



SOLUZIONI INNOVATIVE PER IL CONDIZIONAMENTO DEGLI EDIFICI

IL SOLAR COOLING

Questa brochure è stata realizzata nel quadro del progetto europeo ProEcoPolyNet Network per la Promozione dei risultati della ricerca nel campo delle eco-tecnologie per l'edilizia, micro poligenerazione, tecnologie rinnovabili per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici

A cura di

FAST - Federazione delle associazioni scientifiche e tecniche

fast@fast.mi.it

Con il supporto di

Commissione europea – DG TREN nell'ambito del VI Programma Quadro

Contratto n. TREN/05/F6EN/S07.54455/020114



INDICE

1. INTRODUZIONE	pg 3
2. IL SURRISCALDAMENTO ESTIVO DEGLI AMBIENTI	pg 4
3. IL CONTENIMENTO DEI CARICHI ESTIVI ATTRAVERSO IL RAFFRESCAMENTO PASSIVO	pg 5
3.1 Strutture trasparenti	pg 5
3.2 Strutture opache	pg 6
3.3 Risposta inerziale dell'edificio	pg 6
3.4 Ventilazione	pg 7
3.5 Ventilazione notturna	pg 7
3.6 Impiego del verde per mitigare il clima	pg 7
3.7 Carichi termici interni	pg 7
4. IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO AD ENERGIA SOLARE	pg 8
4.1 Utilità di impiego di tali impianti	pg 8
4.2 Principi generali di funzionamento	pg 9
4.3 I collettori solari	pg 10
4.4 Tecnologie per sistemi di condizionamento a energia solare	pg 12
4.5 Raffrescamento estivo ed energia solare ad assorbimento	pg 13
4.6 Raffrescamento estivo ed energia solare ad adsorbimento	pg 15
4.7 Raffrescamento estivo ed energia solare desiccant cooling	pg 16
5. CENNI SUI CRITERI DI PROGETTAZIONE	pg 19
6. CONCLUSIONI	pg 19
6.1 Prospettive di mercato	pg 19
6.2 Ricerca e sviluppo	pg 20
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	pg 21

1. INTRODUZIONE

In Europa il settore dell'edilizia civile è responsabile del 40% delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera, contribuendo notevolmente al surriscaldamento del pianeta dovuto all'effetto serra. Con la ratifica del Protocollo di Kyoto l'Italia si è impegnata a ridurre le proprie emissioni di CO₂ del 6.3% entro il 2012. In realtà le emissioni sono aumentate di circa il 20%. Ciò si tradurrà nei prossimi anni in grosse somme che il Paese dovrà sborsare per pagare sanzioni o per comprare all'estero quote di riduzioni operate da altri paesi.

Scelte più responsabili nella progettazione e nella costruzione degli edifici, non solo civili, potrebbero quindi contribuire in maniera rilevante sia a salvaguardare l'ambiente, che a risparmiare denaro pubblico.

L'Unione Europea ha emesso la Direttiva 91 del 2001 sul rendimento energetico in edilizia nella quale detta i parametri per la legislazione nazionale. L'Italia ha recepito tale Direttiva con il Decreto legislativo n. 192 del 2005 e con successive modifiche e correzioni contenute nel DLgs n. 311 del 1° febbraio 2007.

Attualmente il Legislatore opera esclusivamente nella direzione della riduzione dei consumi dovuti al riscaldamento, ma il nostro territorio è contraddistinto anche da elevati consumi di elettricità durante il periodo estivo: la domanda di condizionamento infatti è sempre più in aumento, a fronte di esigenze di comfort estivo sempre più elevate.

Attualmente la realizzazione degli edifici tiene sempre meno in considerazione il problema del condizionamento estivo, mentre si va definendo una sempre maggiore sensibilità nei confronti del risparmio energetico per il riscaldamento invernale, che porta a progettare edifici con elevate superfici vetrate e quindi con problemi di surriscaldamento. Allo stesso tempo, mentre le tecnologie costruttive dei periodi precedenti all'introduzione delle pareti in laterizi forati e dei solai laterocementizi permettevano all'edificio di avere grandi capacità di accumulo disponibili per mitigare l'influenza dell'irraggiamento solare, tali tipologie sono state ora sostituite solo dal punto di vista tecnologico ma non progettuale; si ricorre di conseguenza al condizionamento estivo degli ambienti per mezzo di impianti di condizionamento con macchine frigorifere a compressione alimentate ad energia elettrica, causa principale dell'aumento della domanda di picco di potenza elettrica in estate, che, in numerosi casi, raggiunge la capacità limite delle reti.

L'emissione di gas ad effetto serra, che cresce con la produzione di energia o con la perdita di fluidi refrigeranti, aggrava ulteriormente il circuito vizioso legato al cambiamento climatico.

Per evitare l'impiego di tali impianti, inefficienti dal punto di vista energetico, si possono seguire due approcci:

- la progettazione del raffrescamento passivo: esiste ormai un'ampia scelta di tecnologie, sia per edifici in fase di progettazione, sia per quelli esistenti, utili per migliorare le condizioni di comfort interno senza dover ricorrere all'impiego di impianti di condizionamento dell'aria a compressione e per ridurre drasticamente il fabbisogno energetico estivo;
- la progettazione, la realizzazione e l'impiego di impianti di condizionamento ad energia solare che garantiscono ridotti consumi elettrici e che sono in grado di sfruttare l'energia solare ampiamente disponibile in periodo di condizionamento.

Questa brochure intende descrivere qualitativamente i due approcci. In modo particolare, si vuole evidenziare lo stato dell'arte delle tecnologie del "solar cooling" per la climatizzazione degli edifici. Si tratta infatti di un nuovo e promettente campo applicativo del solare termico, con sbocchi interessanti per il mercato nazionale ed europeo.

2. IL SURRISCALDAMENTO ESTIVO DEGLI AMBIENTI

Il surriscaldamento estivo è un problema che si verifica in gran parte degli ambienti abitati degli edifici distribuiti sull'intero territorio nazionale costruiti dal secondo dopoguerra; tale fenomeno si verifica anche in località con estati non particolarmente calde. Se il problema in alcuni casi si limita ad alcuni giorni dell'estate, nella maggior parte degli edifici è presente in determinate ore di tutti i giorni della stagione estiva. Il surriscaldamento provoca la percezione di malessere dovuto alla temperatura elevata maggiore di 28°C e la necessità di ricorrere al condizionamento dell'aria con l'installazione di impianti di condizionamento. Generalmente, all'elevata temperatura dell'aria si accompagna un'elevata umidità relativa dell'aria che aumenta la percezione del calore. Si ha quindi una condizione di malessere generata dal calore sensibile e dal calore latente.

Il calore sensibile è la somma degli apporti di calore che hanno come effetto l'aumento della temperatura del sistema oggetto di tale apporto; nel caso degli ambienti di un edificio, il calore sensibile durante la stagione estiva proviene dall'esterno attraverso vari contributi:

- irraggiamento solare attraverso le superfici opache (coperture, pareti e cassonetti) e le superfici trasparenti (finestre, porte finestre e lucernari);
- differenza di temperatura tra l'ambiente esterno e quello interno (apporti per trasmissione per conduzione attraverso le strutture);
- carichi interni, ovvero persone, macchine e in generale qualsiasi sorgente di calore (illuminazione, macchine, motori, ecc.).

Il calore latente, invece, è la somma degli apporti che concorrono ad aumentare il contenuto di vapore presente nell'aria, quindi dell'umidità, senza per questo aumentare la temperatura.

In ambito residenziale il calore latente di un ambiente ha un'importanza progettuale decisiva. L'eventuale inserimento di impianto di condizionamento e il consumo derivante dal suo impiego dipendono in parte dalla temperatura che si vuole ottenere (calore sensibile) e in parte dal processo di gestione dell'umidità (calore latente).

In particolare il calore latente deriva dalla produzione di vapore delle persone (attraverso la respirazione e la traspirazione) e da altre fonti che producono vapore (come, ad esempio, la cottura dei cibi). L'aria di rinnovo proveniente dall'esterno apporta sia calore sensibile, in forza della sua temperatura più elevata rispetto a quella ambiente, sia calore latente, in virtù del suo contenuto di vapore.

Le cause del surriscaldamento

Come avviene per la percezione del freddo anche la percezione del caldo è in parte influenzata dall'irraggiamento: irraggiamento delle strutture opache, soffitti, pavimenti e pareti surriscaldate per effetto del sole.

Si possono distinguere tre vie differenti con le quali il sole opera nel surriscaldamento degli ambienti:

- via diretta, ovvero il sole riscalda le pareti e le coperture e l'inquilino percepisce l'elevata temperatura delle superfici interne oggetto di irraggiamento (calore sensibile);
- via indiretta, ovvero l'energia solare entra dalle parti vetrate delle finestre e porte finestre e si accumula nelle strutture irraggiate direttamente (solitamente il pavimento); l'energia viene poi rilasciata all'interno dell'ambiente e lo surriscalda;
- per effetto della temperatura dell'aria entrante nell'ambiente.

È opportuno quindi intervenire dal punto di vista progettuale su tali aspetti.

3. IL CONTENIMENTO DEI CARICHI ESTIVI ATTRAVERSO IL RAFFRESCAMENTO PASSIVO

Descrizione delle possibili soluzioni di contenimento

Una volta riscontrata quale sia la causa principale del surriscaldamento, in funzione di questa si ipotizza la soluzione:

3.1. strutture trasparenti

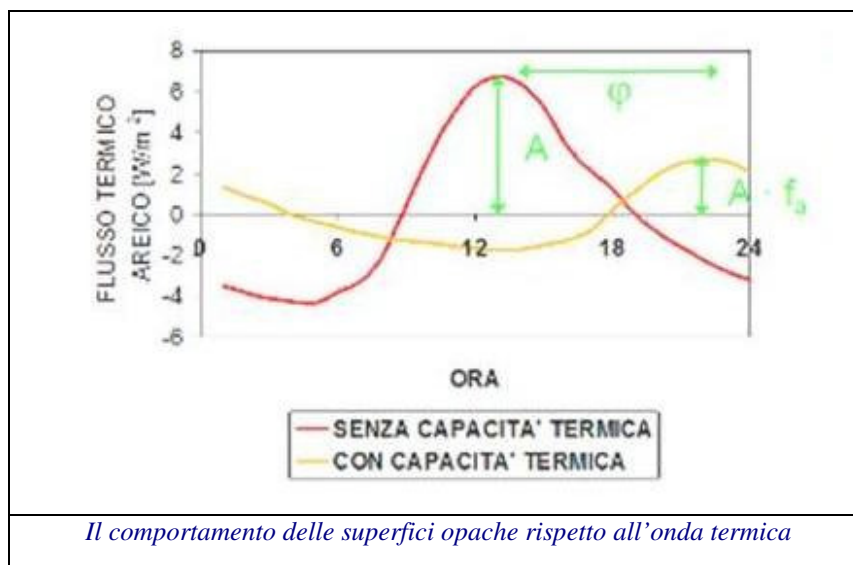
- **elevato irraggiamento solare** incidente sulle **vetrate**: per contrastare l'energia solare entrante è opportuno predisporre degli efficaci schermi esterni alle finestre tipo persiane o tendaggi rigidi che riflettano il più possibile l'energia incidente e che tengano tale energia al

di fuori degli ambienti; tendaggi interni o nel vetrocamera dei vetri sono poco efficaci perché l'energia è oramai all'interno dell'ambiente. Nei casi di vetrate ampie difficilmente schermabili è possibile operare con vetri riflettenti o selettivi; tali soluzioni comportano generalmente la perdita della completa trasparenza del vetro.

3.2. strutture opache

- **temperatura superficiale della copertura** troppo elevata: è opportuno intervenire isolando la copertura per diminuire l'energia entrante; bisogna impiegare materiali che abbiano buone capacità isolanti, ma anche buone capacità inerziali, ovvero che siano anche in grado di accumulare l'energia che transita verso l'interno. Altre soluzioni sono la realizzazione della ventilazione della copertura e l'impiego di materiali di rivestimento esterni che abbiano coefficienti di assorbimento solare molto bassi.
- **temperatura superficiale delle pareti** troppo elevata: le operazioni che si possono compiere sulle pareti sono del tutto simili a quelle delle coperture.

Quindi, i coefficienti da governare sono lo sfasamento e l'attenuazione delle pareti.



3.3. risposta inerziale dell'edificio

La progettazione adeguata dei sistemi di oscuramento permette di minimizzare il passaggio di energia solare all'interno degli ambienti. Una volta però che l'energia è penetrata all'interno di un ambiente, uno dei sistemi per ridurre l'effetto negativo è accumulare tale energia in adeguate strutture capacitive. Per poter fare questo è opportuno che all'interno degli ambienti ci siano delle strutture con elevati valori di capacità termica. Strutture con una buona attitudine all'accumulo sono composte da materiali con elevata densità e un

altrettanto elevato calore specifico. E' possibile quindi operare nella direzione della risposta inerziale dell'edificio progettando la capacità termica interna di un determinato ambiente.

3.4. ventilazione

Scopo della gestione della ventilazione è la riduzione dei carichi interni. Vi sono diversi approcci alla ventilazione che può essere naturale, nel qual caso va favorita con la realizzazione di riscontro d'aria o meccanica, oppure controllata con aspirazione ed immissione.

La ventilazione naturale è tanto più efficace quanto maggiori sono le differenze di temperatura tra un affaccio e l'altro, se il flusso considerato è prevalentemente orizzontale. Per flussi verticali è necessario invece sfruttare l'effetto camino.

3.5. ventilazione notturna

Lo smaltimento del calore che si è accumulato all'interno dell'edificio può essere operato dalla ventilazione notturna. Un'adeguata progettazione della stessa permette infatti di sfruttare l'aria esterna con valori ridotti di temperatura per ridurre la temperatura dell'aria interna e le temperature superficiali interne delle strutture opache per mezzo del fenomeno convettivo di trasmissione del calore. E' opportuno che oltre alla ventilazione, naturale o meccanica, vengano progettati anche i componenti dell'involucro di modo che i picchi oscillatori della temperatura superficiale si sviluppino nel periodo dedicato alla ventilazione notturna (vedi coefficiente di sfasamento temporale).

3.6. impiego del verde per mitigare il clima

E' possibile agire nei confronti della riduzione dei carichi dovuti all'irraggiamento solare per mezzo della vegetazione; lo spazio esterno è infatti la prima barriera all'irraggiamento solare, barriera che consente di escludere dall'ambiente interno una buona parte dell'energia solare incidente nel periodo estivo. Il ciclo annuale della vegetazione inoltre è perfettamente coincidente con le richieste prestazionali di riduzione degli apporti in estate, ma è anche coincidente con le richieste di guadagni solari invernali.

3.7. carichi termici interni

I carichi interni non sono tanto uno strumento di progettazione quanto un invariante del sistema. Più che sulla quantità è quindi opportuno intervenire sull'efficienza come ad esempio nel caso dell'illuminazione.

4. IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO AD ENERGIA SOLARE

All'approccio di progettazione passiva dell'edificio nei confronti del surriscaldamento estivo al fine di ridurre i carichi estivi, è possibile affiancare la progettazione di impianti di condizionamento.

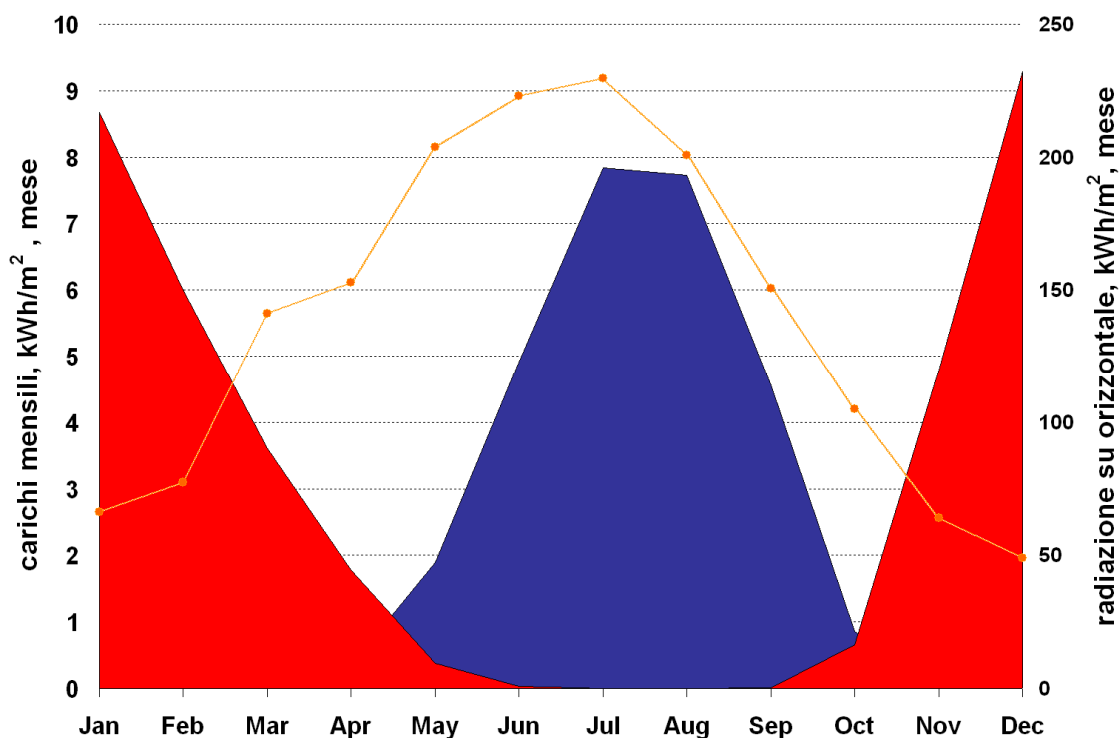
Come abbiamo constatato soprattutto negli ultimi anni, la domanda di elettricità nel periodo estivo raggiunge picchi estremi per l'uso eccessivo dei tradizionali condizionatori d'aria, fino a causare talvolta dei black out della rete elettrica.

L'uso dell'energia solare per produrre il freddo diventa quindi un'opportunità vantaggiosa, come dimostrato dai numerosi progetti pilota realizzati anche in Europa, soprattutto in Germania e Spagna.

4.1. Utilità di impiego di tali impianti

a) Massima disponibilità nel momento di massima richiesta

L'utilizzo dell'energia solare per il raffrescamento degli edifici risulta essere un'ipotesi non priva di attrattive, anche perché il periodo che fa registrare la maggiore richiesta di condizionamento coincide proprio con i mesi durante i quali la radiazione solare è al massimo e le giornate sono più lunghe.



b) Elevata sostenibilità ambientale

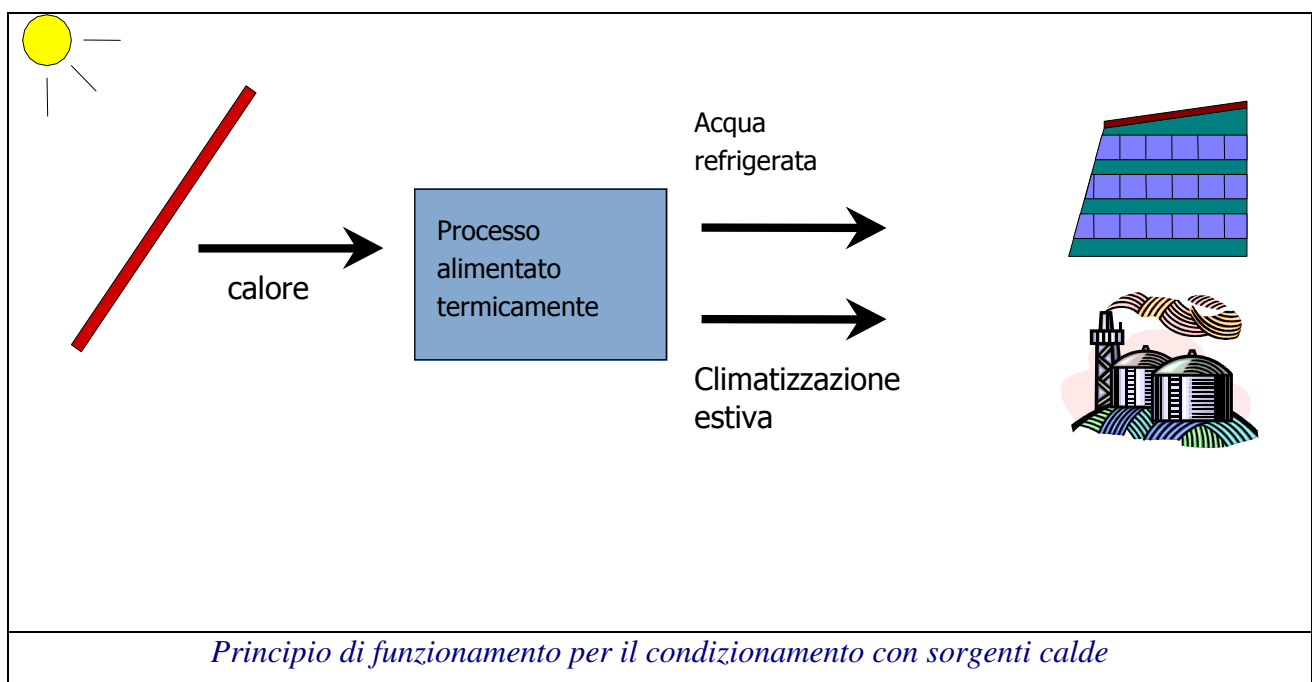
I sistemi di climatizzazione ad energia solare possiedono l'indubbio vantaggio di utilizzare fluidi di lavoro innocui, come l'acqua o le soluzioni saline. Sono rispettosi dell'ambiente e rispondono a criteri di efficienza energetica e possono essere usati, da soli o integrati ai sistemi di condizionamento tradizionali, per migliorare la qualità dell'aria all'interno di qualsiasi tipo di edificio. Il loro principale obiettivo è quello di utilizzare tecnologie ad "emissione zero" per ridurre i consumi di energia nonché le emissioni di CO₂.

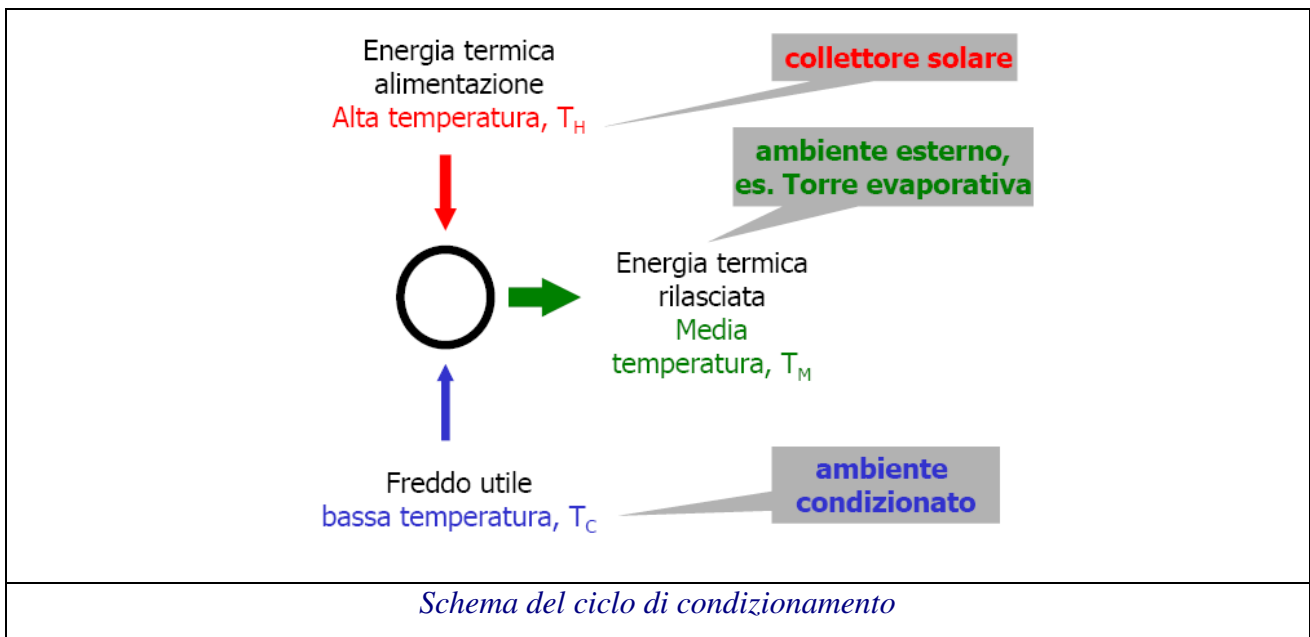
4.2. Principi generali di funzionamento

Il principio generale è la produzione di freddo a partire da una sorgente di calore.

In sintesi i passaggi che descrivono la produzione sono:

- la sorgente di calore sole irraggia energia che viene assorbita dai collettori solari;
- la produzione di freddo avviene per mezzo delle macchine frigorifere;
- il fluido freddo termovettore, acqua o aria, a seconda del tipo di macchina viene impiegato ai fini del condizionamento degli ambienti.

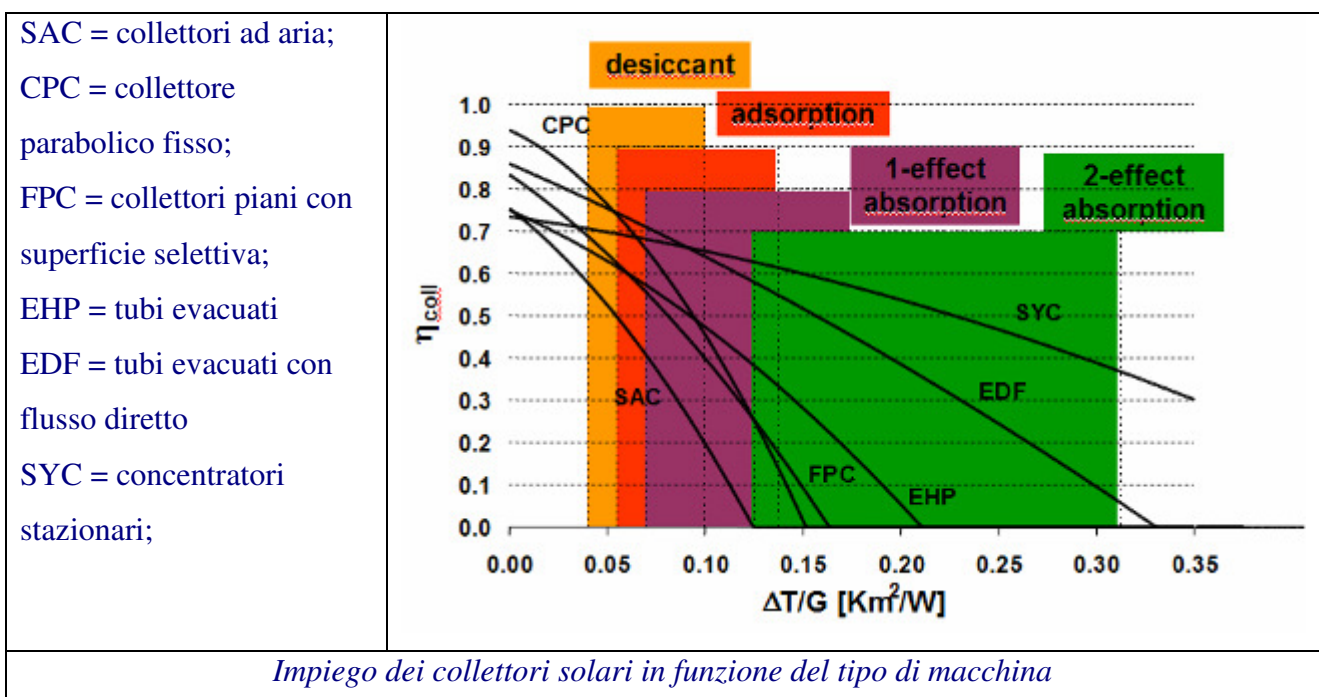




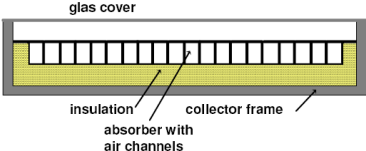
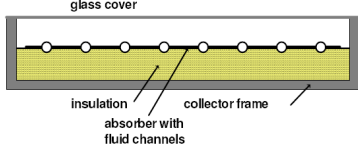
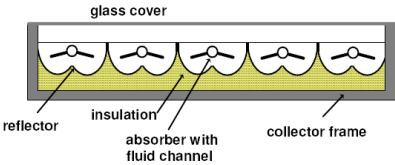
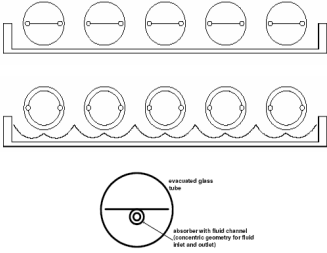
4.3. I collettori solari

Per alimentare gli impianti di condizionamento ad energia solare esistono diverse tipologie di collettori solari sul mercato che si dividono in funzione della tipologia di collettore e della temperatura alla quale sono in grado di operare. Il principio di funzionamento è molto semplice: una superficie esposta alla radiazione solare assorbe parte dell'energia incidente, riscaldandosi; la quantità di energia assorbita dipende dal coefficiente α che definisce il grado di nerezza di una superficie (α è circa uguale a 1 per le superfici nere).

La superficie colpita dalla radiazione solare a sua volta irraggia energia con una distribuzione spettrale che dipende dalla temperatura e cede il calore all'ambiente, che si trova ad una temperatura inferiore, per conduzione e convezione.



Tipologia di collettori solari:

<p style="text-align: center;">SAC</p> <p style="text-align: center;">Collettore solare ad aria</p>	<p style="text-align: center;">FPC</p> <p style="text-align: center;">Collettore solare piano</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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
	
<p style="text-align: center;">CPC</p> <p style="text-align: center;">Collettore parabolico fisso</p>	<p style="text-align: center;">EHP SYC EDF</p> <p style="text-align: center;">Collettori a tubi sotto vuoto</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tubi evacuati per la riduzione di perdite di energia termica (convezione, conduzione) ■ Diverse tipologie costruttive disponibili: <ul style="list-style-type: none"> • heat-pipe or a flusso diretto • Tubi tutto vetro • con/senza concentratore ■ Maggior uso, produzione acqua calda sanitaria ■ Tecnologia dominata da Cina
	

I collettori solari da impiegare per gli impianti di condizionamento devono operare a temperature elevate; le macchine frigorifere cui sono collegati, infatti, possono solo funzionare se servite da temperature molto alte.

In particolare, una macchina frigorifera ad energia termica richiede una temperatura di funzionamento al vettore termico mediamente superiore agli 80 °C (ad assorbimento e ad adsorbimento).

Per quanto riguarda i sistemi *desiccant cooling*, invece, la temperatura richiesta può essere meno elevata e precisamente compresa tra un valore minimo di 55 °C ed un valore massimo di 90 °C.

I collettori solari piani standard SAC possono trovare impiego limitatamente ai sistemi che operano secondo il ciclo del *desiccant cooling*.

Nelle configurazioni impiantistiche che utilizzano macchine frigorifere ad adsorbimento o ad assorbimento a singolo effetto, l'impiego di collettori solari piani con superficie captante selettiva è limitato alle aree caratterizzate da elevati valori della radiazione solare.

Per le altre situazioni e per macchine frigorifere che richiedono un'elevata temperatura di funzionamento, devono essere previsti collettori solari ad alta efficienza (ad esempio, collettori sotto vuoto).

4.4. Tecnologie per sistemi di condizionamento ad energia solare

Gli impianti di condizionamento ad energia solare sfruttano l'energia termica che viene utilizzata per alimentare il processo di raffreddamento necessario al condizionamento degli ambienti oggetto di intervento.

I sistemi di "solar cooling" possono essere classificati in:

Sistemi a ciclo chiuso

I sistemi chiusi sono macchine frigorifere alimentate da acqua calda o vapore che producono acqua refrigerata.

Il fluido termovettore può essere impiegato direttamente nelle unità di trattamento degli impianti di condizionamento ad aria (raffreddamento, deumidificazione nelle batterie dell'impianto) o distribuita attraverso una rete di tubazioni ai terminali di condizionamento decentralizzati nei vari locali da climatizzare (ad esempio, fan coil).

Sul mercato vi sono due tipologie di macchine frigorifere:

- 1) ad assorbimento (circa l'80 % del mercato);
- 2) ad adsorbimento (poche centinaia di applicazioni nel mondo, ma con un crescente interesse per le applicazioni alimentate ad energia solare).

Il sistema dunque produce un fluido termovettore freddo che può essere distribuito con qualsiasi tecnologia distributiva e di emissione.





Sistemi a ciclo aperto

I sistemi aperti consentono un completo trattamento dell'aria, che viene raffreddata e deumidificata per garantire le esigenze di comfort ambientale.

Il refrigerante è sempre l'acqua, in diretto contatto con l'aria.

I sistemi più diffusi sfruttano il principio del *desiccant cooling* ed impiegano deumidificatori rotanti con sostanze assorbenti solide.

Tale sistema richiede in conclusione un trattamento diretto dell'aria e una rete di distribuzione basata su un sistema di ventilazione.

	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

4.5. Raffrescamento estivo ad energia solare ad assorbimento

Le macchine ad assorbimento sono le macchine frigorifere maggiormente diffuse a livello mondiale.

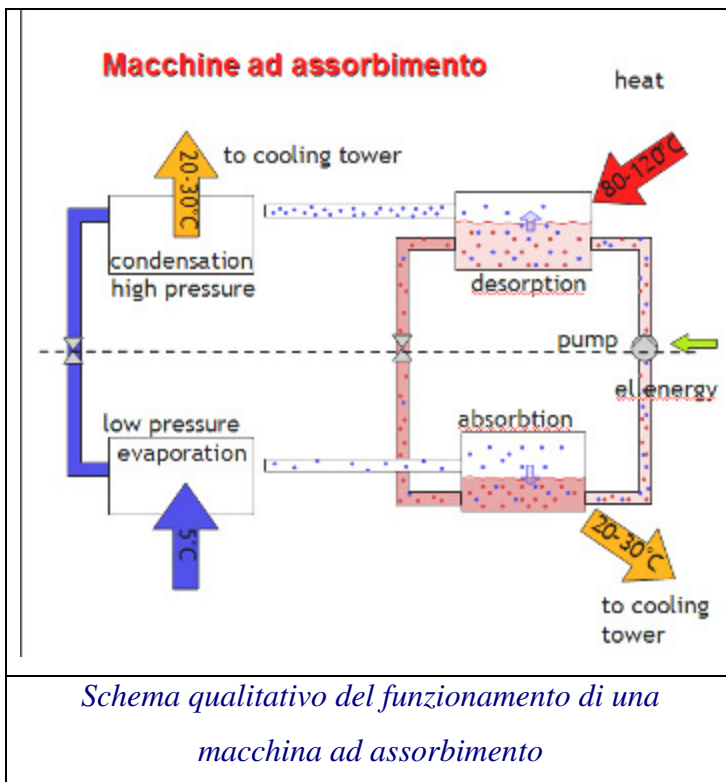
Le soluzioni liquido refrigerante – liquido assorbente e una fonte di calore elevate sostituiscono il compressore elettromeccanico con tre conseguenze dirette per quanto riguarda il tipo di impianto:

- 1) elevata vita utile (assenza delle parti in movimento dei compressori);
- 2) bassa rumorosità dell'impianto e assenza di vibrazioni;
- 3) ridotti valori di energia elettrica richiesti.

La soluzione liquida impiegata è HO/LiBr (acqua e bromuro di litio). Tale soluzione è impiegata per gli utilizzi tipici del settore del condizionamento, con acqua refrigerata ad una temperatura al di sopra degli 0 °C. Generalmente un consumo elettrico è comunque presente e dovuto alla pompa interna, che comunque consuma una limitata quantità di energia elettrica.

Durante il funzionamento di una macchina con ciclo ad assorbimento HO/LiBr, deve essere evitata la cristallizzazione della soluzione, utilizzando un sistema di controllo della temperatura interna in corrispondenza del circuito di raffreddamento.

Lo schema illustra i principali componenti di una macchina frigorifera ad assorbimento.



L'effetto frigorifero si basa sull'evaporazione del refrigerante (acqua) all'interno dell'evaporatore ad una pressione molto bassa. Il refrigerante evaporato viene assorbito nell'assorbitore, diluendo la soluzione HO/LiBr.

Per rendere efficiente il processo di assorbimento, la soluzione diluita deve essere raffreddata. La soluzione viene continuamente pompata nel generatore, all'interno del quale viene rigenerata attraverso la fornitura di calore (ad esempio, con acqua calda). Il refrigerante che esce dal generatore viene condensato nel condensatore attraverso acqua di raffreddamento e da qui ritorna all'evaporatore passando attraverso una valvola di espansione.

Le potenze frigorifere tipiche delle macchine ad assorbimento sono dell'ordine di parecchie centinaia di kW. Queste macchine vengono alimentate con calore proveniente da una rete di teleriscaldamento, da calore di recupero o da calore cogenerativo. La temperatura richiesta per la sorgente calda è normalmente superiore agli 80 °C per macchine a singolo effetto ed il Coefficiente di Performance (COP) si mantiene in un range compreso tra 0,6 e 0,8. Le macchine a doppio effetto con due stadi di generazione richiedono temperature di funzionamento al di sopra dei 140 °C, ma il COP, in questi casi, può raggiungere valori prossimi a 1,2. Non sono molte le macchine ad assorbimento con capacità inferiore ai 50 kW. E' un limite importante negli impianti di condizionamento ad energia solare, infatti, spesso sono proprio richieste macchine di taglie piccole. Gli svantaggi delle macchine ad assorbimento possono essere quindi riassunti con:

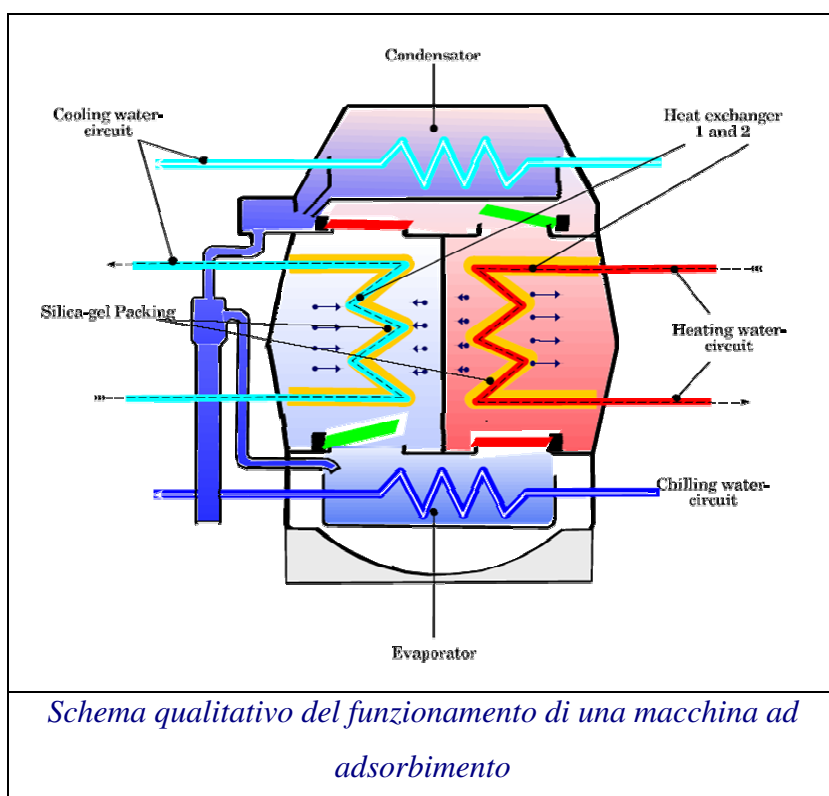
- una potenza richiesta molto elevata;
- Coefficienti di Performance non particolarmente elevati.

4.6. Raffrescamento estivo ad energia solare ad adsorbimento

Nelle macchine ad adsorbimento, in alternativa alle soluzioni liquide, vengono impiegati materiali assorbenti solidi: in generale acqua come refrigerante e silica gel come assorbente.

Le macchine sono realizzate con due compartimenti assorbenti, un evaporatore e un condensatore. Quando l'assorbente nel primo compartimento è rigenerato utilizzando acqua calda da una fonte di calore esterna (i collettori solari), l'assorbente nel secondo compartimento (adsorbitore) adsorbe il vapore d'acqua proveniente dall'evaporatore.

Per rendere il fenomeno dell'adsorbimento continuo, quest' ultimo compartimento deve essere raffreddato.



A questo punto l'acqua presente nell'evaporatore, recuperando calore dal circuito di acqua esterna, si trasforma nella fase gassosa e avviene la produzione di freddo. Se la capacità refrigerante si riduce oltre ad un certo limite a causa della saturazione dell'assorbente, il funzionamento delle due camere si inverte.

Ad oggi la produzione di macchine frigorifere ad adsorbimento riguarda solo poche aziende asiatiche.

Le condizioni operative con una temperatura di alimentazione della sorgente calda di circa 80 °C consentono di raggiungere un COP pari a circa 0,6, pur se il funzionamento delle macchine è comunque garantito anche a temperature pari a 60 °C.

Le potenze frigorifere di queste macchine variano tra i 50 e i 500 kW.

I principali vantaggi sono costituiti da:

- la semplicità costruttiva;
- la loro robustezza;
- il limitato consumo elettrico (non è prevista una pompa all'interno).

Non sussiste alcun pericolo per la cristallizzazione e, di conseguenza, non esistono limiti per la temperatura dell'acqua di raffreddamento.

Gli svantaggi invece sono costituiti da:

- le dimensioni che non sono trascurabili;
- l'ingombro in termini di peso.

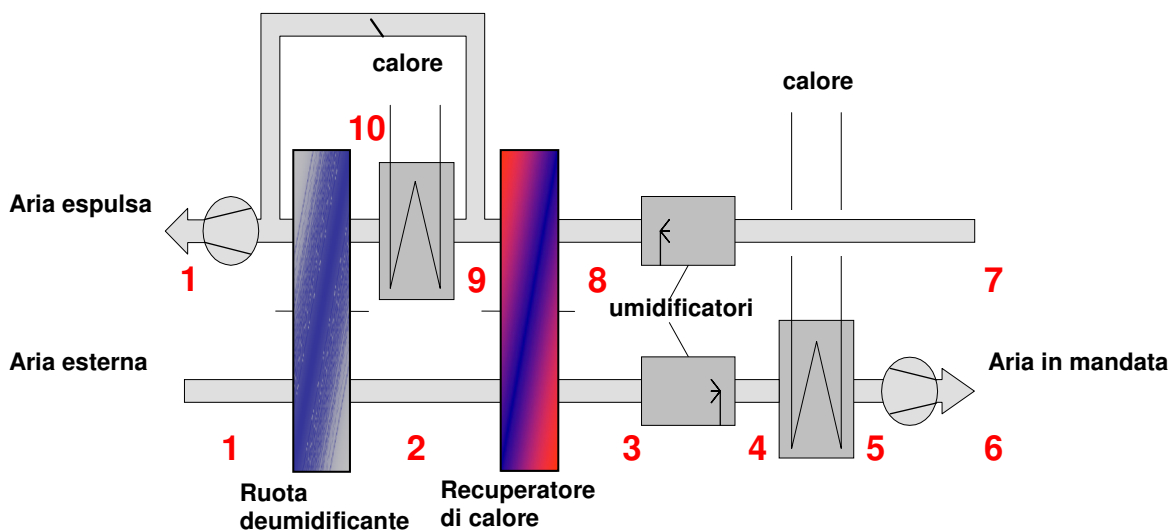
Inoltre, a causa del numero limitato di produttori, il prezzo delle macchine frigorifere ad adsorbimento è relativamente elevato. Per le future generazioni di queste macchine è auspicabile un miglioramento delle prestazioni degli scambiatori di calore all'interno dei due compartimenti e una conseguente riduzione del loro peso e del loro volume.

4.7. Raffrescamento estivo ad energia solare desiccant cooling

Il *desiccant cooling* (raffreddamento con sostanze essiccanti) è, come precedentemente indicato, un sistema basato su ciclo aperto, che impiegando come refrigerante acqua ha come risultato la produzione di aria condizionata.

Il ciclo di raffreddamento è generato termicamente da una combinazione dello sfruttamento del principio di raffreddamento evaporativo e dalla deumidificazione dell'aria per mezzo di un materiale igroscopico, ovvero da un assorbente.

Per questa applicazione possono essere utilizzati materiali liquidi o solidi. Il termine "aperto" indica che il refrigerante, trasferito all'ambiente dopo aver subito il trattamento di raffreddamento, viene integrato da un altro refrigerante in un ciclo continuo. Per questo motivo l'unico mezzo refrigerante a poter essere utilizzato è l'acqua, dal momento che il refrigerante entra direttamente in contatto con l'aria atmosferica.



In sintesi le caratteristiche degli impianti di desiccant cooling sono le seguenti:

- lo scopo è il trattamento dell'aria (con i conseguenti limiti di applicazione edilizia);
- il trattamento riguarda il calore sensibile ma anche latente con un miglioramento dovuto al controllo e al trattamento dell'aria per il raggiungimento delle condizioni di comfort igrotermico ambientale;
- non sono presenti in tale macchina i sistemi convenzionali di compressione con ovvie ricadute sulla riduzione dei consumi elettrici e della rumorosità.

Ad oggi si impiegano le ruote ad essiccanti, che utilizzano silice gel oppure cloruro di litio come materiale assorbente. Diverse industrie in tutto il mondo producono tali prodotti e i rotori sono disponibili in una vasta gamma di dimensioni.

Per quanto riguarda altre possibilità si segnalano:

- sistemi a letto fisso (poche realizzazioni, solo alcuni impianti pilota);
- sistemi ad essiccante liquido (pochi impianti pilota).

4.7.1 Sistemi essiccanti con sostanze solide

L'aria calda e umida, ovvero con un elevato calore latente e sensibile proveniente dall'ambiente condizionato, attraversa una ruota essiccante che gira lentamente. L'assorbente recupera parte dell'acqua contenuta nell'aria deumidificandola. L'aria riscaldata dal processo di assorbimento attraversa uno scambiatore di calore rotante, cedendo il suo calore e quindi pre-raffreddandosi.

Successivamente l'aria viene umidificata e quindi raffreddata da un sistema di umidificazione, in funzione della temperatura e dell'umidità richieste. L'aria di ripresa proveniente dagli ambienti viene umidificata fino a raggiungere il punto di saturazione, in modo da recuperare il massimo

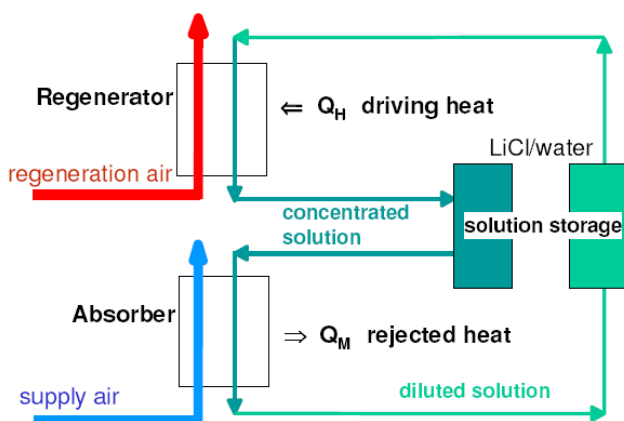
potenziale di raffreddamento e garantire così un funzionamento efficiente del recuperatore di calore. La ruota assorbente deve essere rigenerata utilizzando calore a temperatura relativamente bassa (50-75 °C), per garantire continuità al processo di deumidificazione.

Nell'impianto solare che fornisce l'energia termica al sistema possono essere utilizzati collettori solari piani. L'impianto può essere costituito da collettori solari ad acqua e da un accumulo termico utile per estendere il periodo di utilizzo dell'impianto stesso. Questa configurazione richiede l'impiego aggiuntivo di scambiatori di calore acqua/aria che devono essere collegati al sistema ad aria. Una soluzione alternativa, certamente più economica, consiste nella fornitura del calore necessario per la rigenerazione attraverso collettori solari ad aria.

4.7.2 Sistemi essiccanti con sostanze liquide

Un recente sviluppo, prossimo alla commercializzazione, è quello dei sistemi di *desiccant cooling* che utilizzano come sostanza assorbente una soluzione liquida acqua/cloruro di litio. Questi sistemi offrono diversi vantaggi come, ad esempio, un più elevato livello di deumidificazione a parità di temperatura di alimentazione del vettore termico, rispetto ai sistemi che utilizzano sostanze solide e inoltre la possibilità di immagazzinare molta energia attraverso sistemi di stoccaggio della soluzione concentrata.

Questa tecnologia è un'opzione interessante, nell'immediato futuro, per il settore degli impianti di condizionamento ad energia solare.



5. CENNI SUI CRITERI DI PROGETTAZIONE

Sono possibili diverse tipologie di impianto per il condizionamento dell'aria, che differiscono per il tipo di fluido refrigerante e per il tipo di distribuzione delle reti:

Mezzo termovettore aria:

La soluzione tecnologica è la costruzione di un impianto centralizzato con sistema di ventilazione realizzato per mezzo di canalizzazioni nell'intero edificio.

Mezzo termovettore acqua refrigerata:

In questo caso, la soluzione tecnologica è la realizzazione di un impianto centralizzato con una macchina refrigerante; il liquido acqua refrigerato viene distribuito con adeguata rete di distribuzione per tutto l'edificio.

Mezzo termovettore aria e acqua:

E' necessario un impianto centralizzato con macchina di refrigerazione e di ventilazione; all'interno dell'intero edificio vi sono le reti distributive per aria e acqua.

6. CONCLUSIONI

6.1 Prospettive di mercato

In Italia è presente il più vasto mercato di condizionatori d'aria d'Europa. Tale mercato è addirittura in crescita e quindi apre consistenti prospettive nell'ambito del solar cooling. In parallelo, sia il mercato europeo che quello italiano del solare termico sono in espansione (26% di crescita nel 2006) e ciò potrebbe quindi rappresentare un'ulteriore possibilità di sviluppo.

Una delle problematiche principali che frenano lo sviluppo del solar cooling è la posizione attendista degli operatori del mercato del condizionamento, posizione dettata dall'esiguità del numero dei sistemi realizzati finora.

In tal senso non risultano presenti sul nostro territorio attività e investimenti a lungo termine da parte del comparto produttivo.

Vi è inoltre una mancanza di politiche di sviluppo industriale e di ricerca, a differenza di altri paesi come la Germania e la Spagna.

Infine, la tecnologia non è ancora conosciuta appieno dal mondo professionale e il costo complessivo è ancora elevato data la marginale diffusione di tali impianti.

Concludendo, le potenziali prospettive di crescita sono ampie, ma frenate dall'attuale comparto industriale nazionale e dall'assenza di politiche nazionali adeguate. L'iniziativa è lasciata ai singoli produttori e le realizzazioni si sintetizzano in pochi impianti sul territorio.

E' quindi auspicabile la definizione di incentivi e la realizzazione di campagne di informazione per poter sviluppare questa tecnologia.

6.2 Ricerca e sviluppo

Per quanto riguarda il campo dell'edilizia, gli attuali sforzi di ricerca e sviluppo sono indirizzati in due direzioni:

- 1) miglioramento delle prestazioni energetiche delle macchine e quindi aumento dell'efficienza;
- 2) sviluppo di macchine che servano potenze ridotte (< 20kW) per ampliare l'attuale segmento di mercato e quindi una conseguente riduzione dei prezzi.

Per quanto riguarda il secondo punto, attualmente le macchine presenti sul mercato partono generalmente da potenze superiori a 35 kW; tale elevata potenza si scontra con la necessità di servire invece l'edilizia residenziale comprendente ville monofamiliari, villette a schiera e palazzine di media grandezza. Ad oggi, le applicazioni tipiche rimangono il piccolo commerciale e l'edilizia del terziario.

Per quanto riguarda la ricerca, in particolare, i temi da sviluppare sono la realizzazione di macchine di piccola taglia, ma anche la messa a punto di adeguati strumenti di progettazione per ottimizzarne l'efficienza (come segnalato dal punto 1): software dedicati, chiarezza dei risultati e limiti di applicazione.

In Italia, i soggetti coinvolti attualmente nella ricerca sono le ditte produttrici e le università, in particolare il Politecnico di Milano e l'Università degli Studi di Palermo.

Riferimenti bibliografici

Solar Assisted Cooling – Stato dell’arte (23.8.2006)

ESTIF

Progetto europeo K4RES-H – WP3

www.estif.org

Solar Air Conditioning Guide (Settembre 2004)

Guida realizzata all’interno del progetto europeo Climasol: Promozione dei sistemi di condizionamento dell’aria attraverso l’energia solare in Europa

www.raee.org/climasol

Task 25 del programma Solar Heating & Cooling
della IEA International Energy Agency

www.iea-shc-task25.org

Task 38 dello stesso programma

www.iea-shc.org/task38

Sito web del progetto europeo SOLAIR: Increasing the Market Implementation of Solar Air-Conditioning Systems for Small and Medium Applications in Residential and Commercial Buildings

www.solair-project.eu

Sito web del progetto europeo SOLCO: Removal of Non-Technological Barriers to Solar Cooling Technology Across Southern European Islands

www.solcoproject.net

Sito web del progetto europeo NEGST: New Generation of Solar Thermal Systems

www.swt-technologie.de/html/negst.html

Sito web del progetto europeo KEEPCOOL: Guideline to Sustainable Summer Comfort in Service Buildings

www.cceeta.pt/Keepcool/

Atti del workshop “Raffrescare con il sole. Tecnologie e prospettive per il solar cooling”, organizzato da Fast a Milano il 7 giugno 2007; le relazioni sono scaricabili alla pagina web: www.fast.mi.it/7attivita.htm

Il contenuto di questa guida riflette esclusivamente il punto di vista degli autori.

La Commissione europea non risponde circa l'utilizzo che può essere fatto delle informazioni raccolte.