inferiore a 20 anni
- Forniscono acqua calda dai 30°C ai 60°C
- Possono essere a superficie non selettiva, per l'utilizzo prevalentemente estivo
- Possono essere a superficie selettiva, con costi decisamente maggiori, per l'utilizzo su tutto l'anno
- Sono utilizzati prevalentemente per la produzione di ACS, in rari casi anche per il riscaldamento invernale



Collettori piani vetrati (1)

assorbitore

- La piastra assorbente ,quindi,funzionando da collettore di energia solare deve garantire un elevato assorbimento di energia e una ridotta capacità di emissione di calore. Essa può essere caratterizzata attraverso il proprio indice di merito definito dal rapporto tra il fattore di assorbimento α della superficie nella banda visibile e il fattore di emissione ϵ nella banda infrarossa
- Dal punto di vista termico, le principali caratteristiche dell'assorbitore devono, dunque, essere le seguenti:
 - elevato coefficiente di assorbimento α_λ nello spettro solare;
 - basso coefficiente di emissione ϵ_λ nello spettro infrarosso in cui avviene il reirraggiamento;
 - buona conducibilità termica del materiale che lo compone;
 - buon coefficiente di scambio con il fluido termovettore;
 - bassa capacità termica.

Collettori piani vetrati (2)

assorbitore

- L'elemento assorbente, d'altra parte, deve fornire anche garanzie di stabilità ed affidabilità nel tempo, e quindi garantire parallelamente anche le seguenti prestazioni:
 - resistenza meccanica alle sollecitazioni (pressione, urti);
 - mantenimento delle proprietà ottiche nel lungo periodo;
 - inalterabilità rispetto alle temperature raggiungibili;
 - peso limitato;
 - inattaccabilità rispetto ai fenomeni di ossidazione e corrosione.
- Tenuto conto delle esigenze individuali, l'assorbitore viene generalmente realizzato tramite una lamina di metallica in rame, alluminio o acciaio inox, con spessore generalmente variabile tra 0,15 e 2 mm, a secondo del materiale e della qualità del prodotto

Materiale della piastra	Spessore consigliato	Peso per unità d'area frontale	Conducibilità termica	Capacità termica
Rame	0,3 mm	2,5-3 kg/m ²	386 W/mK	350 J/kgK
Alluminio	0,6 mm	2 kg/m ²	164 W/mK	900 J/kgK
Acciaio	2 mm	15-20 kg/m ²	50 W/mK	450 J/kgK

Collettori piani vetrati (3)

assorbitore

- Nei prodotti più recenti si preferisce dotare la piastra di uno strato superficiale selettivo, capace di attribuirle proprietà differenti rispetto ai diversi spettri radiativi e cioè di aumentarne la capacità di assorbimento nel visibile, riducendo al tempo stesso le dispersioni nell'infrarosso.
- A questo scopo si può ricorrere a trattamenti chimici, elettrolitici o meccanici per l'applicazione di particolari sostanze o la realizzazione di finiture superficiali che consentono di ottenere la desiderata selettività.

Materiale di rivestimento	Substrato	Coefficiente di assorbimento α (spettro solare)	Coefficiente di emissività ϵ (infrarosso)
Nero di nickel (nickel e solfuri di zinco e nickel)	rame	0,95	0,07
Nero di nickel su nickel	acciaio	0,95	0,07
Nero di cromo su nickel	acciaio	0,95	0,09
Nero di cromo (ossidi di cromo)	rame	0,95	0,15
Nero di cromo	acciaio	0,91	0,07
Nero di cromo	acciaio galvanizzato	0,95	0,16
Nero di rame (ossidi di rame)	rame	0,88	0,08
Ossido di ferro	acciaio	0,85	0,08
Ossido di manganese	alluminio	0,70	0,08
Rivestimento organico su ossido di ferro	acciaio	0,90	0,16
Rivestimento organico su nero di cromo	acciaio	0,94	0,20
Tinox (ossido di nitrito di titanio)	rame	0,96	0,04

Collettori piani vetrati

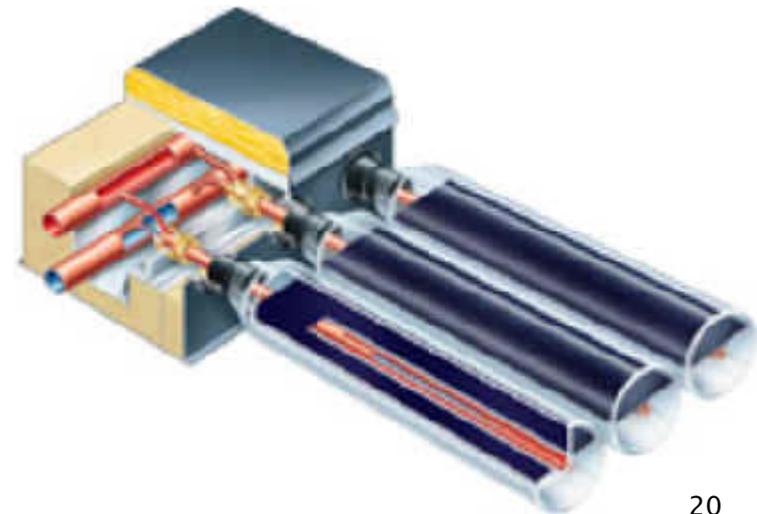
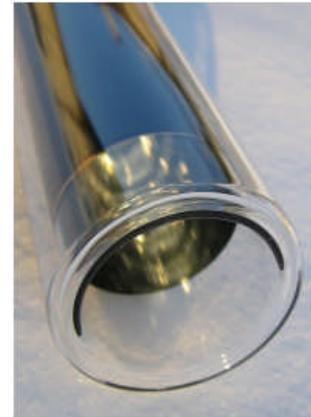
Isolamento termico

Materiale	Conducibilità λ (W/mK)	Resistenza termica per spessore di 10 cm (m^2K/W)	Temperatura massima di funzionamento continuo ($^{\circ}C$)
Lana di roccia	0,05	2	200
Lana di vetro	0,05	2	160
Vetro espanso (foam glass)	0,057	1,75	150
Poliuretano espanso	0,027	3,7	110
Polistirolo espanso	0,04	2,5	80

- Per aumentare l'efficacia dell'isolamento, un buon accorgimento consiste nell'interporre tra la piastra assorbente ed il retrostante materassino di coibentazione un foglio di materiale riflettente nell'infrarosso, per impedire perdite radiative posteriori. Analogamente, l'isolante laterale può essere rivestito da materiale riflettente nel visibile, in modo da recuperare una parte della radiazione incidente nel collettore ma al di fuori della piastra.

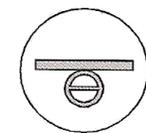
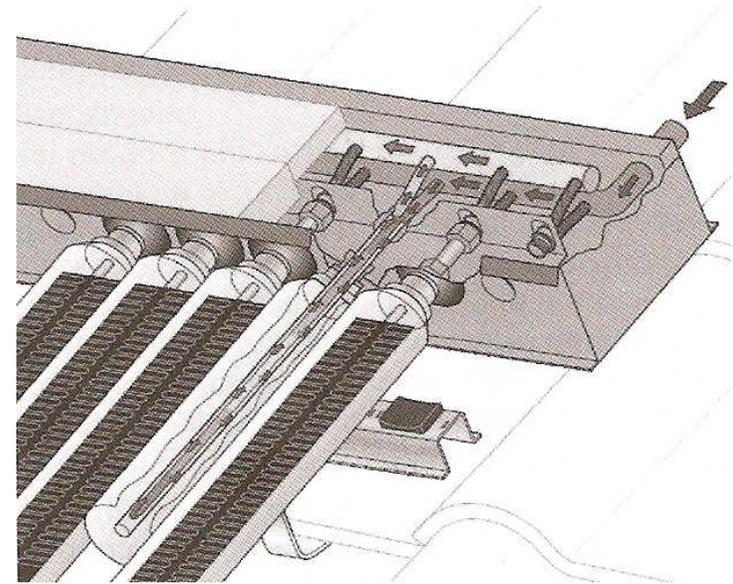
Collettori sottovuoto (1)

- ▶ Eliminano le perdite per convezione
- ▶ L'assorbitore è portato sottovuoto in un tubo di vetro
- ▶ Il vuoto risulta un ottimo isolante termico anche ad alte differenze di temperature
- ▶ Hanno alti rendimenti anche d'inverno
- ▶ Il loro rendimento è superiore del 15% rispetto ai collettori a piastra
- ▶ Forniscono acqua fino a 100°C
- ▶ Subiscono una lenta degradazione nel tempo
- ▶ Il loro costo è ancora più elevato, rispetto ai collettori piani
- ▶ Sono forniti con un concentratore per massimizzarne le prestazioni

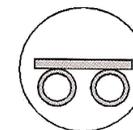


Collettori sottovuoto (2)

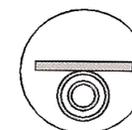
- ▶ Esistono diverse tipologie di collettori sottovuoto:
 - Piani: derivano dai piani standard, ricavando il vuoto nella camera fra vetro ed assorbitore. Sono poco diffusi per problemi di tenuta meccanica ed al vuoto
 - Tubolari: l'intero involucro è rappresentato da un cilindro cavo con camera nel quale è fatto il vuoto. Risolvono i problemi di tenuta dei Piani
 - Tubolari a tubo diretto: sono ricavati dai precedenti ma il tubo di vetro è senza camere interne
 - A tubo di calore



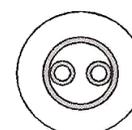
Tubo compartimentato



Tubo ad U



Tubo coassiale



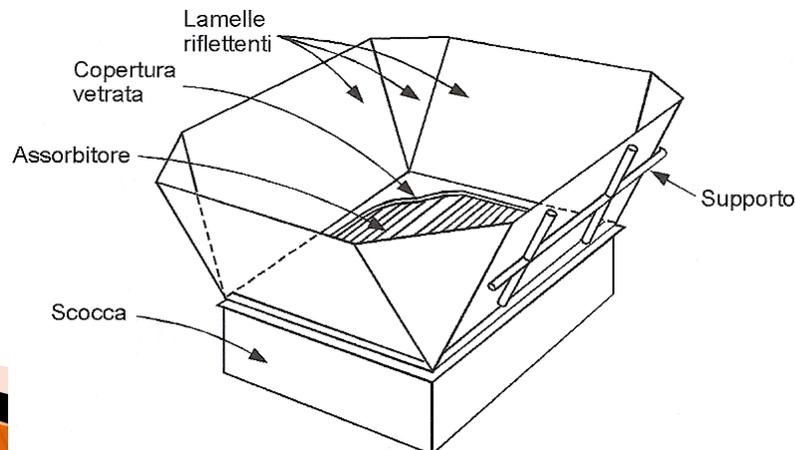
Sidney

Collettori a concentrazione

- ▶ I collettori di questo tipo, in sostanza, consentono, di aumentare la superficie captante e diminuire contemporaneamente quella disperdente e godere di tutta una serie di vantaggi, tra cui i principali sono:
 - temperature del fluido termovettore in uscita più elevate;
 - maggiori efficienze termodinamiche in cui sono utili temperature superiori ai 100 °C;
 - maggiori efficienze di conversione connesse alle minori dispersioni;
 - costi inferiori a parità di superficie di ammissione e quindi di radiazione captata;
 - maggior risparmio su materiali e trattamenti relativi all'assorbitore.
- ▶ Bisogna, d'altra parte, riscontrare anche alcuni fattori critici come:
 - maggiori complessità dei prodotti;
 - minori sensibilità rispetto alla radiazione diffusa;
 - necessità di impiego di sistemi ad inseguimento per l'ottimizzazione delle prestazioni;
 - impiego di superfici riflettenti, spesso deperibili nel lungo periodo

Collettori concentratori piani

- le prestazioni dell'elemento tradizionale vengono migliorate aumentandone l'apertura effettiva. Oltre ad investire la copertura trasparente, infatti, la radiazione solare investe anche le alette riflettenti che la circondano e, grazie alla loro inclinazione, viene deviata sul vetro e lo attraversa, aumentando l'energia utile che raggiunge l'assorbitore.
- In questo caso si parla di bassa concentrazione, con rapporto C_R raramente superiore a 2, ma si ottiene una buona capacità di sfruttamento tanto della frazione diretta quanto di quella diffusa e non si rivela necessario ricorrere a dispositivi per l'inseguimento del Sole.



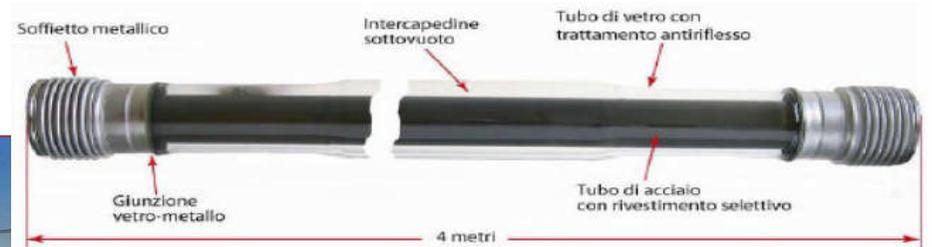
Collettori parabolici composti

- I collettori parabolici composti, o CPC (compound parabolic collectors), sono corredati da concentratori non focalizzati a profilo parabolico, disposte in modo da formare tante sezioni ad U parallele tra loro.
- La struttura così realizzata viene interposta tra la piastra di copertura e l'assorbitore
- Possono sfruttare anche la radiazione diffusa, in maniera inversamente proporzionale rispetto allo specifico rapporto C_R , che oscilla, in genere, tra 3 e 6. Non è indispensabile abbinarli a sistemi ad inseguimento



Collettori a parabole lineari

- ▶ Un collettore cilindro-parabolico, o PTC (parabolic trough collector), è costituito da un concentratore cilindrico a sezione parabolica, e da un assorbitore tubolare, disposto per tutta la lunghezza del collettore in corrispondenza del fuoco delle parabola.
- ▶ Il concentratore, viene fabbricato sagomando opportunamente per piegature delle lamine in metallo lucidato, oppure con degli specchi concavi, oppure ancora applicando su superfici curvate pellicole adesive riflettenti.
- ▶ A protezione del condotto cilindrico viene di solito installato un involucro di protezione in vetro
- ▶ Il campo operativo della piastra oscilla normalmente, infatti, tra i 50 °C ed i 300 °C, ma si possono raggiungere anche i 400 °C. Per questo motivo si devono impiegare appropriati fluidi termovettori,

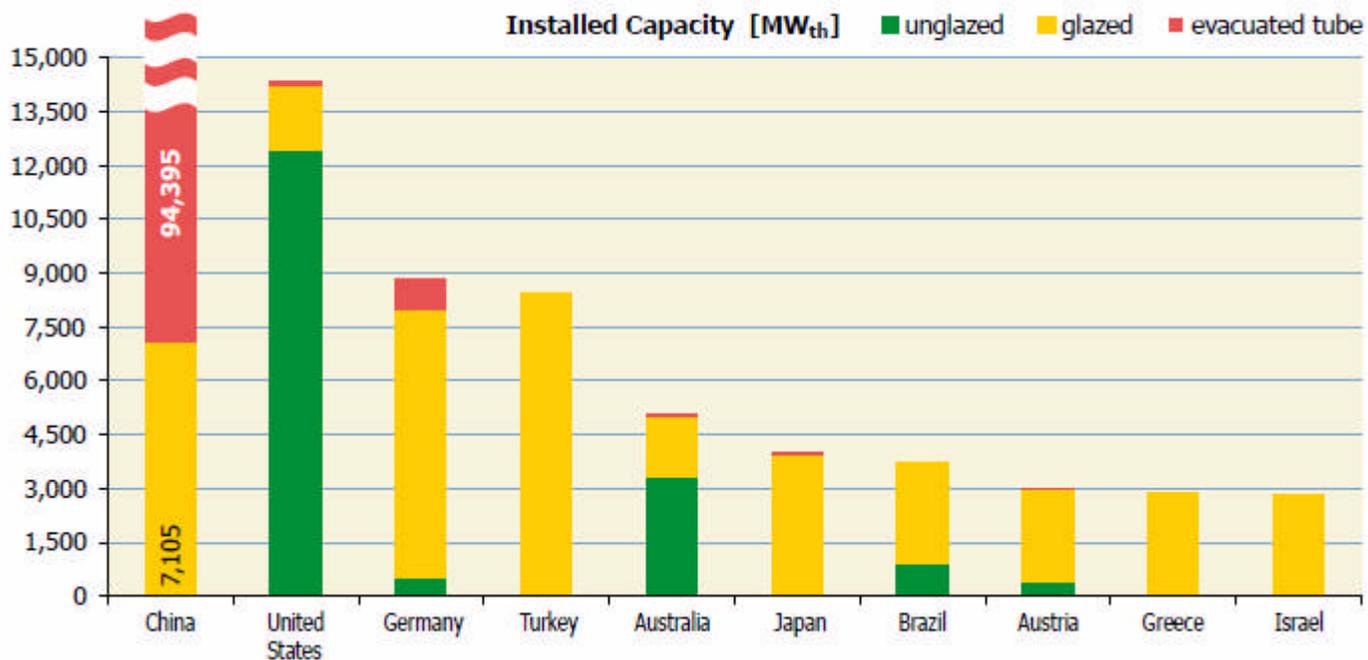


Linear Fresnel Reflector

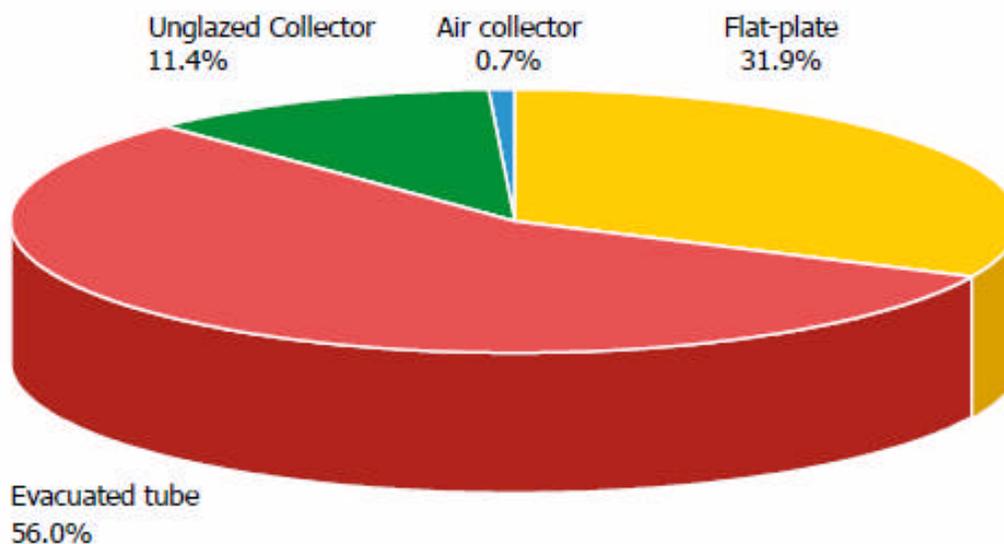
- ▶ Si fonda su una schiera di specchi, disposti secondo il principio della lente di Fresnel, che concentrano la radiazione solare su un ricevitore fisso montato su una torre.
- ▶ La movimentazione ad un solo asse riguarda solo il concentratore, mentre il tubo è fisso
- ▶ Si possono infatti utilizzare concentratori piani o curvati elasticamente che sono più economici rispetto ai concentratori parabolici.
- ▶ Inoltre, i LFR sono montati vicini al suolo, il che riduce gli elementi strutturali richiesti.
- ▶ Una difficoltà con i LFR è evitare i fenomeni di ombreggiatura e di blocco della radiazione riflessa che si possono verificare tra due concentratori adiacenti, questo porta ad aumentare le distanze tra un concentratore e l'altro con maggiore necessità di spazio per l'impianto
- ▶ I CLFR utilizzano più ricevitori; con questo accorgimento i concentratori possono inviare la radiazione riflessa in più direzioni evitando così fenomeni di ombreggiamento: questo ovviamente compatta l'impianto



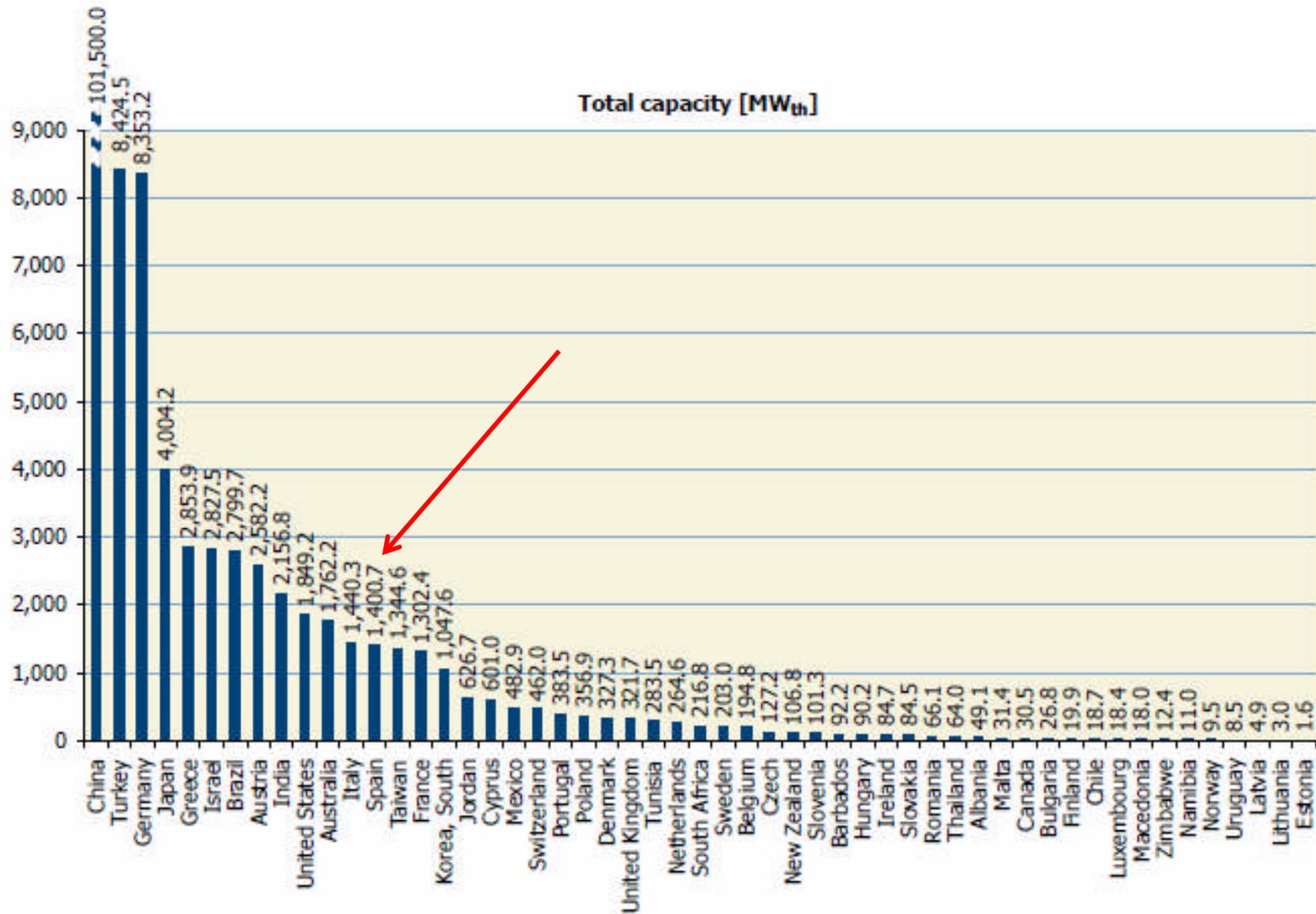
Distribuzione tecnologie



Fonte: Solar Heat Worldwide
2009, 2011 Edition

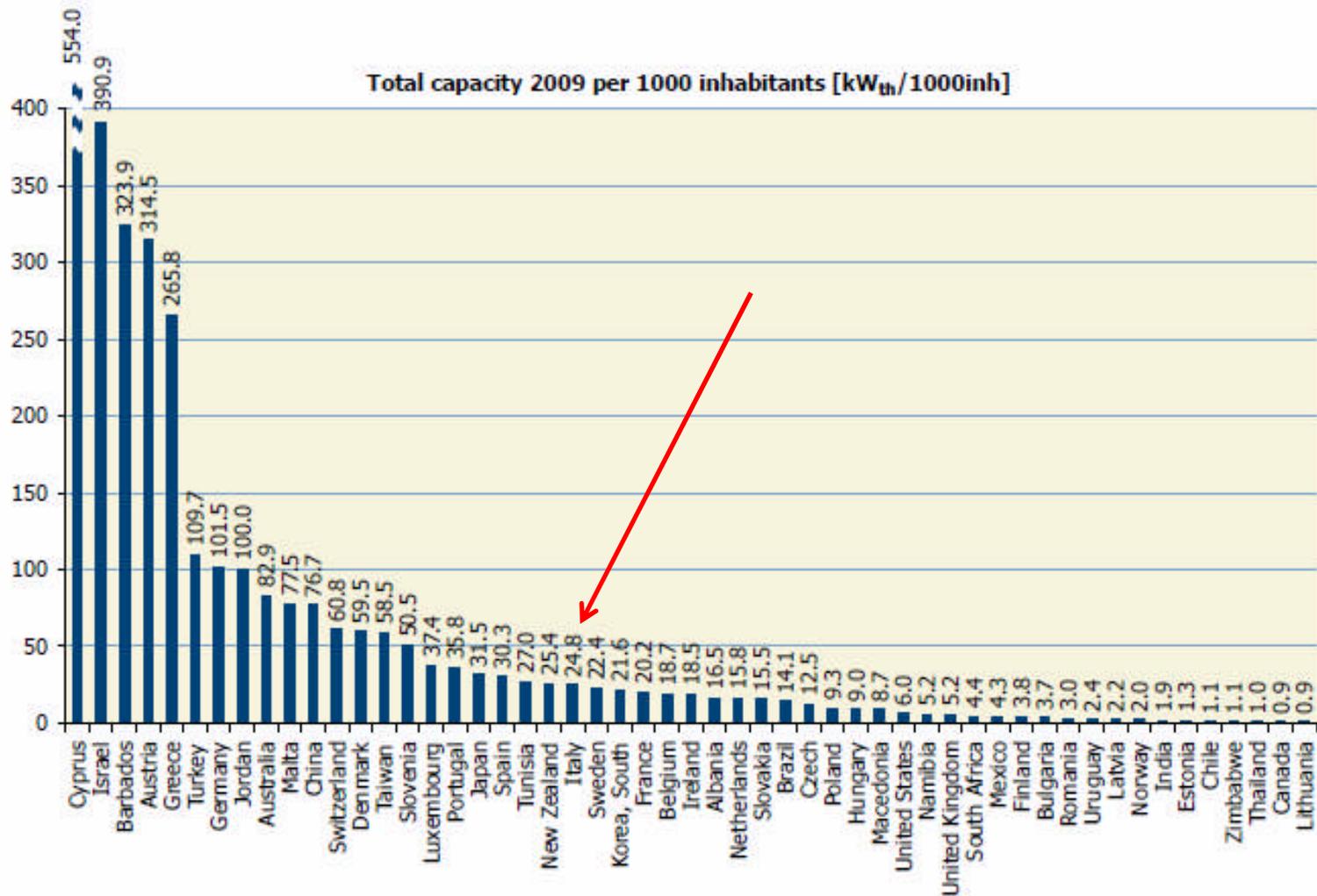


Potenza installata – collettori piani ed a tubi evacuati (fine 2009)



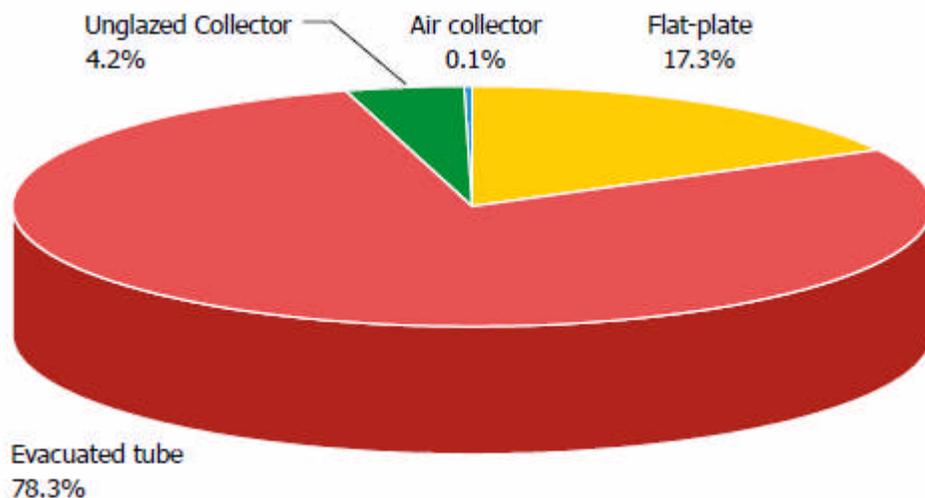
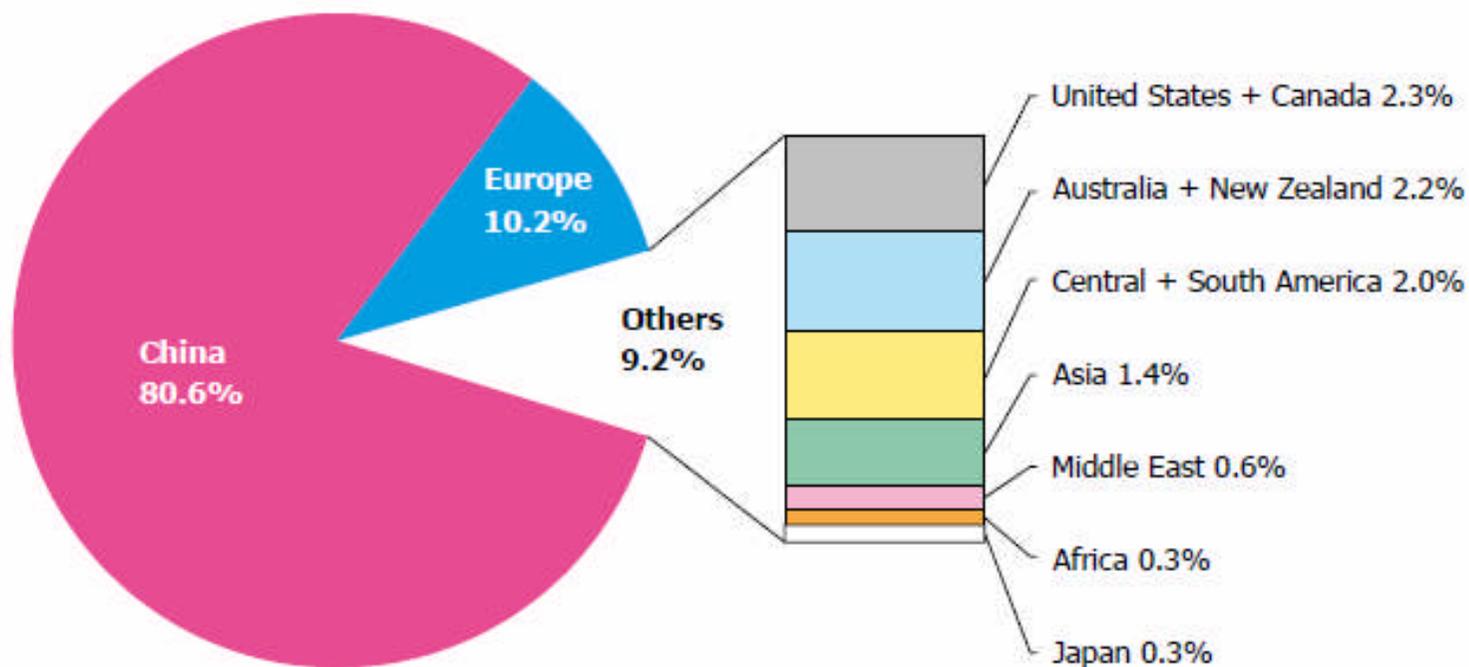
Fonte: Solar Heat Worldwide 2009, 2011 Edition

Potenza installata/numero abitanti – collettori piani ed a tubi evacuati (fine 2009)



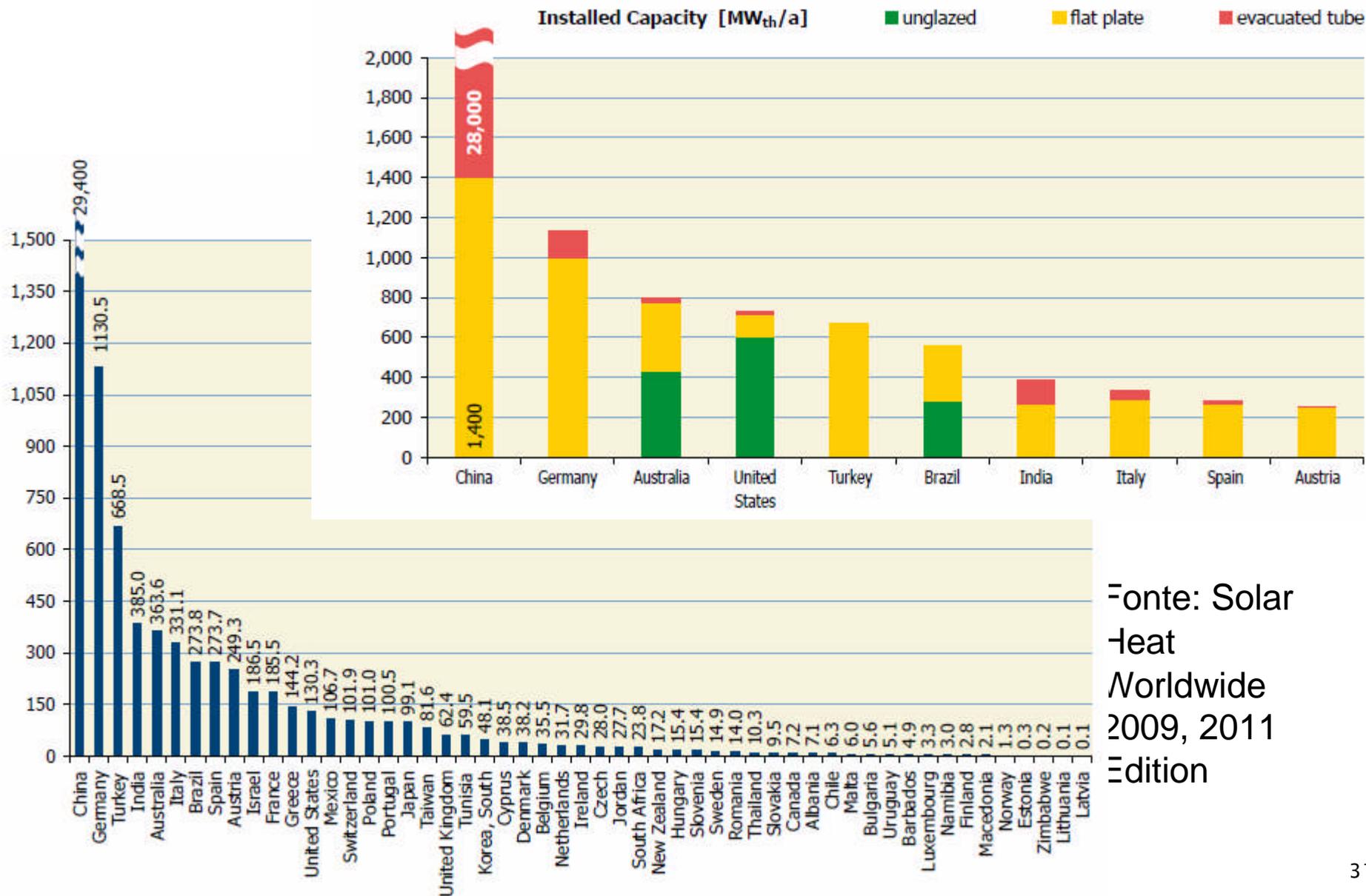
Fonte: Solar Heat Worldwide 2009, 2011 Edition

Nuovi collettori installati nel 2009



Fonte: Solar Heat Worldwide 2009, 2011 Edition

Nuovi collettori installati nel 2009



Fonte: Solar Heat Worldwide 2009, 2011 Edition