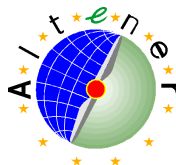


Solar Cooling: aspetti tecnologici


Mario Motta
Dip. Energetica, Politecnico di Milano

I SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO AD ENERGIA SOLARE
Tecnologie, realizzazioni e mercato

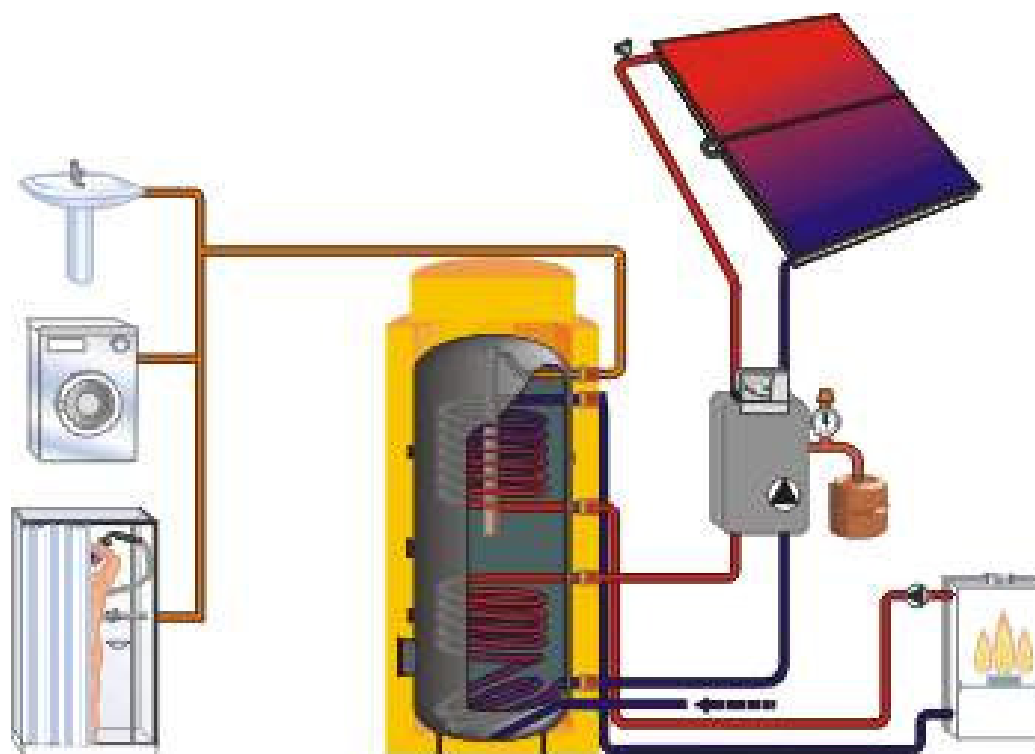
17 Marzo 2005 - Milano



- Perché usare l'energia solare per il condizionamento...
- Tecnologie e sistemi realizzati
- Collettori solari e Solar Cooling
- Sommario e conclusioni



Principio di funzionamento degli impianti solari termici

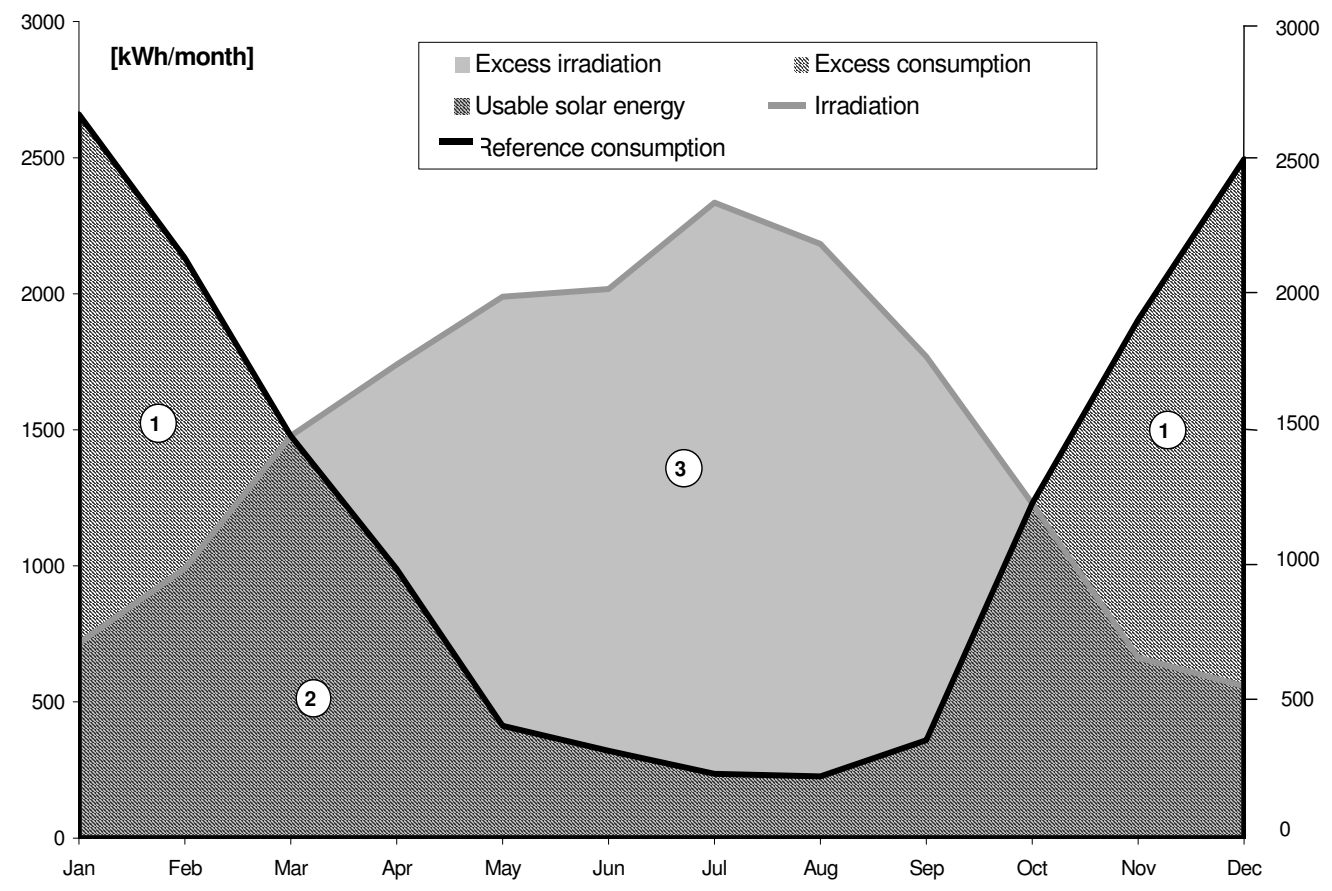


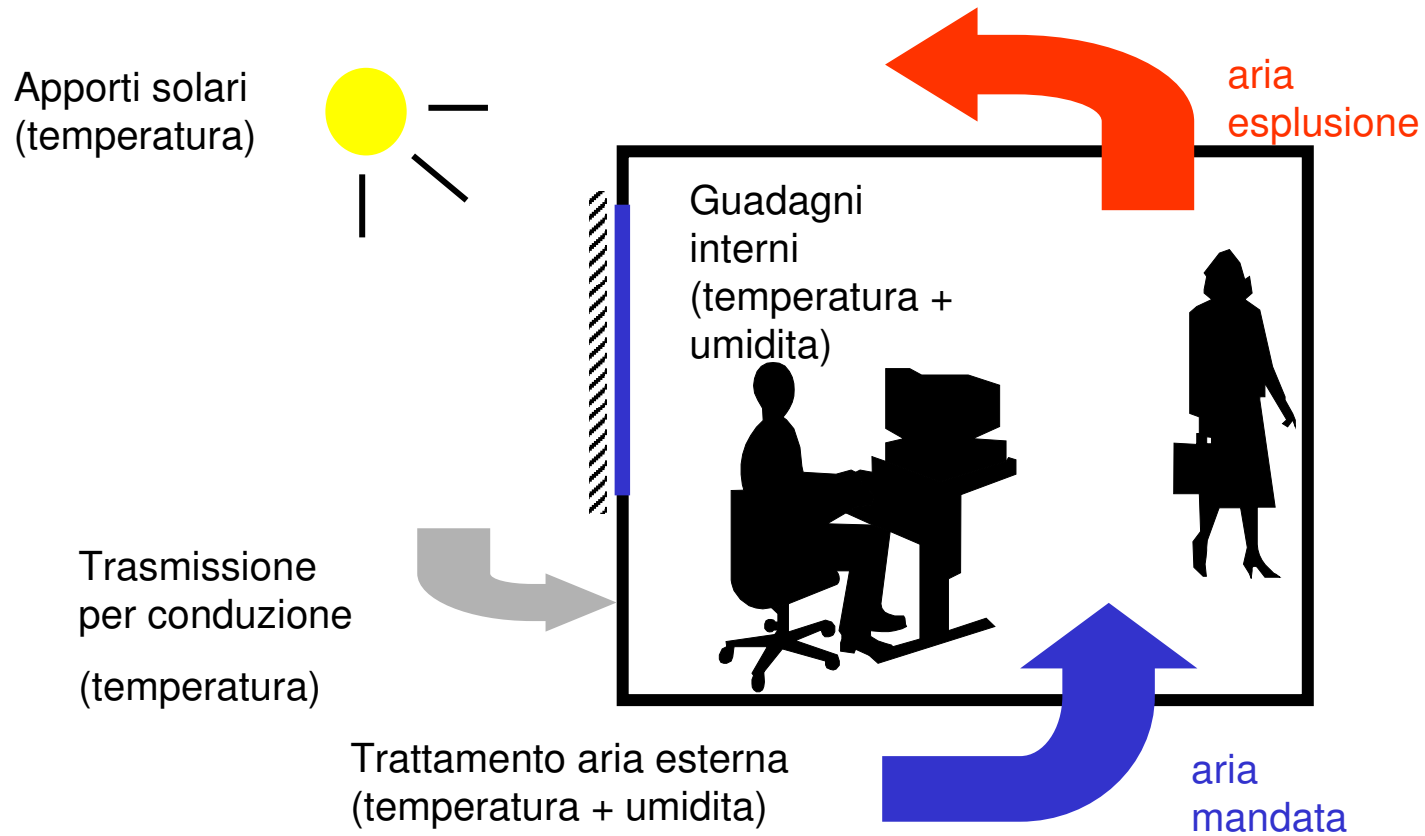
- Acqua calda sanitaria (DHW)
- Riscaldamento degli edifici + DHW
- Reti di teleriscaldamento
- Piscine

- Climatizzazione dell'aria/refrigerazione
- Utenze industriali
- Produzione di energia elettrica

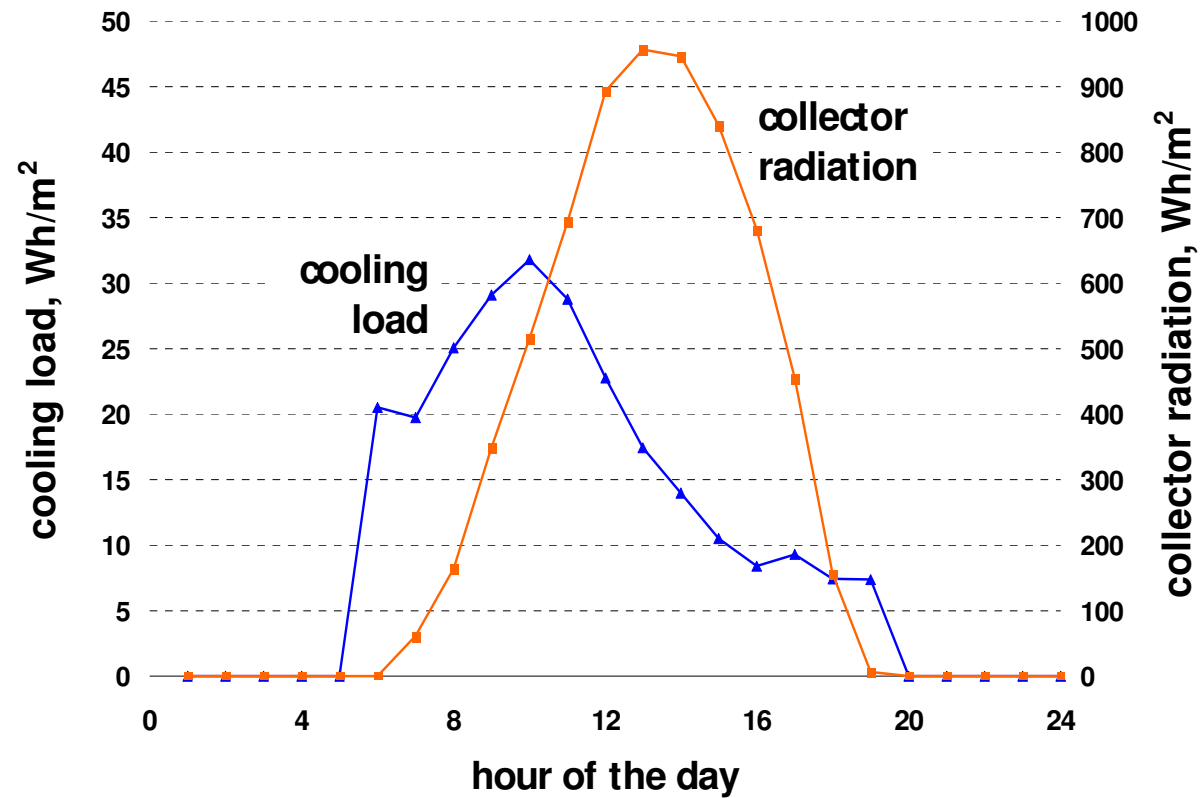
Riscaldamento + DHW: domanda calore ed energia solare disponibile

Source: TU-GRAZ

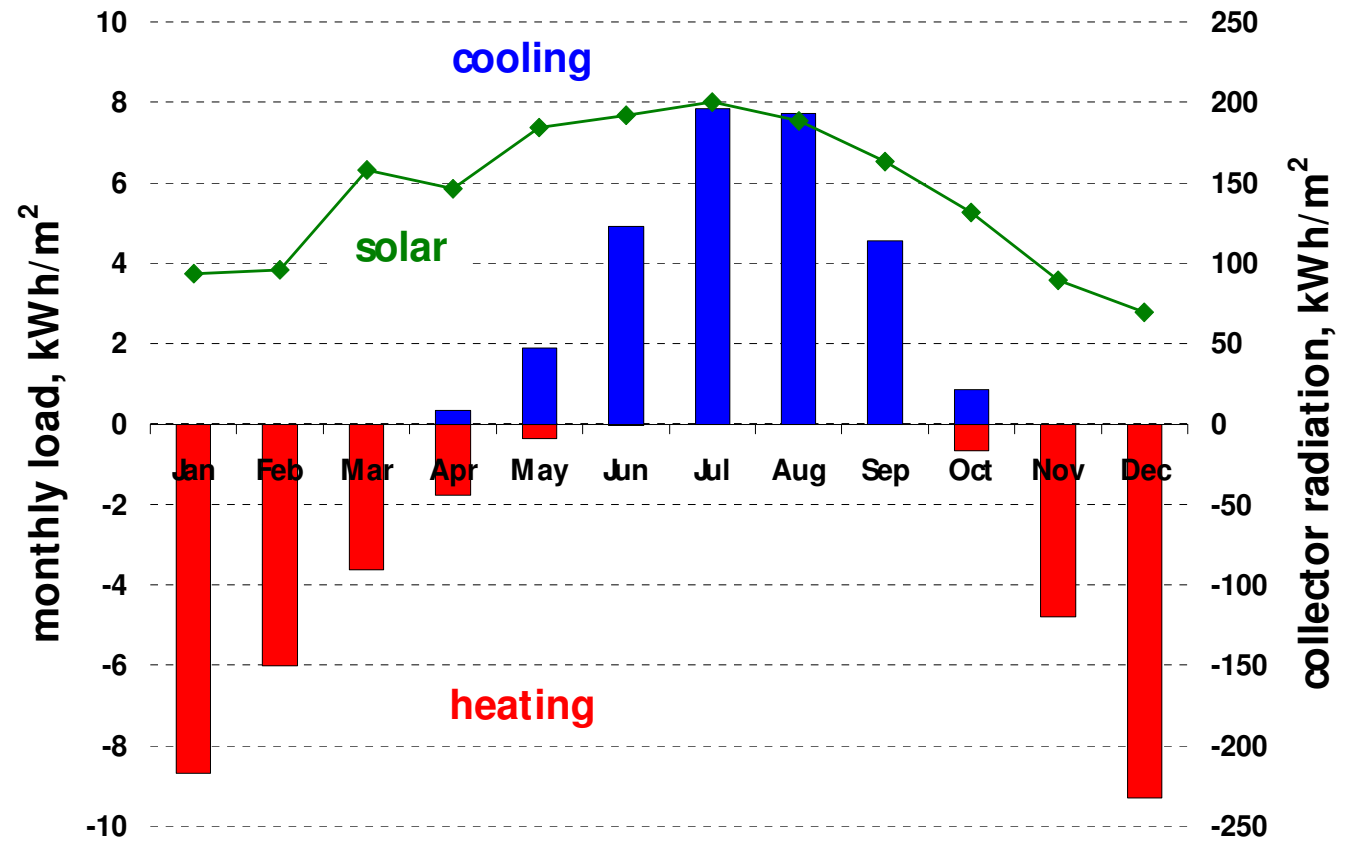




Esempio:
Edificio uffici in
Madrid
giorno di Luglio



Esempio profili annuali



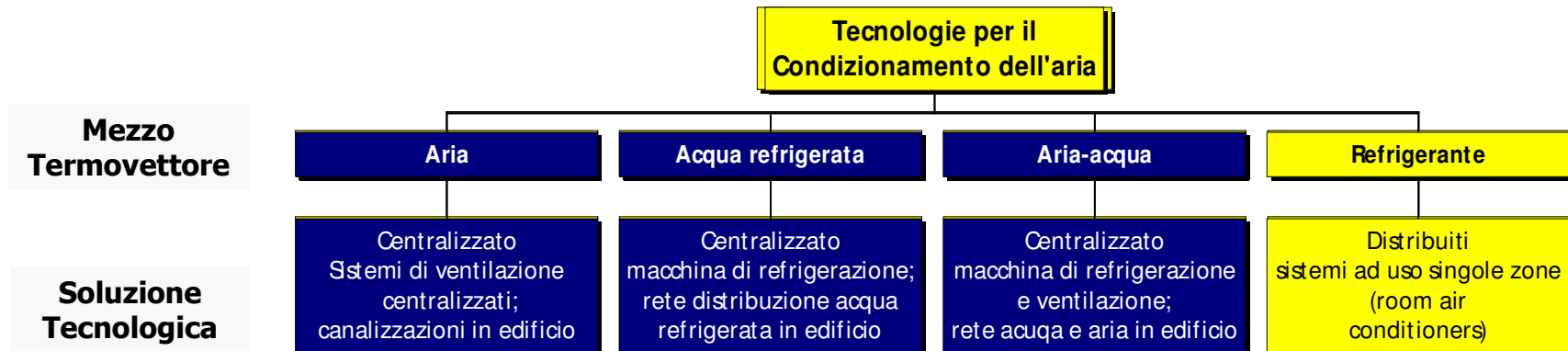
Esempio:
Edificio
uffici Madrid

| | carichi | Correlazione con radiazione |
|--|--|--|
| Carichi correlati a fattori climatici | Guadagni radiativi attraverso parti trasparenti dell'involucro dell'edificio | ++ Eventuale sfasamento temporale funzione principale orientamento |
| | Conduzione attraverso l'involucro dell'edificio | + Sfasamento temporale dovuto all'inerzia termica dell'edificio |
| | Salti entalpici legati a flussi di massa (temperatura e/o umidità dell'aria esterna) | + - Correlazione prevalentemente su base stagionale |
| Carichi interni | Persone, macchinari illuminazione artificiale | Funzione del tipo di edificio, uso; Esempi: ufficio: + Prevale uso diurno Residenziale: - Prevale uso serale hotel: + - (picco carico serale) |

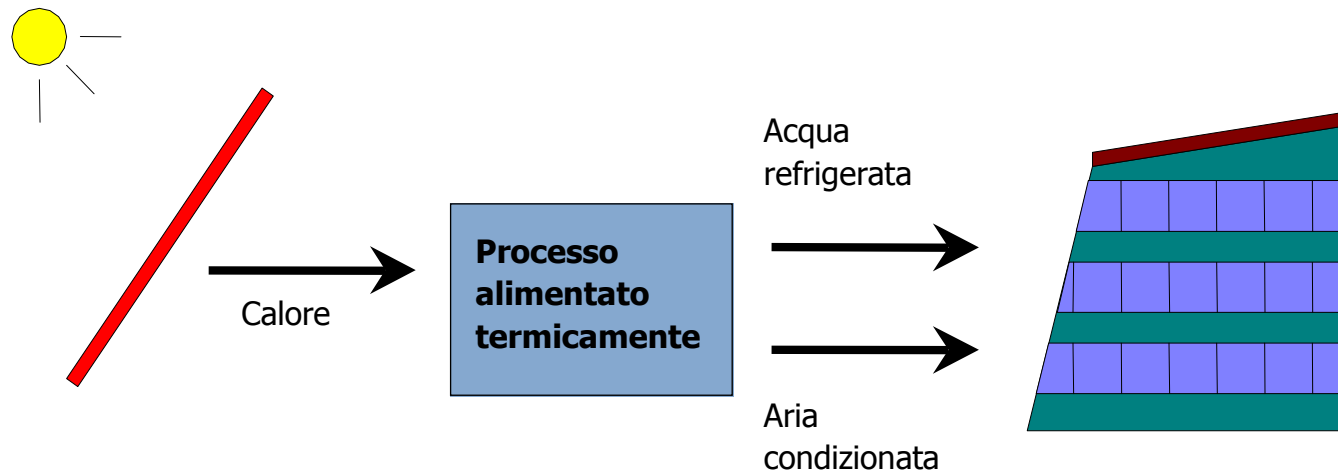
Perchè usare l'energia solare per il condizionamento...

- **Carichi di condizionamento e guadagni solari sono in fase:** su base stagionale - esiste fabbisogno di condizionamento quando c'è più sole!?
- **Utenti finali:** risparmi in termini di energia primaria e riduzione dei picchi di potenza di elettricità dovuti al condizionamento (refrigerazione, deumidificazione)
- **Industria del Solare Termico:** miglior utilizzo degli impianti, utilizzare l'energia solare tutto l'anno. Ammortamento più rapido e possibilità di coprire più ampia parte del fabbisogno.

- Perché usare l'energia solare per il condizionamento...
- Tecnologie utilizzabili per il solar cooling
 - ✓ Generalita
- Collettori solari e Solar Cooling
- Sommario e conclusioni

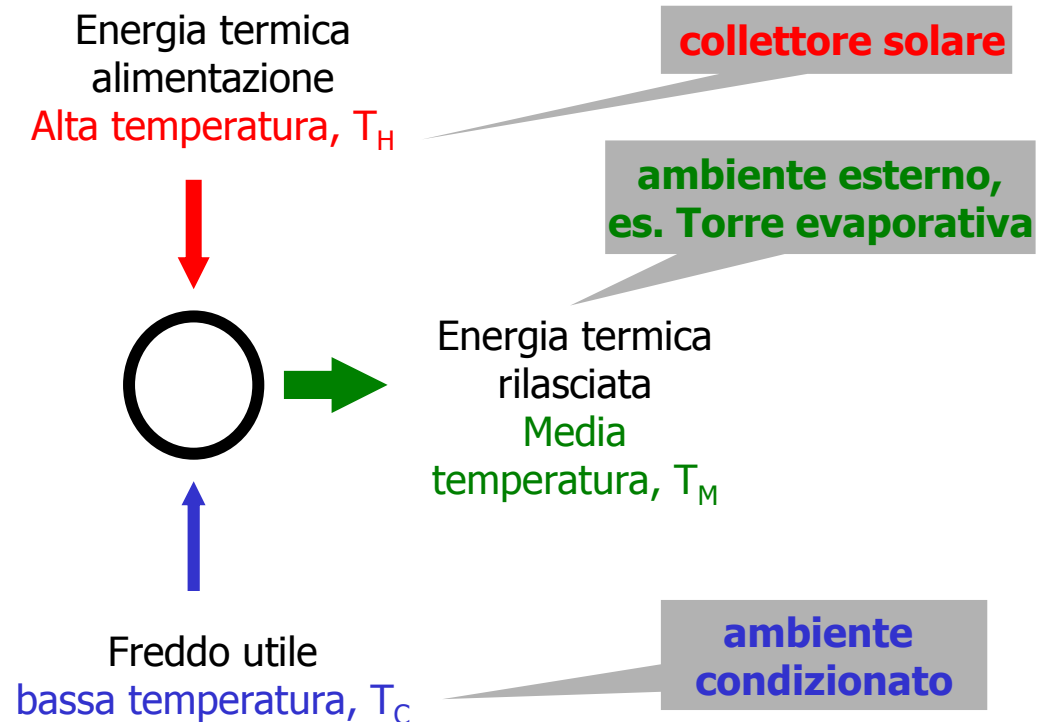


- oggi non sono disponibili soluzioni tecnologiche che consentano di sostituire i sistemi distribuiti con sistemi alimentati ad energia solare termica
- solo sistemi centralizzati possono essere oggetto di applicazione basate sullo sfruttamento di energia termica (solare)



- Produzione di freddo a partire da una sorgente di calore
- Possibilità di produzione di aria e/o acqua condizionata per applicazioni di condizionamento centralizzate
- Maggiore complessità rispetto a sistemi tradizionali di conseguenza si rende necessaria l'adozione di strumenti progettuali adatti

Schema ciclo di condizionamento



Coefficient of Performance
(COP_{thermal})

$$= \frac{\text{freddo utile}}{\text{calore alim.}}$$

Esempio

Collettori piani con
superficie selettiva

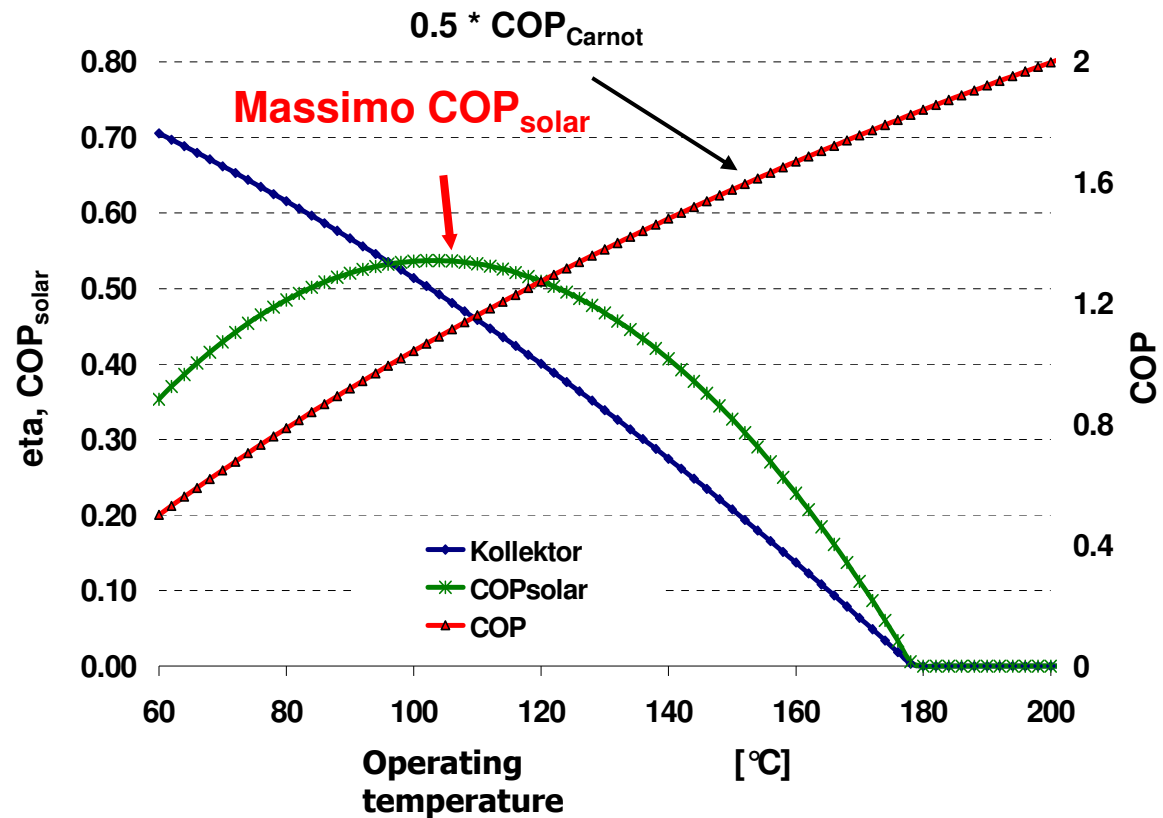
Radiazione
1000 W/m²

COP = 0.5
*COP_{ideal}

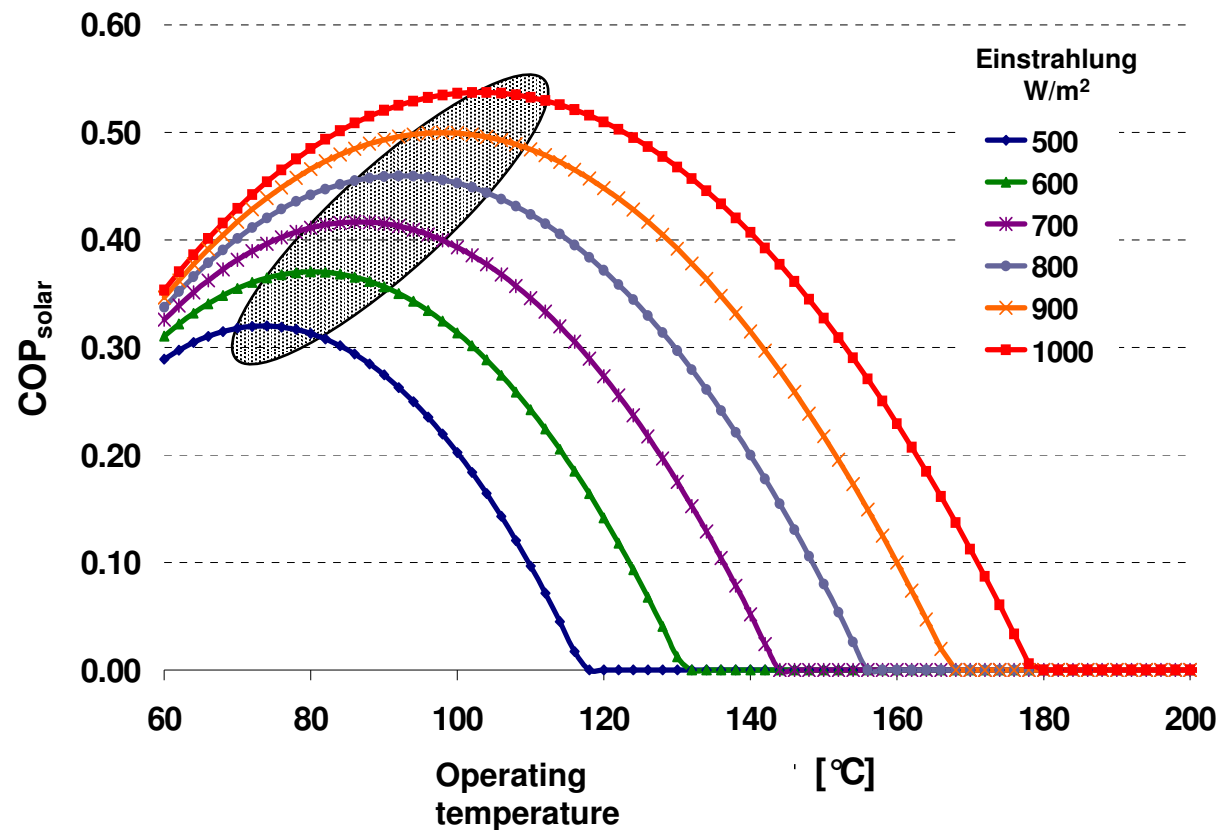
COP_{sol} =

COP_{thermal} *

$\eta_{\text{Kollektor}}$



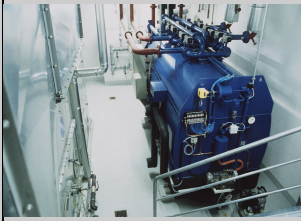
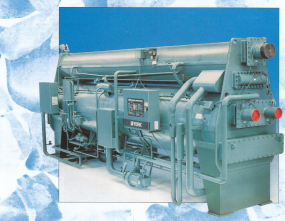


==> temperatura di ottimo a cui fornire energia termica dipende dalla radiazione incidente



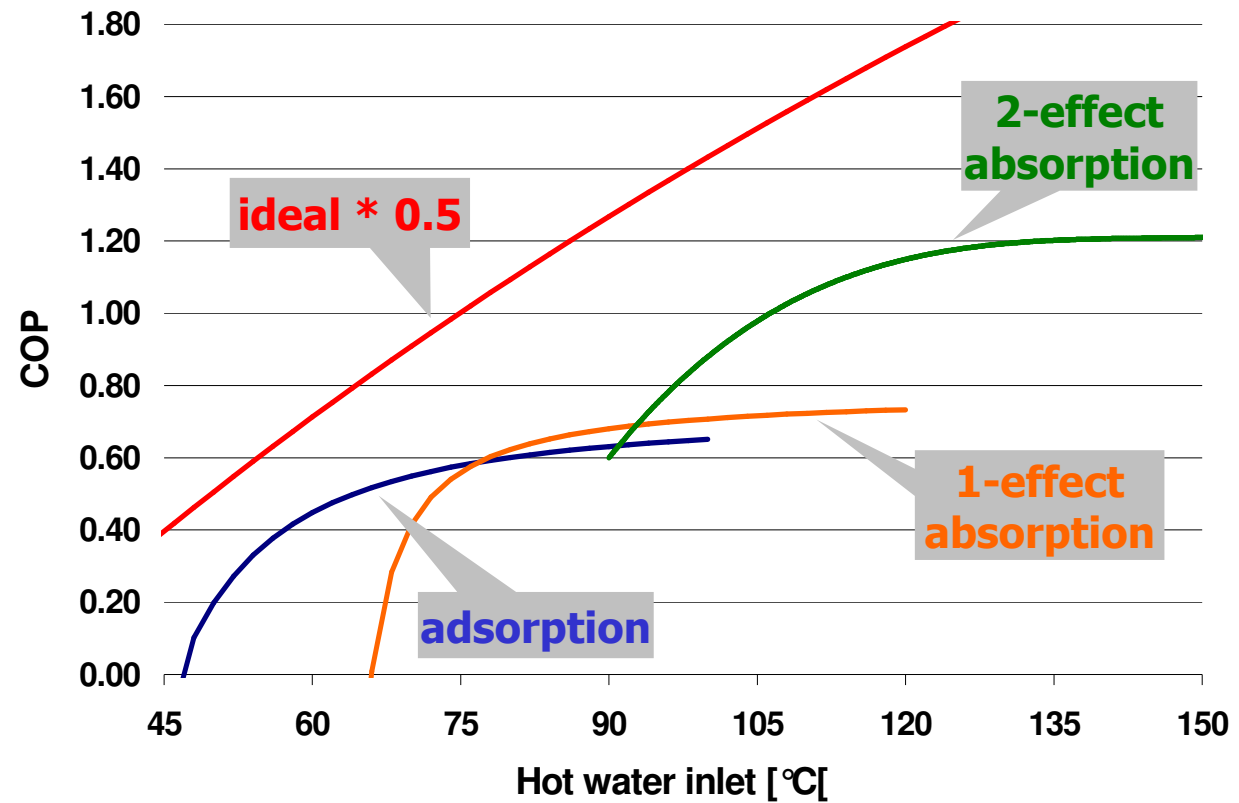
- Perché usare l'energia solare per il condizionamento...
- Tecnologie utilizzabili per il solar cooling
 - ✓ Cicli chiusi e cicli aperti
- Collettori solari e Solar Cooling
- Sommario e conclusioni

- **Sistemi a ciclo chiuso (macchine di refrigerazione alimentate ad energia termica)**
 - Macchine ad **assorbimento** (80% mercato) e ad **adsorbimento**
 - Usati nella maggior parte dei casi per la produzione di acqua fredda
 - Qualsiasi tecnologia di distribuzione del freddo (e.g. Sistemi di ventilazione, fan-coils, superfici radianti,...)

- **Sistemi a ciclo aperto basati su combinazione raffreddamento evaporativo e deumidificazione (sistemi DEC)**
 - trattamento diretto dell'aria
 - Sempre necessario rete distribuzione del freddo basato su sistema di ventilazione
 - Sistemi sul mercato usano scambiatori rotativi o materiale adsorbente in forma liquida

| | Cicli chiusi Produzione acqua refrigerata | | Cicli aperti Condizionamento aria diretto | |
|--------------------------------------|---|--|---|---|
| Tipo di sorbente | solido | liquido | solido | liquido |
| |  |  |  |  |
| Tipici materiali in uso | Acqua - Silicagel, Ammoniaca – Sali A. | Acqua - LiBr, Ammoniaca - acqua | Acqua - Silicagel, Acqua – Cl di Litio | Acqua – Cloruro di Calcio, Acqua – Cloruro di Li |
| Tecnologie disponibili sul mercato | Macchine ad Adsorbimento | Macchine ad Assorbimento | Raff. Evaporativo con Ad-assorbimento | - |
| Potenza frigorifera [kW] | 7 - 430 kW | 4.5 kW fino >5 MW | 20 kW - 350 kW (pro Modul) | - |
| Produttori | 2 produttori giapponesi | USA, Asia; solo poche piccola capacità | ca. 5 produttori di rotor; molti UTA | |
| Efficienza (COP) | 0.3-0.7 | 0.6-0.75 (1-effetto) < 1.2 (2-effetto) | 0.5 fino >1 | fino >1 |
| Tipiche temperature di alimentazione | 60-95°C | 80-110°C (1-effetto) 130-160°C (2-effetto) | 45-95°C | 45-70°C |
| Tecnologie solari | CTE, CP | CTE, coll. a concent. | CP, CA | CP, CA |

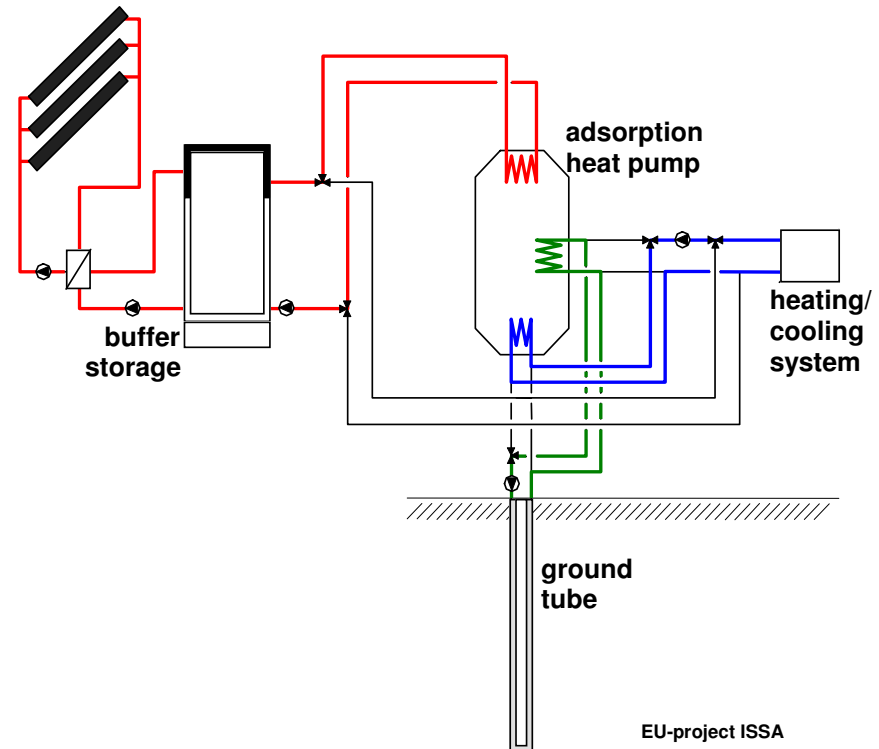
COP di gruppi refrigeranti acqua



temperatura acqua refrigerata: 8°C
temperatura acqua di raffreddamento: 28°C

Esempio – Pompa di calore adsorbimento e FPC

- Pompa di calore ad adsorbimento (produttore Sortech)
- „solar cooling” in stagione estiva
- „solar heating” in inverno con boiler a gas come back-up
- Terreno usato come accumulatore stagionale a bassa temperatura
- Installazione al Politecnico di Milano, presso uffici Dip. Energetica entro fine 2005



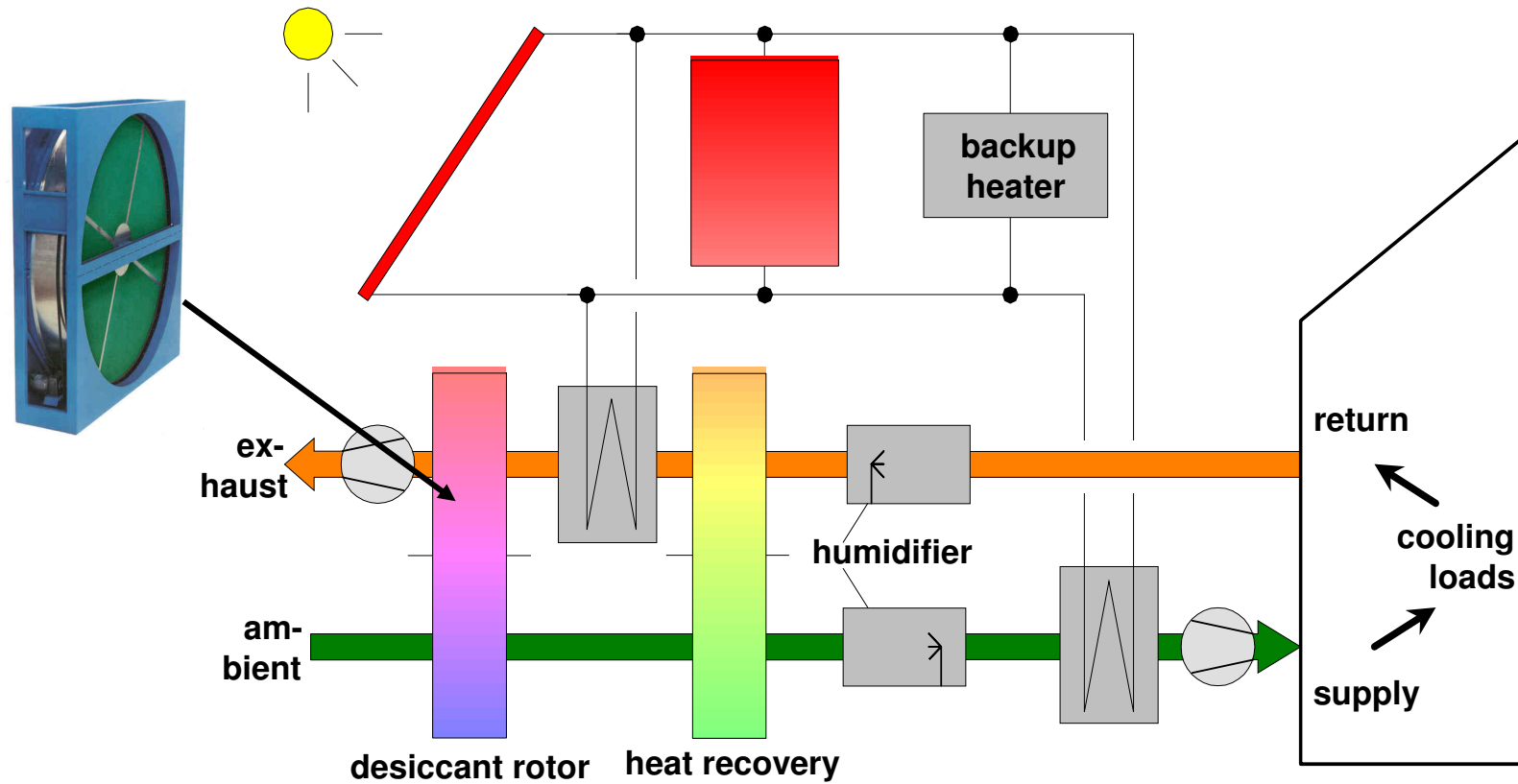
- Molte attività R&D su macchine adatte all'accoppiamento con energia solare
- priorità: piccola potenza (< 20 kW), dato che pochi sono i prodotti sul mercato
- Esempi di nuovi prodotti (not complete):
 - **acqua-LiBr chillers assorbimento:** EAW in Westenfeld/Germania (15 kW); YAZAKI 17,5 kW; Rotartica Spagna (4,5 kW); Climatewell – Svezia (10kW); *Phönix Sonnenwärme in Berlin/Germany (10 kW); University de Catalunya in Terrassa/Spain (air-cooled system)*
 - **ammoniaca acqua con pompa di soluzione meccanica:** Joanneum Reserach in Graz/Austria (10 kW, -20°C ... 10°C); AOSOL in Portogallo (air-cooled, 6 kW); Polytecnic in Gelsenkirchen/Germania (25 kW); Polytechnic in Köthen/Germania
 - **ammoniaca acqua senza pompa di soluzione meccanica:** Polytecnic in Stuttgart/Germania (appr. 3-5 kW); SolarFrost in Graz/Austria
 - **macchine ad adsorbimento:** SorpTech Germania (7kW)

Sistemi DEC

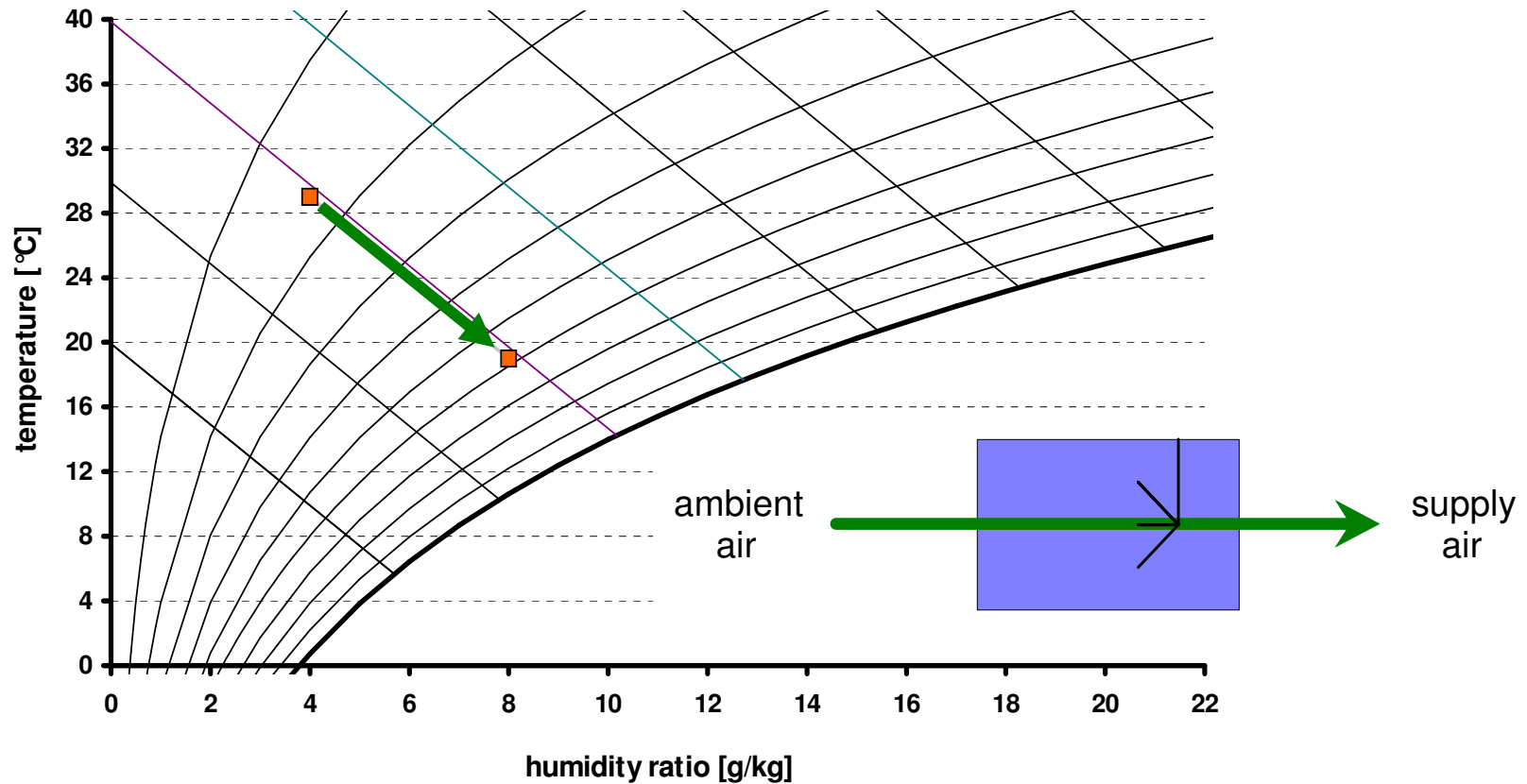
(Desiccant and evaporative cooling systems)

- Sistemi DEC sono utilizzati per il trattamento diretto dell'aria
- Processo consiste in una combinazione di raffreddamento evaporativo e deumidificazione attraverso materiali igroscopici
- Il potenziale del raffreddamento evaporativo è aumentato dal processo di deumidificazione dell'aria
- Un sistema DEC sostituisce una convenzionale unità di trattamento aria senza utilizzare sistemi convenzionali a compressione
- Due gruppi di tecnologie
 - *Sistemi a deumidificatore rotativo*: rotor disponibili in vasta gamma di dimensioni prodotti da diverse industrie nel mondo; materiale adsorbente gel di silicato o cloruro di litio; cycle adattabile a diverse condizioni climatiche.
 - *Sistemi a letto fisso*: pochissime realizzazioni, impianti pilota
 - *Sistemi a desiccante liquido*: pochi impianti pilota; in quasi tutti i casi LiCl è il materiale desiccante

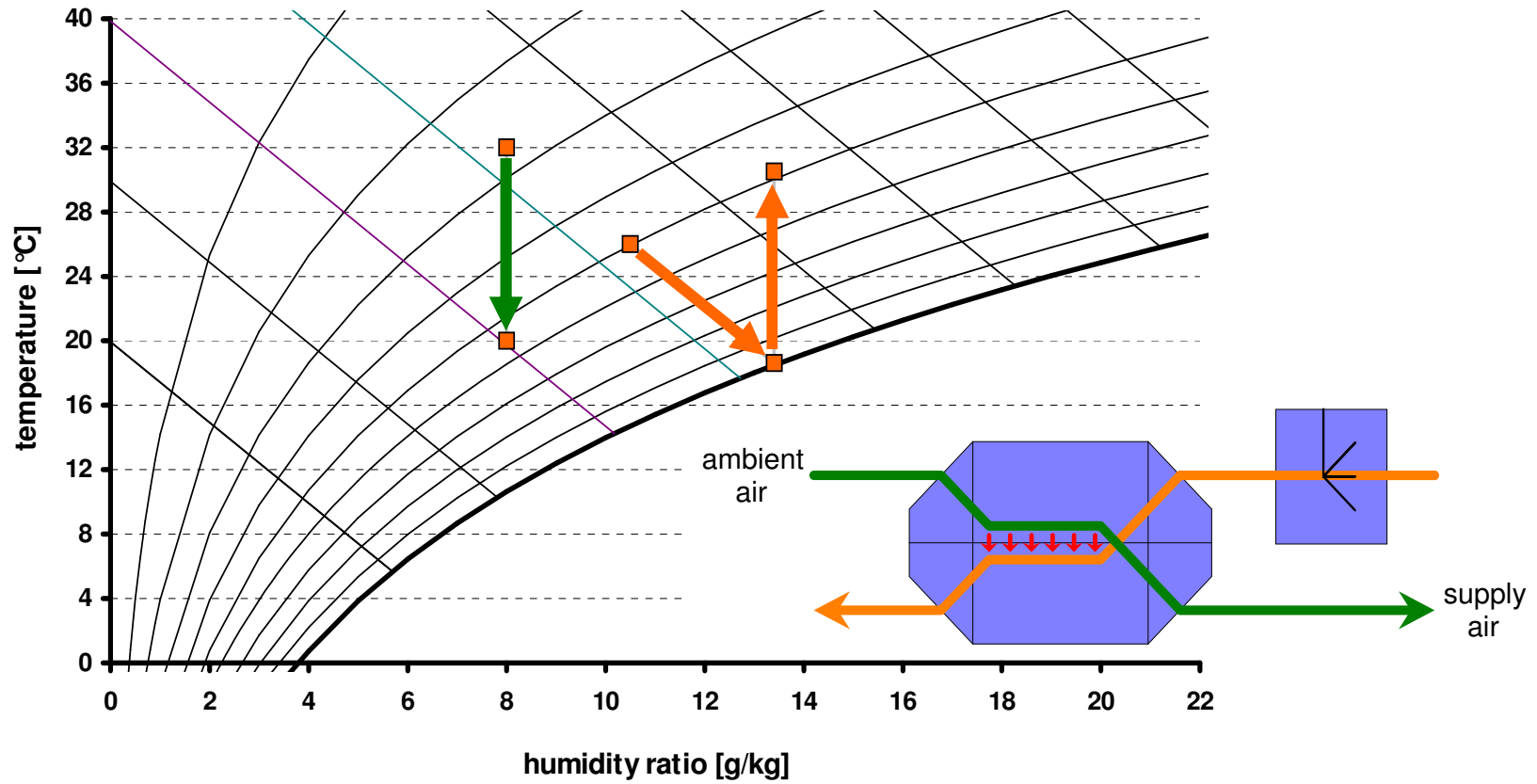
Schema di sistema DEC

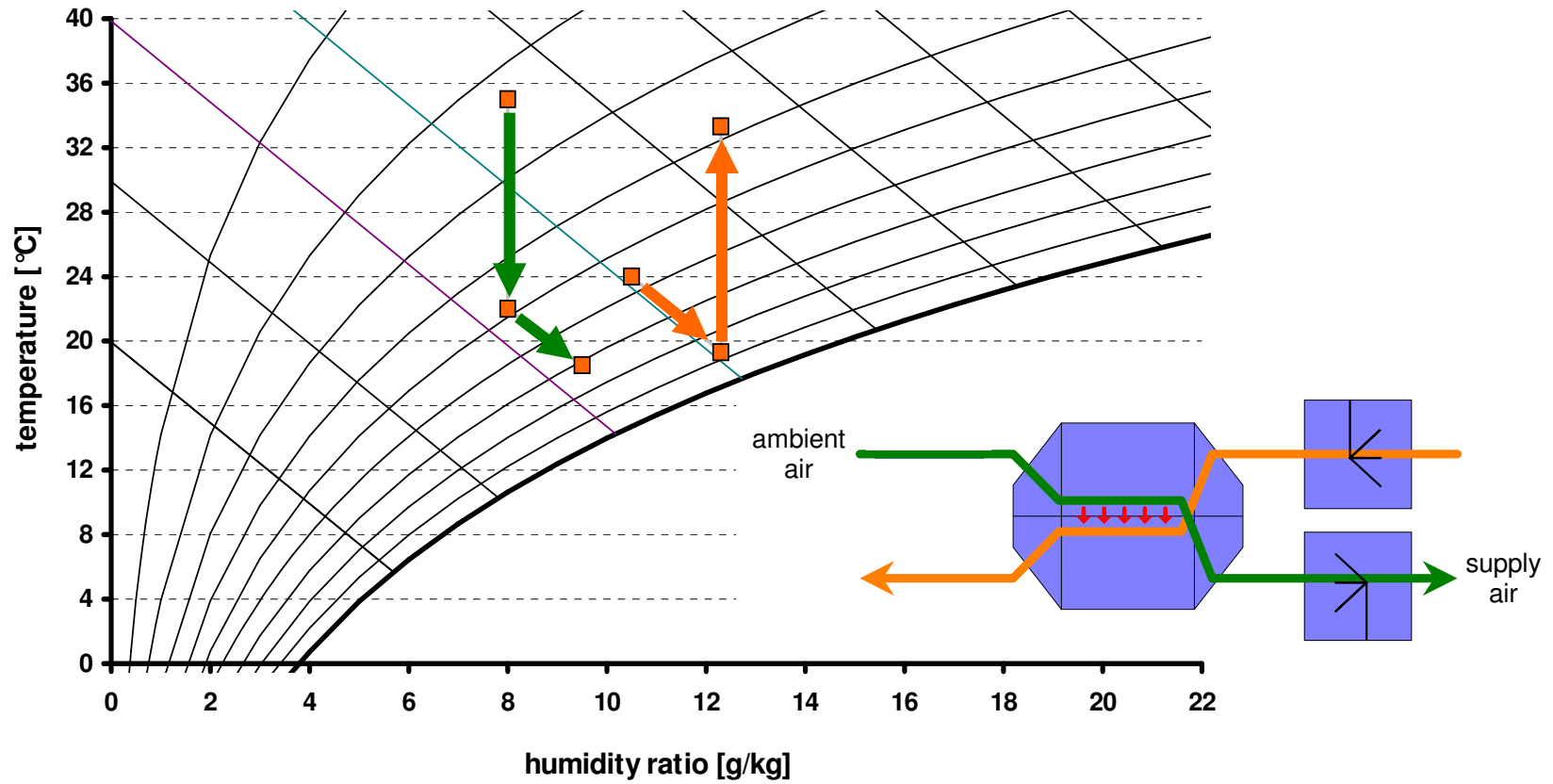


Processo base – cicli aperti: raffreddamento evaporativo diretto

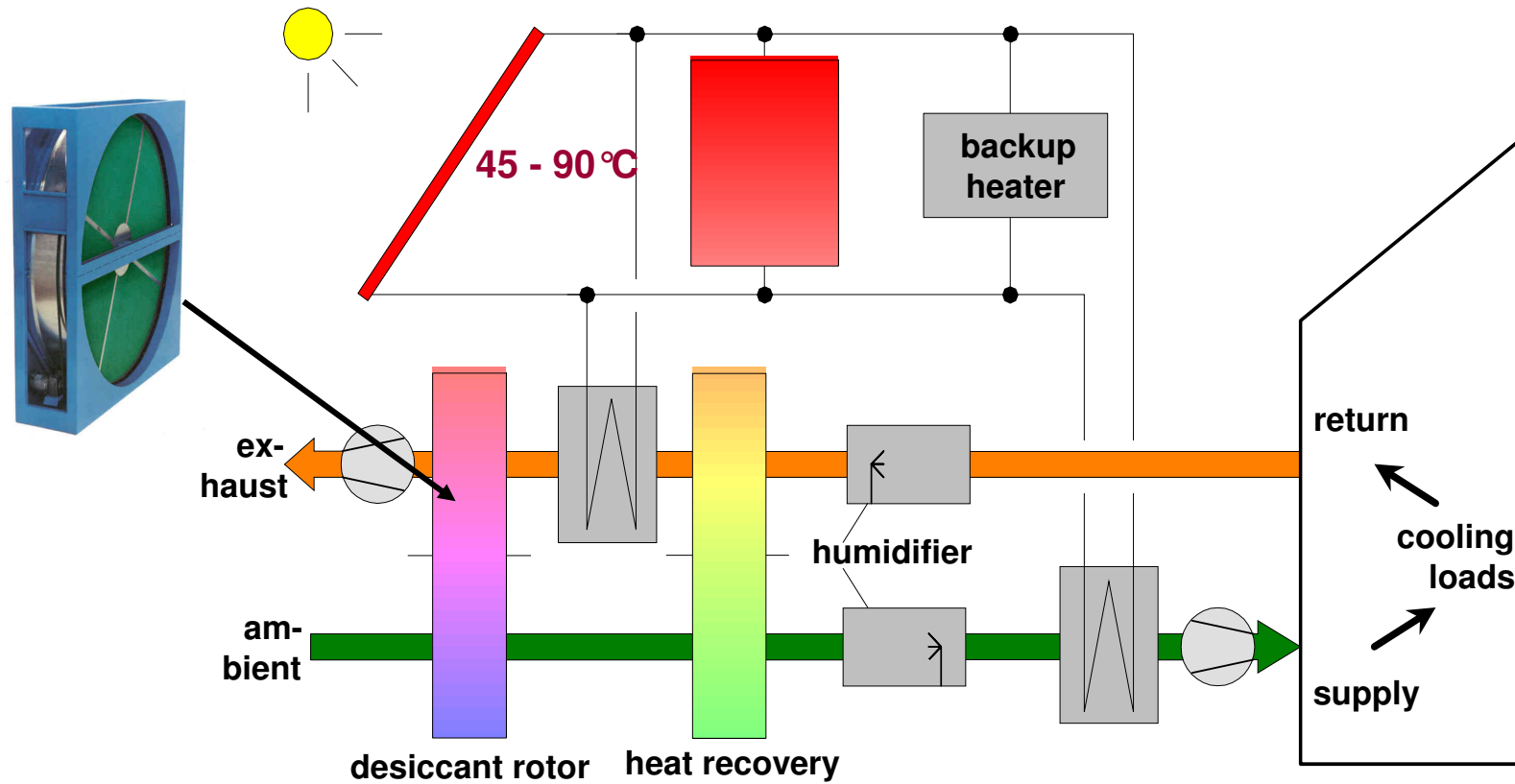


Raffreddamento evaporativo indiretto

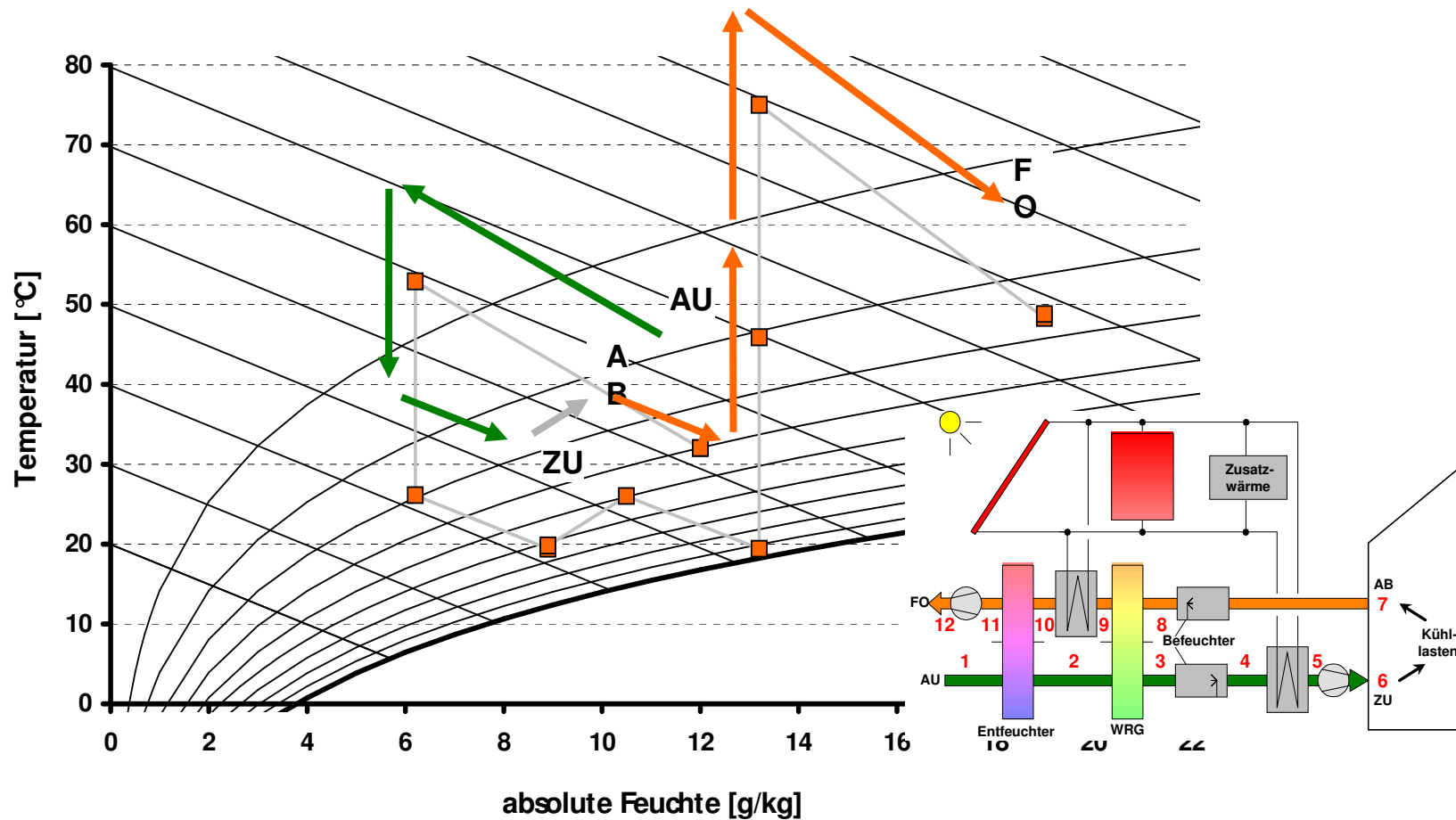




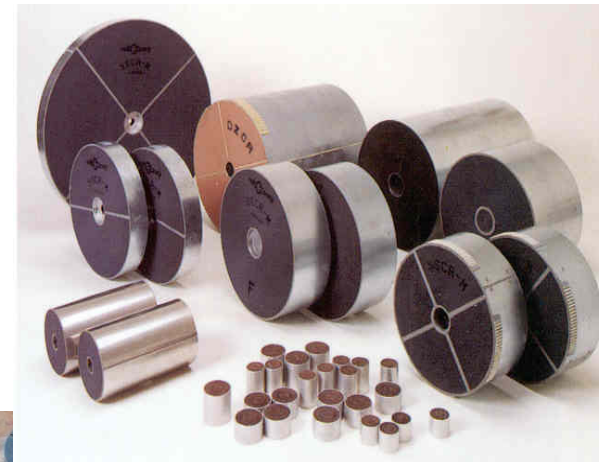
Processo standard per climi moderati (es., Europa Centrale)



Processo standard per climi moderati (es., Europa Centrale)

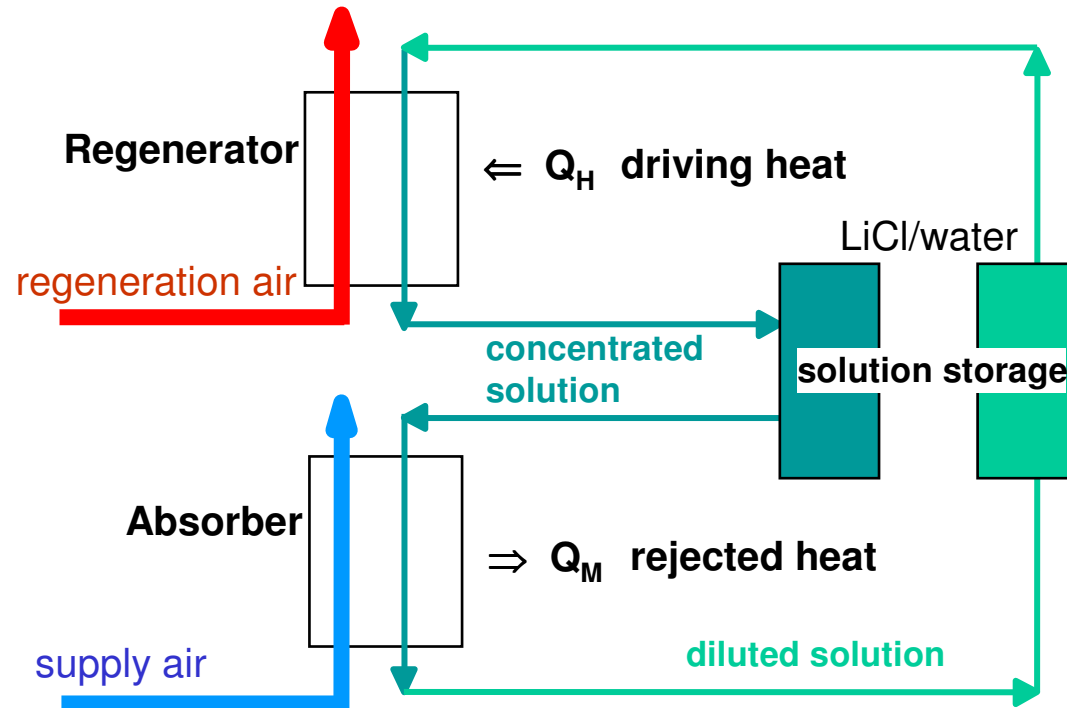


Esempi: rotori deumidificanti



Sistemi DEC – nuovi prodotti desiccante liquido

- Sistema aperto assorbimento
- possibile: high density energy storage without losses
- decoupling in time of cooling and regeneration
- Pilot plants:
Menerga (Germany)
Technion Haifa (Israel)
ZAE Bayern (Germany)



Sistema DEC - nuovi prodotti

Esempi: raffreddatore evaporativo adsorbente ad alta efficienza

(Fraunhofer ISE – Freiburg, Polimi)

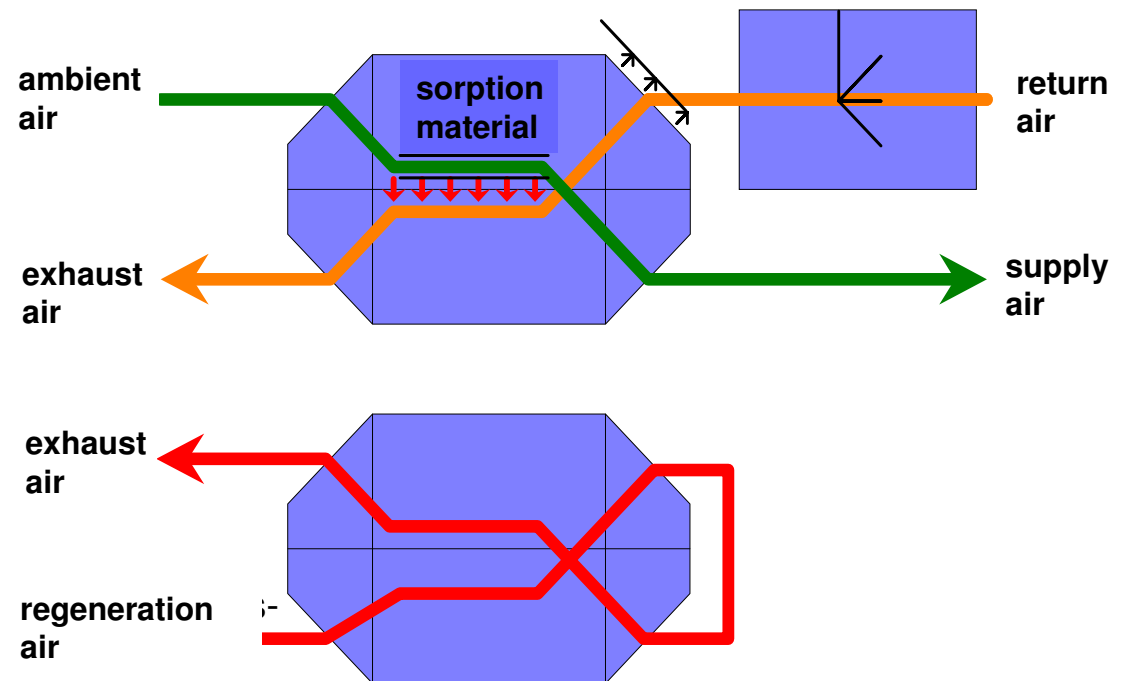
Obiettivo:

alta deumidificazione e
simultaneo reffreddamento
dell'aria di mandata

umidificazione aria
mandata non necessaria in
molte applicazioni

assenza parti rotanti

funzionamento periodico
necessita di 2 scambiatori

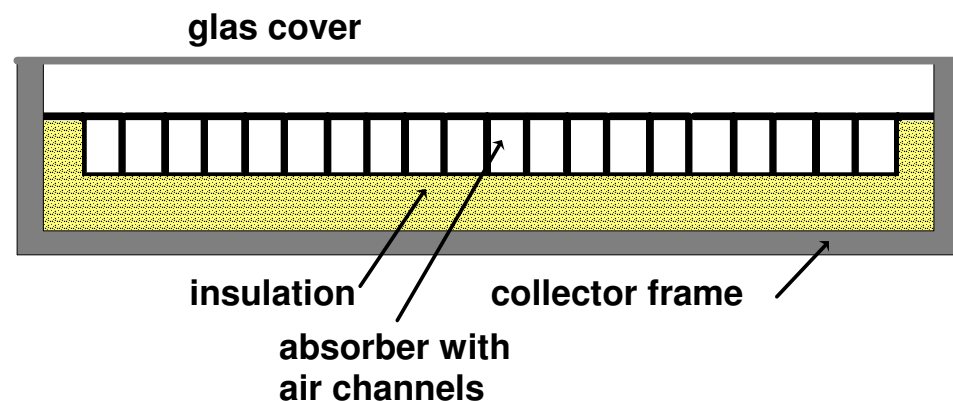


- Perché usare l'energia solare per il condizionamento...
- Tecnologie utilizzabili per il solar cooling
- ✓ Collettori solari e Solar Cooling
- Sommario e conclusioni

Componenti disponibili sul mercato

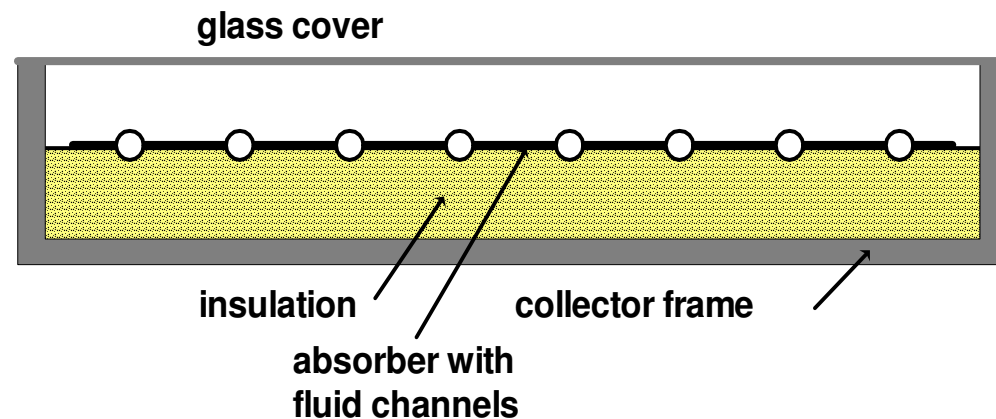
Collettori ad aria

- Riscaldamento diretto dell'aria
- Normalmente utilizzati per pre-riscaldare aria di mandata. Necessita impianto di ventilazione es. Capannoni industriali
- Possibile combinazione con DEC per rigenerazione materiale desiccante



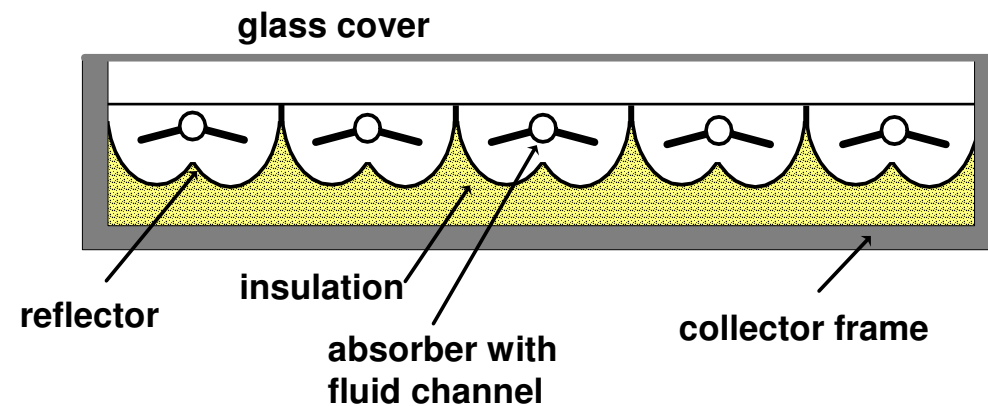
Collettori piani

- Riscaldamento liquido termovettore (acqua, e componente anti-gelo; glicole)
- Maggior uso, produzione acqua calda sanitaria
- Domina la produzione di collettori nel mondo (a parte Cina)
- Trattamento superficiale selettivo necessario per raggiungere temperature adatte all'uso per sistemi Solar Cooling



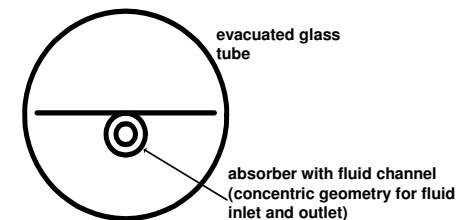
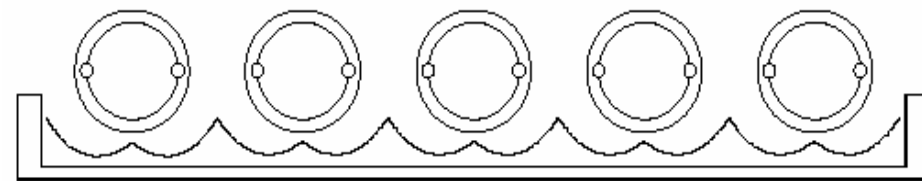
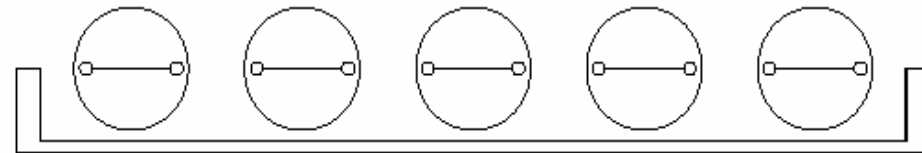
Collettori CPC - stazionari

- Concentrano la radiazione senza utilizzare sistemi di inseguimento
- Riscaldamento liquido termovettore (acqua, anti-gelo; glicole)
- Maggior uso, produzione acqua calda sanitaria
- Riduzione perdite convettive attraverso l'uso di un foglio di Teflon



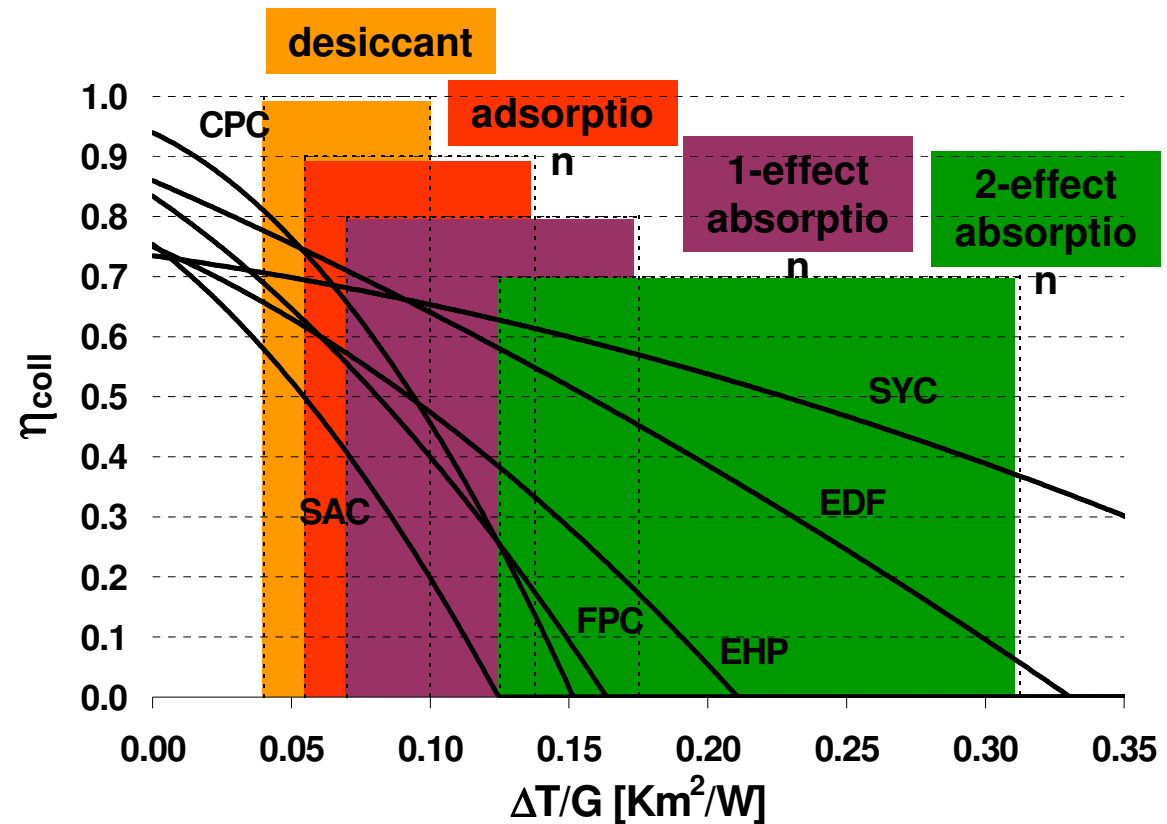
Collettori a tubi evacuati

- Tubi evacuati per la riduzione di perdite di energia termica (convezione, conduzione)
- Diverse tipologie costruttive disponibili:
 - ◆ heat-pipe or a flusso diretto
 - ◆ Tubi tutto vetro
 - ◆ con/senza concentratore
- Maggior uso, produzione acqua calda sanitaria
- Tecnologia dominata da Cina



Collettori Solari e refrigerazione alimentata ad energia termica

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



- Perché usare l'energia solare per il condizionamento...
- Tecnologie utilizzabili per il solar cooling
- Collettori solari e Solar Cooling
- ✓ Sommario e conclusioni

- Diverse tecnologie sono **disponibili sul mercato** per l'utilizzo di sistemi di climatizzazione invernale/estiva attraverso l'uso dell'energia solare termica :
 - ◆ **Chillers alimentati ad energia termica** per la produzione di acqua refrigerata
 - ◆ **Sistemi „desiccant“** per il trattamento diretto dell'aria di ventilazione
- **Pochi i sistemi realizzati** – la tecnologia e' ancora allo stato di sviluppo
- Esperienze hanno mostrato difetti nei sistemi progettati: sistema idraulico e sistema di controllo
- Esiste la necessità di fare nuove esperienze attraverso **impianti pilota e dimostrativi**

Sommario e conclusioni

- Gli attuali sforzi di R&D risulteranno in un miglioramento delle prestazioni energetiche ed economiche.
 - Sviluppo di **macchine di piccola capacita** (<20kW) ==> nuovo segmento di mercato
 - Cicli ad assorbimento avanzati avranno come effetto **abbassamento delle temperature operative**. Cicli a doppio e triplo effetto per raggiungere valori di COP più elevati
 - Sviluppo di cicli avanzati ad adsorbimento con miglioramento di processi di scambio tra materiale adsorbente e acqua raffreddamento/riscaldamento
 - **Cicli aperti ad alta efficienza**