



energie alternative - ricerca

Il raffrescamento solare: un esperimento francese

In forte espansione in molti paesi del Nord Europa e negli Stati Uniti, il raffrescamento solare, ovvero la combinazione di sistemi di deumidificazione per essiccazione con collettori solari, è attualmente oggetto di diversi progetti di ricerca. I risultati di uno studio effettuato presso un istituto di ricerche francese.

di Giovanni Chiesa

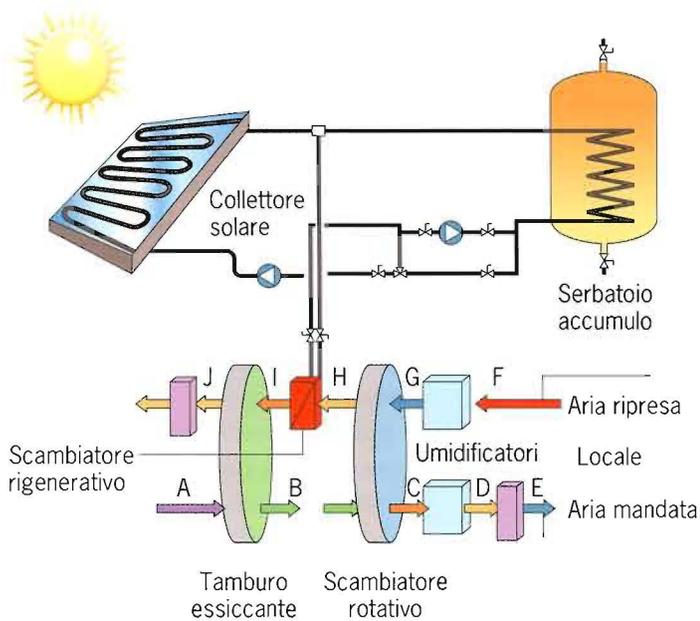
Questa tecnologia si basa sul raffrescamento ottenuto con evaporazione accoppiato ad un processo di disidratazione (o deumidificazione) del tipo ad assorbimento dell'aria.

Quest'ultima è trattata direttamente in funzione delle condizioni di benessere desiderate. L'acqua serve come refrigerante ed è in contatto diretto con l'aria da raffreddare.

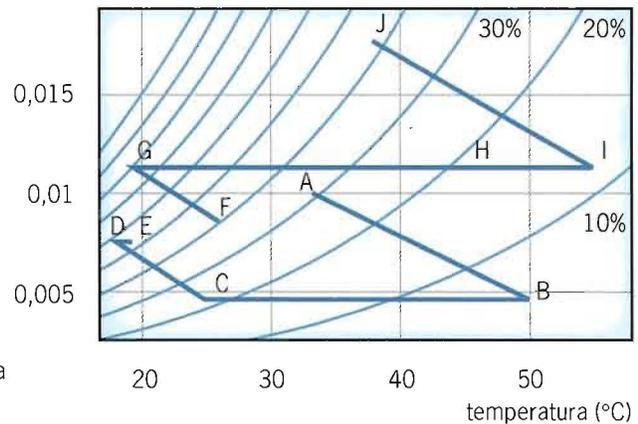
La disidratazione utilizza un tamburo ruotante la cui superficie è ricoperta di un materiale essiccante che agisce da deumidificatore.

Questo materiale assorbe il vapore d'acqua ed essicca l'aria. Dopodiché esso viene rigenerato (essiccato) per mezzo di un processo di riscaldamento (in un rigeneratore) in modo da poter essere disponibile nuovamente per il ciclo successivo.

Poiché il fabbisogno di climatizzazione corrisponde ai periodi di forte insolazione, l'energia solare può servire come sorgente di calore per la fase di deumidificazione del materiale essiccante.



Umidità assoluta (kg/kg aria secca)



1 Schema di un impianto di raffreddamento ad essiccazione con collettori solari.

I componenti principali di questo tipo di impianto sono presentati nella figura 1, che mostra pure, su un diagramma psicrometrico, le trasformazioni dell'aria corrispondenti al funzionamento in fase di essiccazione.

In base alle condizioni esterne, l'impianto presenta diverse modalità di funzionamento, e cioè :

- Ventilazione: quando l'aria esterna viene immessa nell'ambiente senza alcun trattamento (solo fase D-E sullo schema).
- Umidificazione diretta: l'aria viene umidificata in un umidificatore (C-D).
- Umidificazione indiretta: l'aria esterna viene raffreddata nello scambiatore rotativo (tamburo metallico) con passaggi a nido d'ape (B-C) da parte dell'aria di ripresa (G-H) e raffreddata con umidificazione nella fase F-G. Questa modalità viene impiegata quando si è in presenza di una fonte di umidità nel locale ed occorre intervenire per limitare il livello di umidità relativa.
- Umidificazione combinata: si tratta di una combinazione fra i due casi precedenti. In questo caso l'aria viene

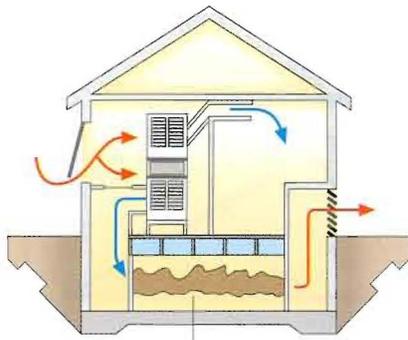
raffreddata nello scambiatore rotativo e nell'umidificatore diretto.

- Essiccazione: quando la temperatura dell'aria è molto elevata, le fasi precedenti diventano inefficienti e, in questo caso, l'impianto viene fatto funzionare in fase di essiccazione: l'aria esterna calda e umida attraversa un tamburo rotante di essiccazione a lenta rotazione ove viene deumidificata (A-B). Poiché l'aria si è riscaldata a causa del fenomeno dell'assorbimento, un primo raffreddamento viene ottenuto attraverso lo scambiatore rotativo (B-C). Dopodiché, l'aria viene umidificata, e quindi raffreddata, in un umidificatore (C-D), permettendo di aggiustare i livelli di temperatura e di umidità secondo i valori desiderati. L'aria che viene ripresa dall'ambiente viene umidificata (F-G) per approfittare al massimo del potenziale di raffreddamento esistente nello scambiatore termico rotativo (G-H). Infine, il tamburo rotante di essiccazione deve essere rigenerato (I-J) mediante il riscaldamento dell'aria di ripresa in uscita dallo scambiatore a tempera-

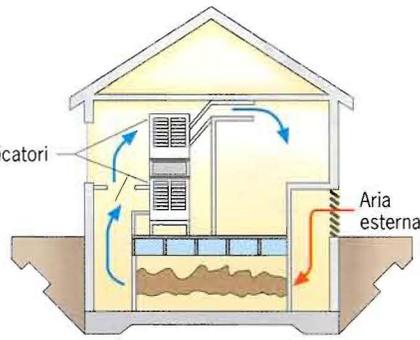
ture variabili fra 40 e 70 °C. Tenendo conto del livello di temperatura richiesto, è possibile quindi utilizzare dei collettori solari classici a superficie piana. Questo sistema è in genere adatto per essere impiegato negli edifici del terziario nei climi temperati oppure con forte gradiente di temperatura fra la notte ed il giorno. Nelle regioni mediterranee a forte umidità, invece questa configurazione non sempre permette di ridurre in modo sufficiente l'umidità ambiente per sfruttare il raffreddamento evaporativo. In questi casi bisogna ricorrere a configurazioni più complesse che utilizzano un ulteriore tamburo rotante di tipo entalpico oppure un gruppo frigorifero complementare. Vediamo, qui di seguito, il dettaglio delle diverse tecnologie che compongono questo tipo di impianto.

Umidificazione e raffreddamento

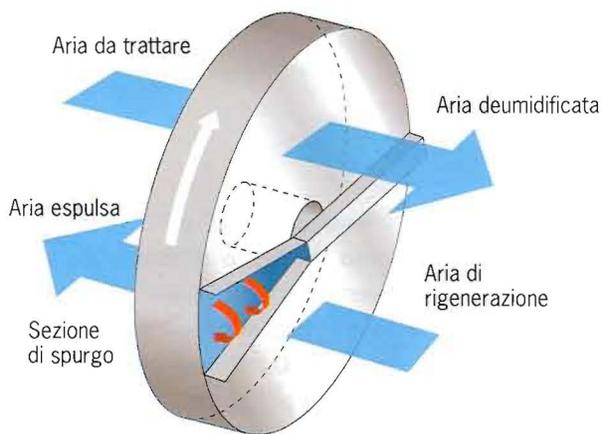
L'impiego del processo di evaporazione per il raffreddamento degli ambienti è stato opera di antiche civiltà che hanno dovuto rimediare ai problemi di disagio



Durante la notte



Durante il giorno



2 (sopra) Schema di funzionamento di un sistema evaporativo a due stadi con accumulo termico su un letto di rocce.

3 (a lato) Deumidificazione dell'aria con assorbimento per mezzo di un tamburo rotante.

estivo ricorrendo alle tecniche naturali di raffrescamento come bagnare dei pavimenti degli edifici ed utilizzare semplici sistemi evaporativi come getti d'acqua e fontane.

Lo sviluppo tecnologico della società moderna ha permesso di migliorare le prestazioni di questa tecnica di raffrescamento passivo attraverso la concezione di nuovi sistemi di evaporazione diretta nei quali l'aria viene a contatto diretto con l'acqua (sistemi con pacchi umidi oppure ad ugelli) e ad evaporazione indiretta attraverso uno scambiatore evaporativo (scambiatori a piastre, a tubi e rotativi).

In un umidificatore diretto (adiabatico), il flusso di aria non satura viene messo a contatto con acqua fredda che evapora e attinge il suo calore latente dall'aria

che vede la sua temperatura a bulbo secco diminuire e la sua umidità aumentare, sempre conservando un valore di entalpia praticamente costante. La temperatura minima che può essere raggiunta è la temperatura a bulbo umido dell'aria entrante. In uno scambiatore evaporativo indiretto, l'aria di mandata viene separata dall'aria di ripresa nella quale viene vaporizzata dell'acqua. Quest'aria trasmette del calore all'aria raffreddata e la sua entalpia diminuisce. L'efficienza di un sistema evaporativo è data dal rapporto fra la variazione reale della temperatura e la variazione teorica massima che la temperatura a bulbo secco può subire, cioè nel caso ideale che la temperatura di uscita diventi uguale alla temperatura a bulbo umido dell'aria entrante.

L'efficienza di un sistema evaporativo di-

retto è dell'ordine del 90% mentre quella di un sistema evaporativo indiretto varia fra il 70% e l'80%.

Sono disponibili sul mercato diverse tecnologie di umidificazione, ciascuna essendo adatta a degli impieghi specifici. Alcune di esse richiedono delle norme di manutenzione molto restrittive per evitare la proliferazione di germi e di muffe oppure di determinati batteri quali quelli della Legionella.

I sistemi di umidificazione sono efficaci nelle regioni a clima temperato con bassa umidità assoluta. Quando l'umidità esterna aumenta questi sistemi, anche se ottimizzati, diventano poco efficaci. Esempio di un sistema ottimizzato è un sistema accoppiato ad un edificio a forte inerzia termica, la cui struttura in cemento può accumulare il freddo della notte e ritardare l'aumento diurna della temperatura interna. In questo caso si può utilizzare l'umidificazione combinata (diretta e indiretta) oppure a doppio stadio, che consiste nel raffreddare l'aria in uno scambiatore, prima di raffreddarla ulteriormente con l'umidificazione.

Questa tecnica è particolarmente interessante nel caso di abitazioni singole dove è possibile impiegare un umidificatore insieme con un sistema di accumulo costituito da un letto di rocce (che può essere utilizzato in estate per accumulare il freddo di notte e, in inverno, il calore proveniente, per esempio, dai collettori termici solari). In questo modo, nella stagione estiva e durante i periodi notturni, l'umidificatore raffredda il letto di rocce. Durante i periodi diurni, poi, l'aria esterna viene raffreddata ad umidità assoluta costante, nel letto di rocce, prima di entrare nell'umidificatore (figura 2).

Per ciò che riguarda le regioni calde e umide oppure per gli edifici del terziario ad elevato carico latente, questi sistemi sono poco efficaci ed è necessario ricorrere alla deumidificazione dell'aria.

La deumidificazione dell'aria

Nelle applicazioni di condizionamento d'aria, esistono due mezzi principali per deumidificare l'aria: per condensazione del vapore acqueo contenuto nell'aria per mezzo di una batteria raffreddante, oppure per contatto diretto con un materiale essiccante.

La deumidificazione per raffreddamento si distingue da quella per essiccazione per i seguenti fattori:

- L'energia utilizzata è energia elettrica nel primo caso ed energia termica nel secondo caso. La differenza di costo fra le due energie può costituire un criterio determinante nella scelta di quale tecnologia deve essere adottata.
- La temperatura del punto di rugiada dell'aria deumidificata: i sistemi a

raffreddamento sono di rado utilizzati nel caso di applicazioni a basso punto di rugiada a causa di possibili problemi dovuti a congelamento della condensa sulla batteria di raffreddamento, che possono ridurre l'efficienza dell'impianto.

- Le condizioni di entrata dell'aria: i sistemi a raffreddamento sono più economici rispetto a quelli ad essiccazione quando la temperatura e l'umidità dell'aria da trattare sono elevate.
- Le condizioni di uscita dell'aria: le batterie di raffreddamento sono più idonee quando si desidera uno stato dell'aria deumidificata vicino alla saturazione, mentre i sistemi ad essiccazione sono più idonei se si desidera avere delle basse umidità relative.

La deumidificazione ad essiccazione, che

necessita di una fonte di energia termica, può essere utilizzata in combinazione con l'energia solare, che è pulita e gratuita.

La deumidificazione ad assorbimento

L'assorbimento è un fenomeno fisico che consiste nel fissare le molecole di un elemento (elemento adsorbito o assorbito) ad una superficie generalmente granulosa e porosa (superficie sorbente). I materiali essiccanti costituiscono una classe particolare di sorbenti. Essi hanno una grande affinità con l'acqua, poiché l'attrano formando sulla loro superficie una zona a bassa pressione. Il vapore contenuto nell'aria, che presenta una pressione più elevata, si trasferisce dall'aria verso la superficie del materiale e l'aria viene deumidificata.

Si parla di "assorbimento" quando si ha un cambiamento di fase del vapore verso lo stato liquido e di "adsorbimento" quando il vapore resta intrappolato allo stato gassoso nei pori dell'adsorbente.

Attualmente i sorbenti più utilizzati sono SiO_2 (silicagel), CaCl_2 (cloruro di litio), Al_2O_3 (allumina attivata) ed il bromuro di litio. Queste sostanze sono depositate su un supporto con struttura a nido d'ape (tamburo rotante). Quando la sostanza diventa satura, occorre riscaldarla affinché venga liberato il suo contenuto di acqua.

Questo processo di rigenerazione ha bisogno di una sorgente di calore che è fornita dall'energia solare. La temperatura di rigenerazione dipende dal tipo di materiale impiegato e può variare da 40 a 70 °C nel caso di cloruro di litio in soluzione, mentre può raggiungere parecchie centinaia di gradi per certi carboni e zeoliti.

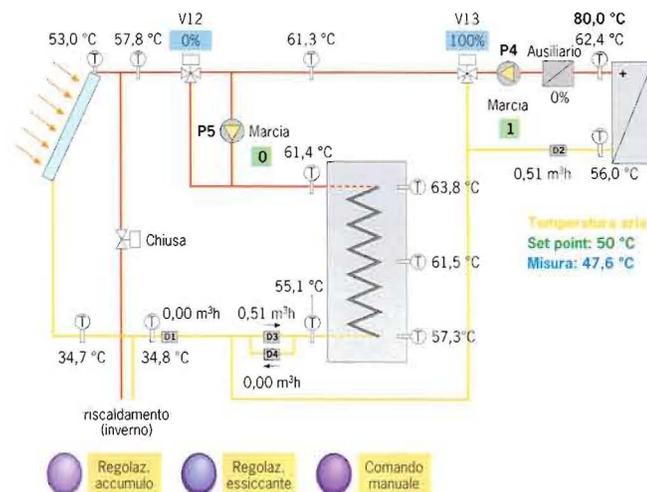
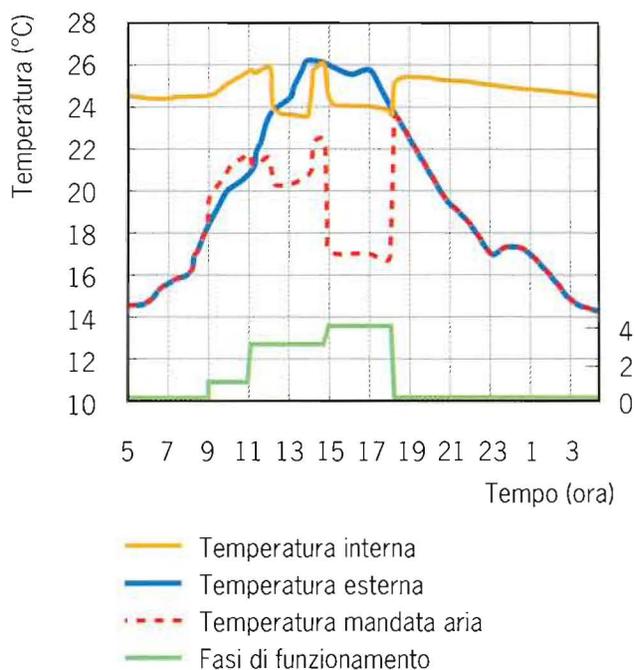
Nella figura 3 è riportata una tipica configurazione che consiste nel far girare lentamente una ruota attraversata da due correnti d'aria in senso opposto, costituite dall'aria di processo e dall'aria di rigenerazione. L'aria di processo scorre fra i canaletti della ruota ed il materiale



4 Vista della ruota essiccante nel suo involucro prima dell'installazione nella centrale



5 Umidificatore diretto ad ultrasuoni montato sul canale d'aria con l'osmosizzatore ed il suo serbatoio di riserva.



6 (A fianco) Profilo della temperatura dell'aria per condizioni climatiche medie (fasi funzionali: 1 in ventilazione, 2 in umidificazione diretta; 3 in umidificazione indiretta; 4 in essiccazione).

7 (Sopra) Schema del circuito idraulico dell'impianto essiccante.

essiccante ivi depositato si carica di umidità. Assorbendo questa umidità, il materiale diventa saturo e la pressione del vapore acqueo sulla sua superficie aumenta. Quando la ruota viene attraversata dall'aria di rigenerazione, la superficie si riscalda e la sua pressione continua ad aumentare, permettendo così al vapore di venire liberato e captato dal flusso d'aria da espellere. Dopo la riattivazione, la ruota viene raffreddata per mezzo di una parte dell'aria di processo affinché essa possa assorbire nuovamente l'umidità del ciclo successivo.

La ricerca in Francia

Un progetto di ricerca realizzato a Chambéry in Savoia è stato previsto per tre diverse applicazioni costituite da uffici, sala di esposizione e sala di formazione.

Le sale di esposizione e di formazione hanno un tetto ricoperto da vegetazione. Le loro facciate esposte a sud hanno delle ampie vetrate e dispongono di schermature per limitare le dispersioni in inverno e gli apporti solari in estate.

La sala di formazione, con superficie di

70 m² e affollamento di 40 persone, è munita di un impianto ad essiccazione solare. La potenza di questo impianto è di 7 kW ed è servito da 16 m² di collettori solari piani integrati sul tetto della hall. Anche se la taglia dell'impianto è bassa, essa può offrire un interesse dimostrativo evidente per tutti i locali del terziario.

All'inizio del progetto, lo scambiatore rotativo ed i ventilatori facevano già parte della centrale tecnologica. Per trasformarla in un impianto ad essiccazione, essa è stata equipaggiata con una ruota essiccante e due umidificatori. La ruota essiccante presenta una struttura di cellulosa impregnata di una soluzione viscosa di cloruro di litio con proprietà battericide (figura 4). Per gli umidificatori, si è ricorso a quelli ad ultrasuoni (figura 5). Questo tipo di umidificatore, infatti, è particolarmente silenzioso e provoca l'evaporazione dell'acqua generando delle bolle di vapore acqueo ionizzate negativamente. Grazie agli ioni negativi, l'aria viene purificata mediante la precipitazione degli inquinanti in sospensione. Gli umidificatori dispongono di un potenziometro

che permette di regolare l'umidità relativa dell'aria all'uscita dell'umidificatore, e sono altresì muniti di un sistema di pulizia e di lavaggio automatico periodico. Per ciò che riguarda l'acqua utilizzata, essa viene trattata da un sistema di filtrazione molto perfezionato mediante sistemi ad osmosi nel quale l'acqua viene filtrata e trattata con una cartuccia di carbone attivo che assorbe le sostanze chimiche. L'impianto solare è composto da una superficie di 16 m² di collettori termici piani integrati nel tetto e da un serbatoio di accumulo dell'acqua di 1,5 m³.

Il modello dell'impianto

Per poter studiare il potenziale di raffreddamento dell'impianto ed il suo comportamento, è stato realizzato un modello di simulazione dell'ambiente che permette la risoluzione di tutti i tipi di equazioni e costituisce il risolutore di equazione del programma standard americano Energy +.

La figura 6 mostra il profilo della temperatura dell'aria durante una giornata estiva per condizioni climatiche medie. La sala è occupata dalle 9 alle 12 del mattino e dal-

le 14 alle 18 del pomeriggio. L'efficienza dell'umidificatore è 0,85 e quella dello scambiatore rotativo 0,80.

In funzione delle condizioni esterne ed interne, le varie fasi di funzionamento presentate all'inizio di questo articolo sono utilizzate successivamente nella maniera seguente. L'impianto funziona unicamente come ventilazione fino alle 11 del mattino. Fra le 12 e le 14 la sala è vuota ma viene raffrescata per l'apporto dell'umidificazione indiretta. Alle 15 la temperatura della sala supera i 26 °C e l'umidificazione indiretta diventa inefficace, il che obbliga a passare alla fase di essiccazione. In questo caso, la fase di umidificazione diretta non viene mai impiegata. Il coefficiente prestazionale calcolato per questo tipo di impianto per la fase di essiccazione è pari a 8, calcolato come rapporto fra la potenza di raffreddamento estratta dall'aria esterna e la potenza elettrica consumata per gli umidificatori, le pompe ed i motori elettrici delle ruote.

Ciò che rende il processo particolarmente interessante è che il consumo di acqua da parte degli umidificatori è molto

basso, dell'ordine di 2 m³/mese (secondo le simulazioni).

I risultati sperimentali

Al fine di convalidare il modello sviluppato, l'impianto sperimentale è stato munito di una metrologia idonea che permette di rilevare la temperatura dell'aria e la sua umidità a livello di ciascun componente. A tale scopo è stata concepita una interfaccia grafica che permette di comandare e controllare l'impianto a distanza.

La figura 7 mostra il funzionamento dell'impianto di deumidificazione durante le varie fasi delle prove. Sul lato della mandata dell'aria, da sinistra a destra, l'aria attraversa in successione la ruota essiccante, lo scambiatore rotativo, una batteria di raffreddamento (alimentata con acqua prelevata da una falda freatica, essa rimane inutilizzata se l'impianto essiccante è attivo), il ventilatore e l'umidificatore.

Sul lato dell'aria di estrazione, l'aria attraversa, in successione, il ventilatore, l'umidificatore, lo scambiatore rotativo, la batteria di rigenerazione e la ruota essiccante.

Nella parte bassa della figura sono indicati i tre pulsanti che permettono di controllare il funzionamento dell'impianto a seconda che lo stesso funzioni in umidificazione diretta (regolazione dell'umidità relativa all'uscita dell'umidificatore diretto), umidificazione indiretta (regolazione dell'umidità relativa all'uscita dell'umidificatore indiretto e comando dello scambiatore di calore), essiccazione (scelta della temperatura di rigenerazione, comando della batteria di rigenerazione elettrica, della ruota essiccante e degli elementi dell'impianto solare) e, infine, a comando manuale (accesso diretto a tutti i componenti).

La figura 8 visualizza il funzionamento dell'impianto solare che comprende i collettori piani, un serbatoio di accumulo, la batteria di rigenerazione (la stessa che si trova nell'impianto della figura 7), una resistenza elettrica integrativa e due pompe.

La stesura dei dati sperimentali di questo impianto è iniziata durante l'estate 2006 ed ha permesso di caratterizzare ogni componente e ogni fase di funzionamento.

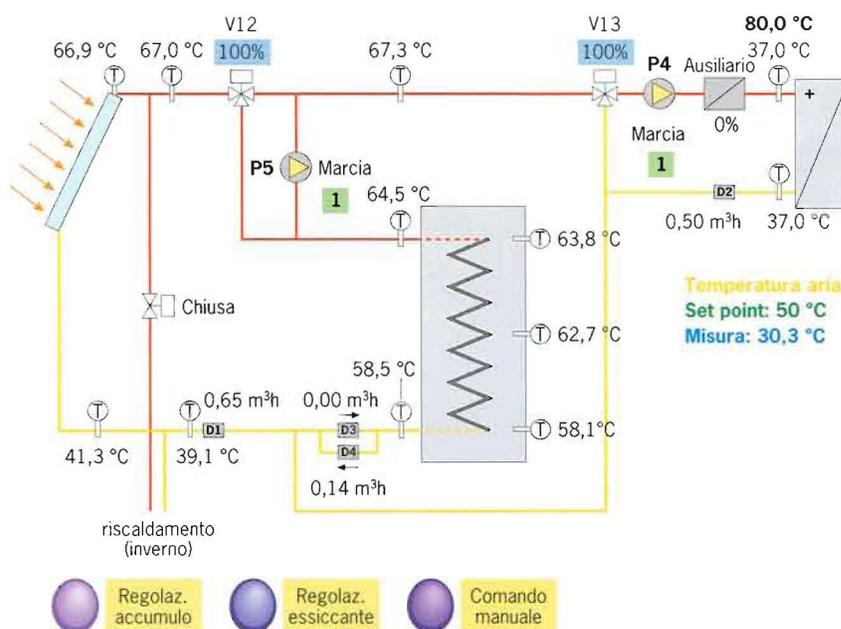
I risultati ottenuti sono molto promettenti e saranno completati il prossimo anno con uno studio funzionale completo di un idoneo sistema di regolazione.

Conclusioni

Sebbene questa tecnologia sembri ormai ampiamente collaudata, rimane il problema di abbassare il costo per poter ottenere un reale sviluppo di massa. Tuttavia la continua diffusione che essa conosce in diversi paesi europei dovrebbe essere da stimolo per il suo impiego da parte di progettisti più sensibili alla protezione dell'ambiente.

Bibliografia

C. Malouf, E. Wurtz, *Rafraichissement solaire: une experimentation a Chambéry - RPF, aprile 2007*



8 Schema del circuito idraulico dell'impianto solare.