

Solar cooling: il condizionamento sostenibile

Petrolio alle stelle, black-out estivi e continua richiesta di energia, rendono il condizionamento estivo un problema di primaria importanza. È necessario affidarsi a tecnologie più innovative e risparmiose. Progettare impianti di raffrescamento più efficienti si può, con l'aiuto del sole

Giuliano Dall'Ò, Annalisa Galante

A parte i pochi eletti che quest'anno hanno trascorso le proprie vacanze in città senza mai usare il condizionatore, negli ultimi 10 anni le temperature estive hanno raggiunto picchi di oltre 35°C, facendo crescere esponenzialmente le vendite di macchine frigorifere più o meno efficienti. Contemporaneamente, tecniche passive o semi-attive, impiegate per secoli per preservare buone condizioni di comfort interno, sembrano essere state dimenticate in numerosi edifici di nuova costruzione.

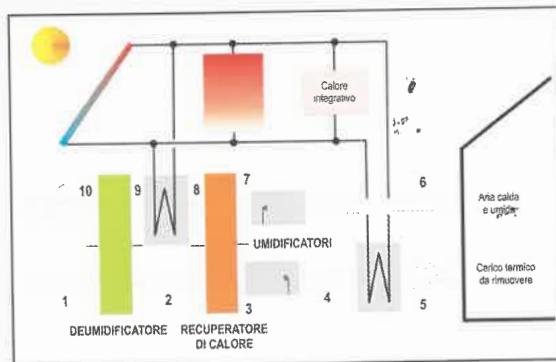
L'uso eccessivo di impianti di condizionamento con macchine frigorifere a compressione alimentate a energia elettrica ha determinato una crescita della domanda di energia di picco di potenza elettrica nel periodo estivo che, in numerosi casi, raggiunge la capacità limite delle reti, arrivando al black-out. L'emissione di gas a effetto serra, che aumenta con la produzione di energia o a causa della perdita fluidi refrigeranti, aggrava ulteriormente il circuito vizioso legato al cambiamento climatico.



Ultime sul raffrescamento: desiccant cooling con sistemi rotanti a sostanze solide

La release 15.0 di FaTAWin presenta un ventaglio di nuove funzionalità che, senza intaccare le apprezzabili caratteristiche di semplicità e flessibilità del software, ne crescono ulteriormente la potenza e velocità di elaborazione. Tra queste si segnalano:

- calcolo e verifica di collegamenti tra elementi in acciaio tramite la piena interazione FaTAWin-UdF (Unioni di Forza di StruSecWin);
- definizione di nuove tipologie di sezioni con profilati metallici accoppiati;
- inserimento facilitato di eventuali controventature;
- inserimento di pareti forate;
- solai orizzontali ed inclinati interamente in cemento armato;
- inserimento di travi di fondazione anche a livello di piano, in modo da facilitare la definizione di telai zoppi;
- calcolo automatico delle altezze di pilastri intermedi a due pilastri di altezze definite e diverse;
- visualizzazione dei diagrammi e delle deformate completa della struttura solida e di una mappa colori per una più facile ed immediata lettura degli stati sollecitazionali;
- presenza delle pareti all'interno della pianta carpenteria relativa al piano di fondazione;
- gestione grafica delle piante carpenterie ulteriormente facilitata con nuove funzioni;
- procedura automatica per il ripristino degli archivi di backup.



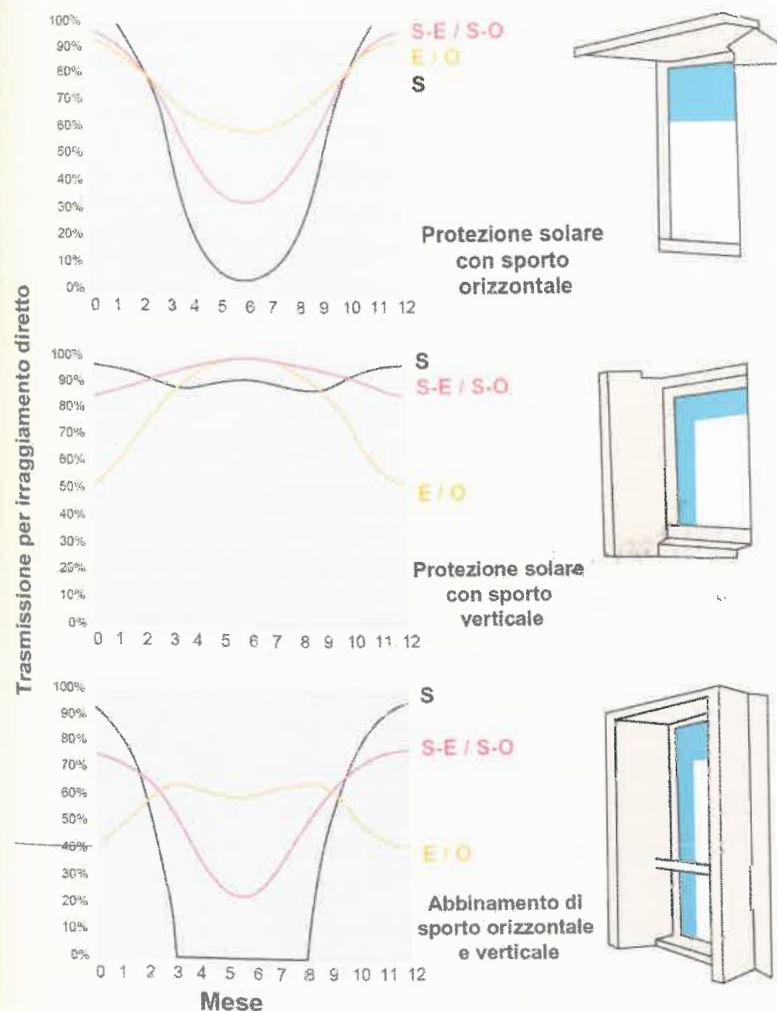
Ampia, e ben nota agli addetti ai lavori, è la scelta di tecnologie per il raffrescamento passivo, sia per edifici in fase di progettazione, sia per quelli esistenti, senza impiegare impianti di condizionamento dell'aria, o per lo meno per ridurre drasticamente il fabbisogno energetico estivo.

Ma se parliamo di innovazione tecnologica legata agli impianti, non possiamo non tenere conto di un bene prezioso, il sole, che può alimentare impianti per il raffrescamento che hanno dimostrato, alcune per più di dieci anni, di essere efficienti e affidabili. Queste tecnologie fanno uso di fluidi

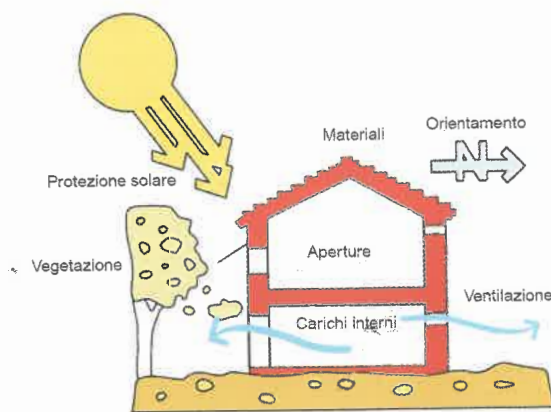
refrigeranti non nocivi e di molta meno energia primaria in quantità ridotta. Quindi, perché non utilizzare l'energia solare per raffrescare gli edifici? Vediamo come e, soprattutto, se conviene.

Prima regola: ridurre i carichi

Anche se la fonte energetica, l'energia sola-



STRATEGIE BIOCLIMATICHE



Sopra, il carico termico estivo di un edificio, e quindi il fabbisogno energetico richiesto dall'impianto di climatizzazione, possono essere ridotti ricorrendo all'impiego di strategie "bioclimatiche".

A sinistra, efficacia di alcuni sistemi di protezione solare. L'effetto della radiazione solare può essere ridotto ricorrendo a vari tipi di schermature: aggetti verticali (per orientamenti est e ovest) o orizzontali (per orientamenti a sud); frangisole esterni fissi o regolabili; tende esterne (avvolgibili o alla veneziana); tende interne (del tipo alla veneziana o in tessuto); vetri speciali.

re, è gratuita, è necessario considerare che il costo degli impianti di solar cooling, a parità di potenza erogata, è maggiore rispetto a quello di un impianto di condizionamento con macchina frigorifera tradizionale a compressione.

L'installazione di questo tipo di impianto richiede un'attenta analisi delle caratteristiche del-

l'edificio da climatizzare e l'adozione di tutte le tecniche per la riduzione del fabbisogno energetico.

Negli impianti di climatizzazione estiva la potenza frigorifera della macchina refrigerante viene valutata sulla base del carico termico estivo, ossia della somma di tutti i carichi termici, interni ed esterni, che concorrono ad alterare le condizioni di equilibrio termico tra l'ambiente confinato e tutto ciò che sta all'esterno di esso.

Nel periodo estivo la quantità di calore da smaltire dipende da una serie di fattori alcuni dei quali variano nell'arco della giornata. Influiscono maggiormente sul fabbisogno termico estivo:

- l'effetto della radiazione solare attraverso le strutture trasparenti;
- l'effetto della trasmissione di calore attraverso le strutture trasparenti ed opache;
- l'inerzia termica delle strutture dell'edificio;
- i carichi termici interni dovuti alla presenza sia di persone che di apparecchiature;
- le entrate di calore dovuta alle infiltrazioni e ai ricambi d'aria.

Il carico termico estivo di un edificio, e quindi il fabbisogno energetico dell'impianto di climatizzazione, possono essere ridotti ricorrendo all'impiego di strategie "bioclimatiche", come:

- le protezioni solari per vetri, pareti e coperture, utilizzando schermatura artificiali o naturali;
- l'impiego di una maggiore inerzia termica associata a ventilazione notturna;
- un'adeguata ventilazione naturale.

Il controllo dei tre elementi: inerzia termica, protezione solare e ventilazione, determina una sostanziale riduzione della temperatura media interna dell'edificio in estate.

SISTEMI DESSICANT COOLING



Sopra, IHK - Camera di Commercio di Friburgo (Germania). Collettori solari ad aria che alimentano un sistema a desiccant cooling.

A sinistra, Fraunhofer Institute di Friburgo (Germania): prototipo di impianto a desiccant cooling.

Raffrescare con il sole

L'utilizzo intensivo di impianti di condizionamento "casalinghi" e le scarse precipitazioni, che portano le centrali idroelettriche a non poter far fronte ai picchi di richiesta, aumenta la carenza di energia, che ogni tanto si manifesta con un black-out.

Se ogni estate il problema si ripresenta, l'utilizzo dell'energia solare per il raffrescamento degli edifici risulta essere un'ipotesi non priva di attrattive, anche perché il periodo con la maggiore richiesta di condizionamento coincide proprio con il periodo nel quale la radiazione solare è al massimo e le giornate sono più lunghe.

I sistemi di climatizzazione a energia solare possono essere usati, da soli o integrati ai sistemi di condizionamento tradizionali. L'energia termica generata dall'impianto solare viene utilizzata per alimentare il processo di raffreddamento. Possono essere classificati in:

- *sistemi chiusi*: macchine frigorifere alimentate da vettori termici (acqua calda o vapore) che producono direttamente acqua refrigerata, che può essere impiegata nelle unità di trattamento degli impianti di condizionamento ad aria o distribuita attraverso una rete di tubazioni ai terminali di condizionamento decentralizzati nei vari locali da climatizzare. Sul mercato sono già disponibili da tempo macchine frigorifere di

Tipologia	Descrizione dell'intervento	Costo	Risparmio [%]
Gestione operativa	Regolazione della temperatura interna in ogni ambiente	nullo	0% - 6%
	Aumento della temperatura ambiente (27°C anziché 25°C)	nullo	4% - 8%
	Aumento dell'umidità relativa ambiente (55-60% anziché 50%)	nullo	1% - 5%
	Uso corretto dell'illuminazione artificiale e delle apparecchiature elettriche	nullo	3% - 7%
	Gestione corretta di finestre esterne e persiane	nullo	0% - 5%
Riduzione dei carichi termici interni	Regolazione dell'impianto di illuminazione (variatori di intensità, sensori di presenza, ecc.) con lampade incandescenti	basso	4% - 6%
	Regolazione dell'impianto di illuminazione (variatori di intensità, sensori di presenza, ecc.) con lampade fluorescenti	basso	2% - 4%
	Utilizzo di apparecchi con lampade a basso consumo (lampade a fluorescenza anziché a incandescenza)	medio	10% - 13%
Interventi sull'involucro edilizio	Sistemi di oscuramento interni	basso	2% - 5%
	Sistemi di oscuramento esterni	medio	8% - 19%
	Installazione di aggetti verticali (0,6 m)	alto	2% - 18%
	Installazione di aggetti orizzontali (1,5 m)	alto	1% - 9%
	Installazione di aggetti orizzontali (0,6 m)	alto	2% - 8%
	Installazione di vetri doppi riflettenti	alto	4% - 7%
	Installazione di pellicole riflettenti	medio	3% - 11%
	Colorazione delle pareti esterne con tinte chiare a basso assorbimento	basso	1% - 8%
	Coibentazione delle pareti perimetrali con isolamento a cappotto	alto	0,6% - 1%
	Realizzazione di pareti ventilate	alto	0,2% - 0,6%
	Coibentazione della copertura	medio	3% - 6%
	Sistemi di ombreggiamento in copertura	alto	3% - 6%
	Realizzazione di tetti ventilati	alto	2% - 8%
Realizzazione di tetti verdi	alto	4% - 15%	
Interventi sul sistema impianto	Installazione di un recuperatore di calore sull'aria estratta	alto	2% - 4%
	Favorire il free-cooling e la ventilazione notturna	medio	4% - 8%
	Installazione di sistemi di regolazione efficienti	alto	2% - 8%
	Utilizzo di terminali radianti (soffitti freddi, travi fredde, ecc.)	alto	2% - 8%

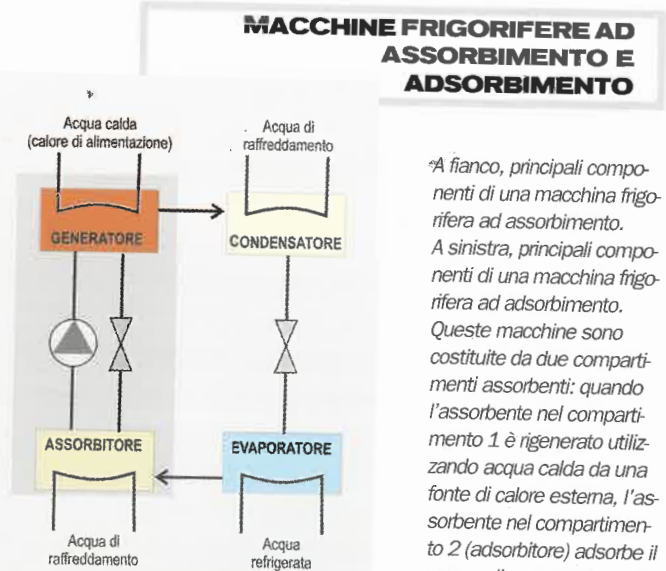
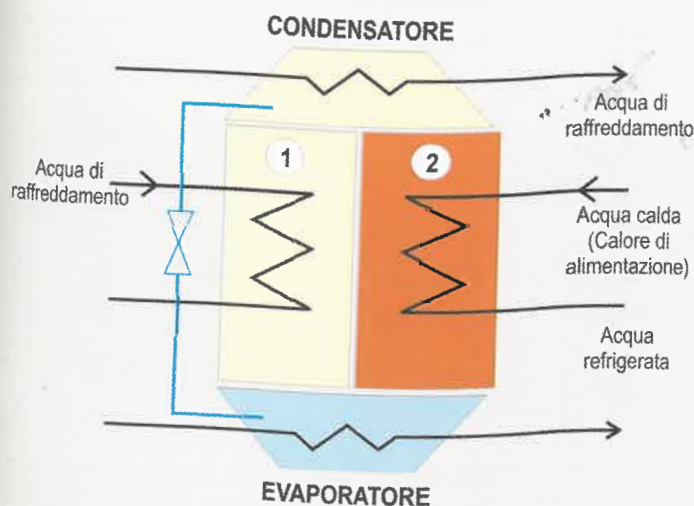
Possibili interventi per la riduzione del carico termico estivo in edifici esistenti. Si osserva come alcuni di questi non comportino alcun costo mentre altri comportino costi limitati che si ripagano in pochi anni. Gli interventi più costosi sono quelli che riguardano l'involucro dell'edificio. Una corretta pianificazione di questi interventi all'interno delle normali fasi di manutenzione può contribuire in modo sensibile alla riduzione dei costi (fonte: Progetto Europeo "Climasol", 2005).

questo tipo (ad assorbimento e ad adsorbimento);

- **sistemi aperti**: consentono un completo trattamento dell'aria, che viene raffreddata e deumidificata. Il refrigerante è sempre l'acqua, in diretto contatto con l'aria ambiente. I sistemi più diffusi sfruttano il principio del desiccant cooling e impiegano deumidificatori rotanti con sostanze assorbenti solide.

Macchine alimentate da sorgente termica
Possono essere caratterizzate da tre livelli di temperatura:

- alta temperatura corrispondente all'alimentazione termica del processo;
 - bassa temperatura al quale opera il ciclo di refrigerazione;
 - medio di temperatura, corrispondente al calore dissipato dall'acqua che compie il ciclo e al fluido esterno che asporta il calore.
- Per rimuovere questo calore dissipato dalla macchina, in molti casi è necessaria una torre evaporativa. La temperatura dell'acqua refrigerata dipende dal sistema di climatizzazione uti-



A fianco, principali componenti di una macchina frigorifera ad assorbimento. A sinistra, principali componenti di una macchina frigorifera ad adsorbimento. Queste macchine sono costituite da due compartimenti assorbenti: quando l'assorbente nel compartimento 1 è rigenerato utilizzando acqua calda da una fonte di calore esterna, l'assorbente nel compartimento 2 (adsorbitore) adsorbe il vapore d'acqua proveniente dall'evaporatore.

lizzato negli ambienti. Nel caso di deumidificazione dell'aria occorre acqua refrigerata a 6°-9°C. Per rimuovere il solo calore sensibile dagli ambienti attraverso sistemi a tutta aria, sistemi radianti freddi a soffitto o altro, è richiesta una temperatura dell'acqua superiore (12°-15°C) a tutto vantaggio delle migliori prestazioni della macchina.

Macchine frigorifere ad assorbimento

Sono macchine frigorifere alimentate da vettori termici più diffuse a livello mondiale. Attraverso la combinazione di una soluzione liquido refrigerante/assorbente e di una fonte di calore è possibile sostituire il compressore elettromeccanico. Per gli utilizzi tipici del settore del condizionamento, con acqua refrigerata a una temperatura al di sopra degli 0°C, come refrigerante viene utilizzata una soluzione liquida (acqua e bromuro di litio).

Diverse macchine utilizzano una pompa interna, che consuma una limitata quantità di energia elettrica.

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

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.

Macchine frigorifere ad adsorbimento

Vengono impiegati materiali assorbenti solidi: quelli disponibili sul mercato impiegano acqua come refrigerante e silica gel come assorbente. Sono costituite da 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, ad esempio collettori solari, l'assorbente nel secondo compartimento

Metodo	Ciclo chiuso		Ciclo aperto	
Ciclo refrigerante	Ciclo refrigerante chiuso		Il refrigerante (acqua) è in diretto contatto con l'atmosfera	
Principio	Acqua refrigerata		Deumidificazione dell'aria e raffreddamento evaporativo	
Fase di assorbimento	Solido	Liquido	Solido	Liquido
Materiale	Acqua-silica gel	Acqua-bromuro di litio Ammoniaca-acqua	Acqua-silica gel Acqua-cloruro di litio	Acqua-cloruro di calcio Acqua-cloruro di litio
Tecnologia disponibile sul mercato	Macchina ad adsorbimento	Macchina ad assorbimento	Desiccant cooling	Prossimo alla commercializzazione
Tipica taglia di potenza (raffreddamento)	50-430 kW	15 kW - 5MW	20 - 350 kW	-
Tipico COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75 (singolo effetto)	0,5 - >1	>1
Temperatura di funzionamento	60°-90°C	80°-110°C	45°-95°C	45°-70°C
Collettori solari da utilizzare	Tubi sottovuoto, collettori piani	Tubi sottovuoto	Collettori piani e ad aria	Collettori piani e ad aria

(adsorbitore) adsorbe il vapore d'acqua proveniente dall'evaporatore.

L'acqua nell'evaporatore viene trasformata nella fase gassosa essendo stata riscaldata da un circuito di acqua esterno: in questa parte della macchina viene prodotto il freddo.

Le tipiche condizioni operative con una temperatura di alimentazione della sorgente calda di circa 80°C consentono di raggiungere un COP pari a circa 0,6. Il range delle potenze frigorifere di queste macchine è compreso tra i 50 e i 500kW.

Gli svantaggi sono costituiti dalle dimensioni, tutt'altro che trascurabili, e dal peso. Inoltre, a causa del numero limitato di produttori, il prezzo delle macchine frigorifere ad adsorbimento è relativamente elevato.

Negli impianti di condizionamento a energia solare, l'energia termica generata dall'impianto solare viene utilizzata per alimentare il processo di raffreddamento. Ecco le principali tecnologie utilizzate per queste applicazioni impiantistiche (fonte: Progetto Climasol).

Giuliano Dall'Ò, architetto, è Professore Associato presso il Dipartimento Best, Politecnico di Milano e Direttore della Rete di Punti Energia della Regione Lombardia; Annalisa Galante, architetto, Dipartimento Best, Politecnico di Milano.

Segue a pagina 1067

Per saperne di più...

Ulteriori suggerimenti per la progettazione di sistemi di condizionamento solari:

- Solar Heating and Cooling Program of the International Energy Agency: task 25 - Solar-Assisted Air-Conditioning of Buildings (<http://www.iea-shc-task25.org>)
- Linee Guida progetto SACE - Solar Air-Conditioning in Europe (<http://www.ocp.tudelft.nl/ev/res/sace.htm>)
- EU project Climasol: promoting Solar Air Conditioning (<http://www.raee.org/climasol>)

Ibrido solare

Collettori solari ad acqua e ad aria e moduli ibridi fotovoltaici/termici in un unico tetto solarizzato

La Regione Lombardia, tra le tante iniziative, ha messo in atto una strategia specifica per la promozione dell'utilizzo dell'energia solare nell'ambito del programma di riqualificazione delle sedi dei Centri di Formazione Professionale di sua competenza. Operativamente, la Direzione Generale Formazione e Lavoro ha stipulato una convenzione con l'Associazione Rete di Punti Energia, ha aderito al progetto comunitario Altener Schools e si è avvalsa della consulenza del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Milano, costituendo dei solidi presupposti per la sperimentazione di impianti solari termici su alcuni edifici giudicati particolarmente idonei allo scopo. L'impianto solare multifunzionale installato sul tetto del Centro Alberghiero, entrato in funzione nel febbraio 2005, costituisce il primo esempio di notevoli proporzioni dell'impegno profuso in questa direzione. Come la facciata dell'Ecomensa del Centro Ricerche FIAT di Orbassano, già trattata in queste pagine, l'intervento è basato sull'impiego del sistema TIS che consente di installare in un unico manto di copertura, completo e modulare, collettori solari ad acqua, collettori solari ad aria e moduli ibridi fotovoltaico-termici. Il tetto solarizzato del CFP di Casargo si estende su di una superficie di circa 390 m² (comprese le fasce cieche di completamento e le canalizzazioni in spessore), corrispondente alla falda sud del tetto dell'edificio, e si articola in 3 diversi impianti:

- impianto eliotermico per la produzione di acqua calda sanitaria, con superficie di captazione di 112 m²;
- impianto eliotermico per il preriscaldamento dell'aria di rinnovo, con superficie di captazione di 114 m²;
- impianto ibrido fotovoltaico-termico da 3,9 kWp elettrici (circa 23 m² di pannelli), destinato ad alimentare i sistemi di regolazione e controllo dei due impianti precedenti ed a preriscaldare l'immissione in quello ad aria.

Per le sue dimensioni, l'intervento rappresenta una delle maggiori applicazioni solari italiane in campo architettonico e, per la sua multifunzionalità, una realizzazione unica a livello mondiale. Le tre forme principali di sfruttamento in edilizia dell'energia fornita dal Sole,



Il Progetto

Centro di Formazione Professionale di Casargo

Progetto Preliminare:
Associazione Reti Punto Energia, Regione Lombardia

Progetto Definitivo:
Prof. G. Chiesa, Arch. N. Aste, Politecnico di Milano

Progetto Esecutivo e realizzazione:
SeccoSistemi S.p.A., Preganziol (TV)

Direzione Lavori Specialistica:
Arch. L. Tagliabue, Ing. M. Maistrello

infatti, si trovano qui compresenti e perfettamente integrate, sia a livello di tecnologia edilizia sia a livello di dotazione impiantistica. Ciò è dovuto alla versatilità del TIS, concepito e progettato proprio in vista di opere come quella in oggetto, in funzione della massima praticità e flessibilità di impiego. All'interno della matrice modulare, infatti, il sistema consente di dimensionare e posizionare gli impianti a piacere, secondo le particolari esigenze tecniche, funzionali ed economiche dell'utenza servita. I dati produttivi annuali forniti dalle stime e dalle simulazioni eseguite durante le fasi di studio e di progetto, indicano, rispettivamente, 60.000 kWh per la produzione di ACS (60% del fabbisogno interno), 35.000 kWh termici sotto forma di aria calda (dei quali 22.000 durante la stagione di riscaldamento sfruttati per il preriscaldamento dell'aria di rinnovo) e 5.000 kWh elettrici. L'unicità della realizzazione la rende particolarmente adatta a rappresentare un caso studio, utile per fornire indicazioni tecniche e riferimenti per interventi analoghi. Per questo motivo, il tetto solarizzato è stato dotato di un sofisticato sistema di rilevazione e controllo, che consente di misurarne costantemente le prestazioni e di raccoglierle in un apposito data base. Si deve evidenziare che nei

primi mesi di funzionamento il monitoraggio ha documentato una resa energetica eccellente, superiore alle aspettative all'incirca del 30-40% per il termico e del 10% per il fotovoltaico, il che conferma l'affidabilità del sistema ed incoraggia a proseguire le applicazioni. Valutazioni più complete, comunque, potranno essere fatte solo in presenza di un rilevamento completo sull'arco dei 12 mesi. Considerato il notevole ammontare di energia termica disponibile nel periodo estivo, attualmente sono in fase di studio, presso il Dipartimento di Energetica del Politecnico di Milano, alcune alternative per l'implementazione del sistema ad aria, allo scopo di consentirne lo sfruttamento anche nei mesi caldi, tramite un accumulo stagionale, oppure scambiatori di calore per il riscaldamento dell'acqua della piscina prevista, oppure ancora per l'alimentazione di un impianto a raffrescamento dissecante. Alla luce di questi risultati, appare evidente come la strada indicata sia tranquillamente (e vantaggiosamente) percorribile, anche da parte di privati ed investitori finalmente convinti che la sostenibilità rappresenti, in definitiva, un buon affare.

Niccolò Aste è ricercatore del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Milano e docente di Fisica Tecnica Ambientale presso le facoltà di Architettura ed Ingegneria dello stesso ateneo.

