

# AiCARR Journal

LA RIVISTA PER I PROFESSIONISTI DEGLI IMPIANTI HVAC&R

CONDIZIONAMENTO  
RISCALDAMENTO  
REFRIGERAZIONE  
#1

ANNO 3 - NOVEMBRE/DICEMBRE 2012

EUR015

Organo Ufficiale AiCARR

**POSITION PAPER AICARR SULLA SANITÀ  
REFRIGERANTI SINTETICI E NATURALI,  
PRESTAZIONI A CONFRONTO**

**CLIMATIZZAZIONE SOSTENIBILE,  
L'IMPORTANZA DEL FREE-COOLING**

**F-GAS, NUOVO REGOLAMENTO DALL'UE**

*CASE STUDY*

**PORTATA VARIABILE AL  
CIRCUITO PRIMARIO**

**SCAMBIATORI ALETTATI CON BASSA  
CARICA DI REFRIGERANTE**

**RAFFREDDAMENTO EVAPORATIVO**



## CENTRALI FRIGORIFERE FREE-COOLING

AiCARR  
Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente

Quine  
Business Publisher



# Solar heating and cooling abbinato a pannelli radianti e fan coil, *prestazioni estive*

*L'utilizzo dell'impianto ha permesso di risparmiare, in termini di energia elettrica necessaria per alimentare un gruppo frigo a compressione, 2.677 kWh<sub>el</sub> e il sole ha coperto il 66% dell'energia termica necessaria per alimentare il gruppo frigo ad assorbimento*

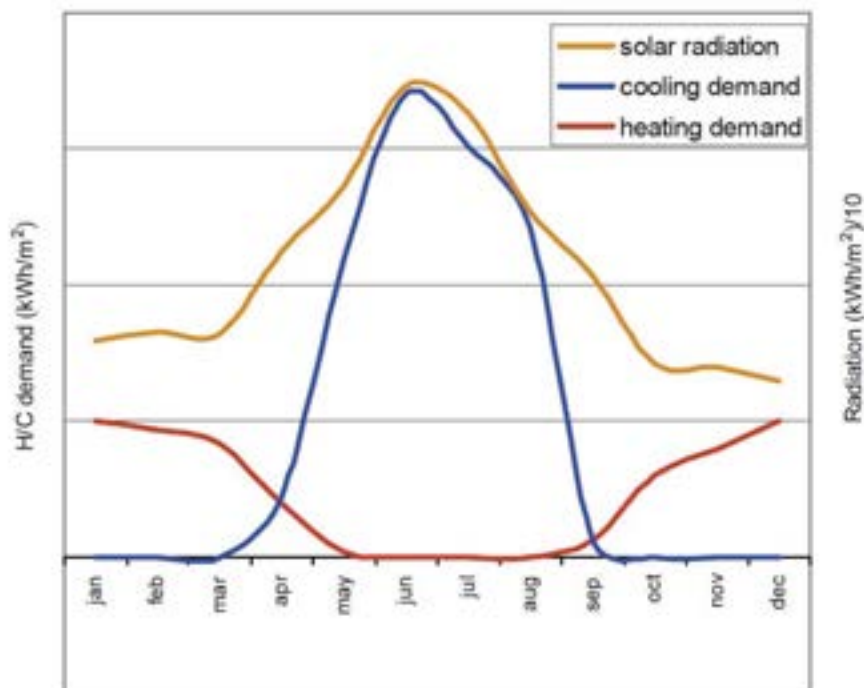
*di Nicolandrea Calabrese<sup>1</sup> e Sacha Ottone<sup>2</sup>*

L'IMPIANTO DI SOLAR HEATING AND COOLING presente all'interno del Centro Ricerche ENEA di Casaccia è stato realizzato allo scopo di riscaldare durante il periodo invernale e di condizionare durante il periodo estivo l'Edificio F-92 che ospita al suo interno la "Scuola delle Energie", di superficie complessiva pari a  $S_{tot} = 230$  [m<sup>2</sup>]. Le prestazioni invernali di tale impianto sono state riassunte nell'articolo "Solar heating and cooling

abbinato a pannelli radianti e fan coil, prestazioni invernali" pubblicato sull'Aicarr Journal n.16 (Ottobre 2012).

Utilizzare l'energia solare ai fini del riscaldamento degli ambienti è qualcosa di innovativo, anche se semplice dal punto di vista intuitivo. Condizionare gli stessi ambienti, sempre mediante l'utilizzo dell'energia solare, è qualcosa di

meno intuitivo anche se molto più affascinante. Se poi si riflette circa la coincidenza della massima disponibilità di energia solare con la massima richiesta di energia frigorifera, allora questa nuova tecnologia (solar cooling) non può che ritenersi vincente (Figura 1).



**Figura 1 – Andamento richiesta energia frigorifera e disponibilità irradianza solare**

Fonte: "Solar Heating and Cooling of Buildings – Guidelines", Marco Beccali, Pietro Finocchiaro, Bettina Nocke

## Raffrescamento, domanda in crescita

Questa tecnologia ha destato l'interesse di molti paesi, tanto da far istituire in ambito IEA (The International Energy Agency) fin dal 2006 una linea di ricerca dedicata (Task 38 "Solar Air-Conditioning and Refrigeration").

La forte crescita della domanda di raffrescamento e di aria condizionata negli edifici, di cui è previsto un continuo aumento nei prossimi decenni, ha fatto rilevare un elevato consumo di elettricità durante il periodo estivo: infatti fino ad oggi per il raffrescamento estivo si sono prevalentemente utilizzati impianti di condizionamento con macchine frigorifere a compressione il cui compressore è trascinato meccanicamente da un motore che assorbe energia elettrica; questa è la causa principale dell'aumento del picco di

potenza elettrica richiesto nella stagione estiva che, in numerosi casi, raggiunge la capacità limite delle reti. L'emissione di gas ad effetto serra, che cresce con la produzione di energia da fonti fossili e con l'utilizzo di fluidi refrigeranti climalteranti, aggrava ulteriormente il processo a catena che è la causa dei cambiamenti.

Tale situazione è altresì confermata dall'espansione del mercato dei condizionatori: in meno di dieci anni le unità in commercio si sono più che quintuplicate. In tale situazione, diventano interessanti nuovi concetti di edifici che mirano, da una parte, alla riduzione dei carichi di raffrescamento tramite misure passive e innovative e, dall'altra, all'utilizzo di soluzioni alternative per coprire la restante domanda di raffrescamento.

## Impianti ad energia solare, funzionamento e vantaggi

L'impiego di impianti di condizionamento alternativi a quelli tradizionali è rappresentato, principalmente, dagli impianti ad energia solare che garantiscono ridotti consumi elettrici e che sono in grado di sfruttare l'energia solare ampiamente disponibile proprio nel periodo di

massima richiesta di condizionamento.

L'uso dell'energia solare per produrre il freddo diventa quindi un'opportunità vantaggiosa, come dimostrato dai numerosi progetti pilota realizzati anche in altri paesi europei, soprattutto in Germania e Spagna. 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, 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 e le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Il principio generale di questi sistemi di climatizzazione è la produzione di freddo a partire da una sorgente di calore. In sintesi si riassume la produzione sono riassunti in tre passaggi:

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

I sistemi che convertono un apporto termico in un output frigorifero si possono classificare principalmente in due tipologie: sistemi a ciclo aperto e sistemi a ciclo chiuso. I sistemi basati su un ciclo aperto utilizzano l'acqua in raffreddamento per il trattamento diretto dell'aria; per questo è sempre richiesta una rete di distribuzione del freddo basata su un sistema di ventilazione.

I sistemi chiusi, invece, sono costituiti da macchine frigorifere alimentate da vettori termici, 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 o deumidificazione nelle batterie dell'impianto) o distribuito attraverso una rete di tubazioni ai terminali di condizionamento decentralizzati nei vari locali da climatizzare. Possono essere utilizzati con qualsiasi tecnologia di distribuzione del freddo (sistemi di ventilazione, fancoils, superfici radianti).

In questo segmento del mercato esistono due tipologie di macchine frigorifere:

- ad assorbimento, le quali coprono circa l'80% del mercato;
- ad adsorbimento, con poche centinaia di applicazioni al mondo ma con crescente interesse per le applicazioni alimentate ad energia solare.



### SOLAR HEATING AND COOLING

At the F-92 building of the ENEA Casaccia's Research Centre (in Rome) there's a solar heating and cooling system dedicated to meet the energy needs of the entire building for the periods of winter heating and summer cooling. The monitoring of the system was conducted from 1st June 2012 to 15 September 2012. The results showed that, during summer operation, the sun covered the 66% of the thermal energy required to power the refrigerator unit absorption; while, in terms of electricity needed to power a compression refrigerator unit, were saved 2677 kWhel.

Keywords: solar cooling, summer operations

## LA FACILITY DI PROVA

Durante il funzionamento estivo, oltre alle apparecchiature previste per il funzionamento invernale (campo solare a tubi evacuati, serbatoio accumulo caldo, dissipatore d'emergenza, caldaia di integrazione, fancoil, pannelli radianti a

pavimento), è necessaria l'introduzione di un gruppo frigo ad assorbimento acqua-bromuro di litio, di una torre evaporativa, di un serbatoio di accumulo per l'acqua refrigerata (capacità 1000 litri) e dei relativi gruppi di circolazione.

### GRUPPO FRIGO AD ASSORBIMENTO



#### ACQUA-BROMURO DI LITIO

Potenza frigorifera = 18 [kW<sub>f</sub>];  
Potenza termica ingresso = 25 [kW<sub>t</sub>];  
Acqua refrigerata: T<sub>in</sub> = 12 [°C], T<sub>out</sub> = 7 [°C];  
Portata nominale = 0,77 [l/s];  
Potenza dissipata = 42 [kW];  
Pressione massima di lavoro = 588 [kPa];  
Potenza elettrica assorbita = 48 [W].

### TORRE EVAPORATIVA



Potenzialità = 43 [kW];  
(T<sub>bu</sub> = 25,6 [°C]; T<sub>H<sub>2</sub>O in</sub> = 35 [°C]; T<sub>H<sub>2</sub>O out</sub> = 30 [°C])  
Portata aria = 7.500,0 [m<sup>3</sup>/h];  
Portata acqua = 7.400,0 [l/h];  
Perdite di carico lato acqua = 30 [kPa].

Figura 2 – **Caratteristiche delle apparecchiature principali nel funzionamento estivo dell'impianto.**

L'acqua calda prodotta dai pannelli solari viene stoccata nel serbatoio di accumulo caldo da cui si alimenta in modo opportuno l'assorbitore che garantisce la potenza frigorifera necessaria per climatizzare l'intero edificio

Figura 3 – **Impianto solar cooling con caldaia d'integrazione e sistemi d'accumulo per acqua calda e acqua refrigerata.**

**Schema idraulico indicativo.** L'acqua refrigerata prodotta viene stoccata all'interno di un serbatoio della capacità C = 1.000 litri e, tramite una rete di tubazioni interrate, alimenta la sottocentrale di edificio: a seconda delle condizioni termoigrometriche presenti nei vari ambienti serviti, l'acqua refrigerata viene mandata o al circuito pannelli radianti a pavimento o al circuito fan coil a cassetta, attivando i rispettivi gruppi di pompaggio

Fonte: SYSTEMA S.P.A.: Gruppo frigo e torre evaporativa monoblocco

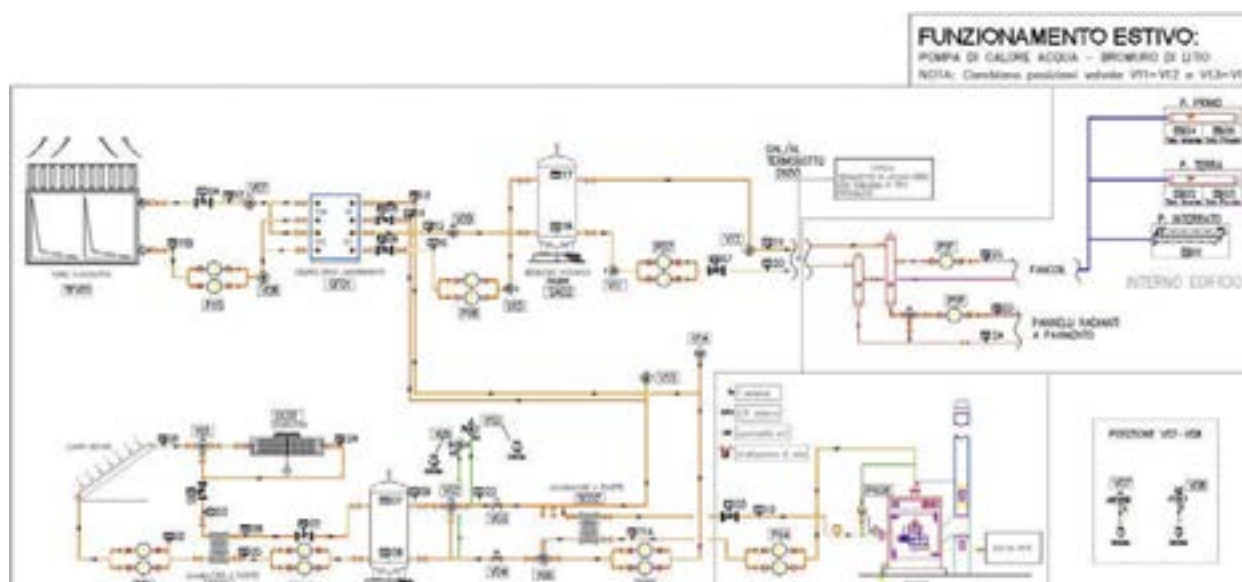
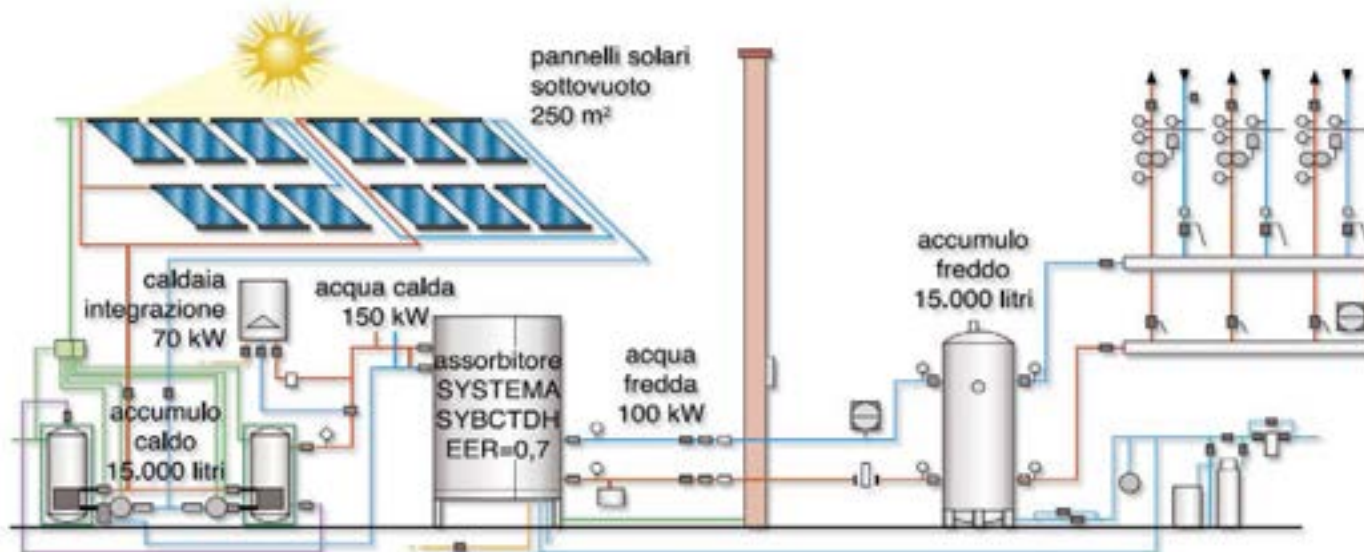
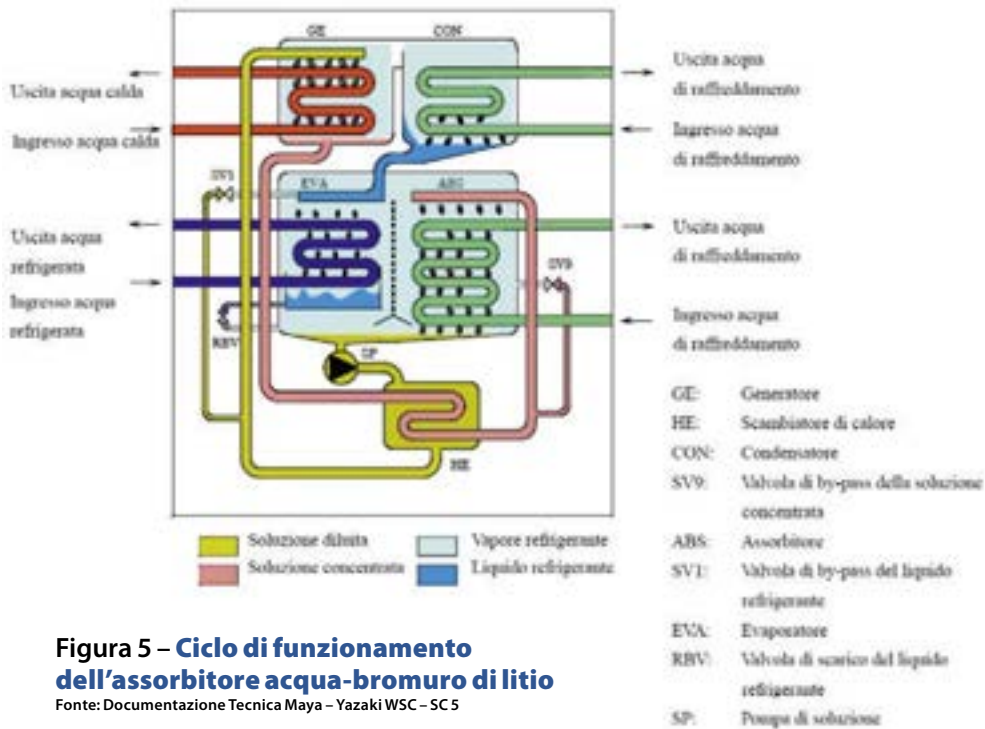


Figura 4 – **Schema impianto in modalità solar cooling.** Quando l'energia fornita dal campo solare è insufficiente o la temperatura dell'accumulo caldo è inferiore a 80°C viene attivata la caldaia integrativa. In modo analogo al periodo invernale, quando la temperatura dell'acqua all'interno del serbatoio di accumulo caldo supera il valore di setpoint prefissato (TE07 ≥ 95°C), l'energia termica fornita in eccesso dal campo solare viene dissipata attraverso il medesimo dry cooler



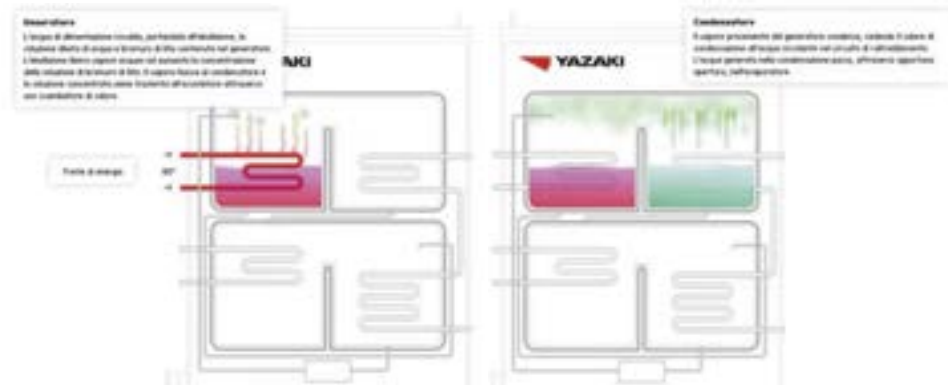
**Figura 5 – Ciclo di funzionamento dell'assorbitore acqua-bromuro di litio**  
 Fonte: Documentazione Tecnica Maya – Yazaki WSC – SC 5

L'impianto analizzato è della tipologia a "ciclo chiuso" ed utilizza una macchina frigorifera ad assorbimento: i risultati presentati si riferiscono alla campagna sperimentale estiva condotta dal 01 Giugno 2012 fino al 15 Settembre 2012.

### Gruppo frigo ad assorbimento acqua-bromuro di litio

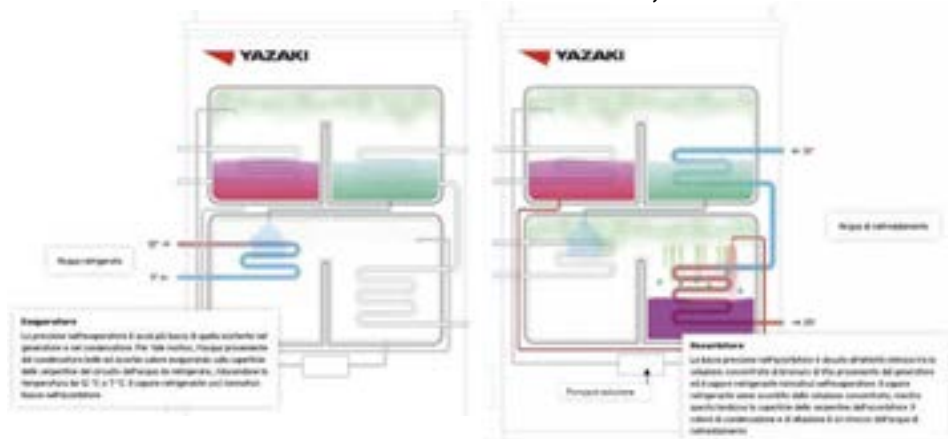
Il gruppo frigo ad assorbimento utilizza (Yazaki mod. WFC-SC 5) è una macchina a singolo effetto ad azionamento termico che adotta come fluido di lavoro una soluzione di acqua e bromuro di litio. L'acqua opera quale refrigerante mentre il bromuro di litio, un sale stabile con alta affinità con il vapor d'acqua, agisce da assorbente. La modalità di funzionamento del gruppo frigo è riassunta in Figura 5.

L'acqua calda prodotta dal campo solare (circa 88°C) alimenta il generatore del gruppo frigo ad assorbimento, portando all'ebollizione la soluzione di acqua e bromuro di litio. L'ebollizione libera vapor d'acqua che fluisce nel condensatore dove, cedendo il calore di condensazione all'acqua del circuito di raffreddamento, torna allo stato liquido (Figura 6).



**Figura 6 – Ciclo di funzionamento assorbitore. Dettaglio GENERATORE-CONDENSATORE**  
 Fonte: Documentazione Tecnica Maya – Yazaki WSC – SC 5

**Figura 7 – Ciclo di funzionamento assorbitore. Dettaglio EVAPORATORE-ASSORBITORE**  
 Fonte: Documentazione Tecnica Maya – Yazaki WSC – SC 5

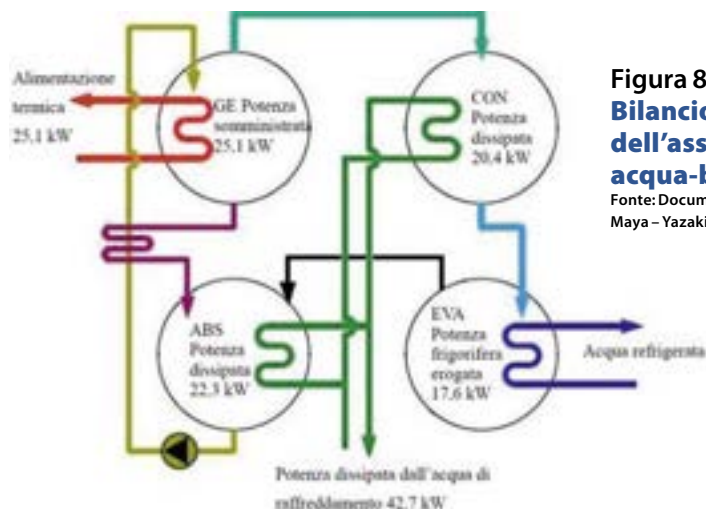


### Funzionamento dell'assorbitore

L'acqua proveniente dal condensatore, trovando all'interno dell'evaporatore una pressione assai più bassa (8 millibar contro gli 88 millibar del generatore e del condensatore), subisce un cambiamento di stato (vaporizza) assorbendo il calore evaporando sulla superficie dello scambiatore dell'acqua da refrigerare, proveniente dai circuiti di climatizzazione dell'edificio, riducendo così la temperatura dell'acqua da 12°C a 7°C.

Il vapor d'acqua viene infine assorbito dalla soluzione concentrata acqua-bromuro di litio presente nell'assorbitore. La soluzione diluita, attraverso una pompa, viene reimessa nel generatore pronta per poter ripetere il ciclo (Figura 7).

Per ridurre l'ammontare del calore da fornire al sistema, all'interno del gruppo frigo è presente uno scambiatore di calore a flussi incrociati che innalza la temperatura della soluzione diluita che entra nel generatore e riduce la temperatura della soluzione concentrata che entra nell'assorbitore, con aumento delle capacità assorbenti. In Figura 8 si riporta il bilancio termico dell'assorbitore installato a servizio dell'impianto di solar cooling.



**Figura 8 – Bilancio termico dell'assorbitore acqua-bromuro di litio**  
 Fonte: Documentazione Tecnica Maya – Yazaki WSC – SC 5

### Funzionamento dell'impianto

Quando ci si trova all'interno della fascia oraria di occupazione dell'edificio, viene avviata l'elettropompa P07 e si verifica se la

temperatura TE18 (temperatura parte bassa accumulo freddo) è maggiore del set point impostato (Figura 9).

In caso affermativo e in assenza di anomalie o di allarmi in relazione al funzionamento delle elettropompe di circolazione e della torre evaporativa, viene avviato il processo di produzione di acqua refrigerata. Se la temperatura dell'accumulo caldo TE07 è maggiore di 80°C, allora la produzione di acqua refrigerata avviene sfruttando l'energia termica accumulata nel serbatoio solare fino a quando la temperatura TE18 raggiunge il set point, variabile in funzione della media aritmetica delle temperature degli ambienti (Tabella 1).

Quando la disponibilità di acqua calda da campo solare è insufficiente (TE07<79°C), l'alimentazione dell'assorbitore viene effettuata attraverso la caldaia integrativa a gas metano ed in tal caso la produzione di acqua refrigerata per ragioni di ottimizzazione viene legata anche alla reale necessità di raffrescamento degli ambienti serviti.

L'elettropompa P04 entra in funzione quando è richiesto l'intervento della caldaia: a circolatore spento la caldaia non avrà il consenso per passare in "on". Con caldaia in funzione, l'elettrovalvola V06 è chiusa andando a deviare il flusso a valle della P03 all'interno dello scambiatore SC02 anziché al serbatoio di accumulo caldo (Figura 10).

L'avviamento delle elettropompe P03 è gestito direttamente dall'assorbitore in funzione dell'effettiva richiesta di potenza termica al generatore. Il termostato TE11A costituisce una sicurezza per il generatore di calore, implementata su doppia soglia: se c'è carico (pompe P03 accese) allora il bruciatore della caldaia integrativa

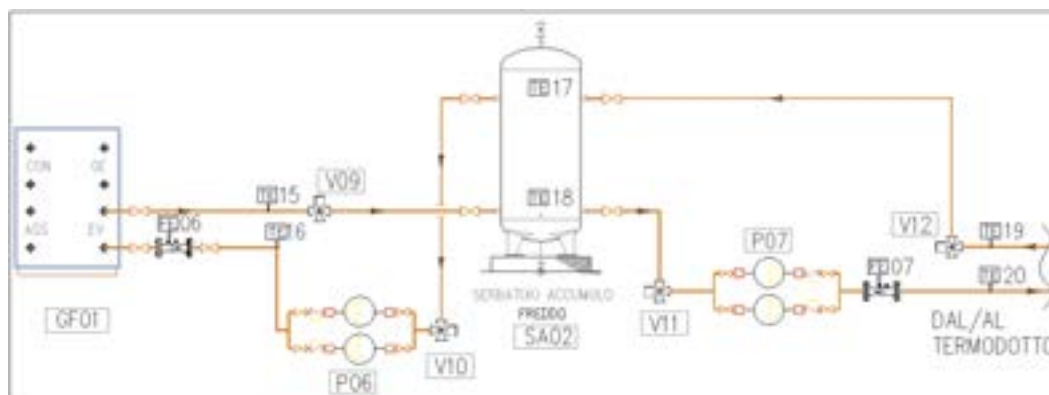


Figura 9 – Stralcio schema funzionale – Gruppo frigo ad assorbimento – accumulo freddo – termodotto

Tabella 1 – Variazione setpoint TE18

Temperatura media ambienti*	Valore di setpoint TE18
21°C	18°C
22°C	16°C
23°C	14°C
24°C	12°C
25°C	10°C
26°C	8°C
27°C	7°C
28°C	7°C

$$*T_{medamb} = (TA02+TA03+TA04+TA05)/4$$

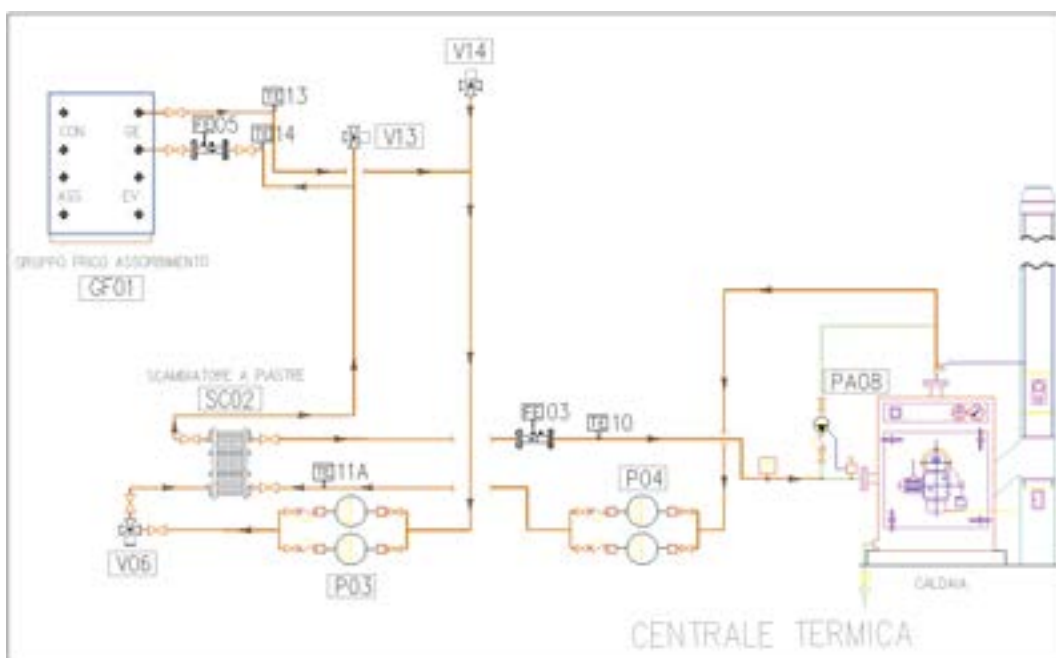


Figura 10 – Stralcio schema funzionale – Caldaia di integrazione a servizio gruppo frigo ad assorbimento

## SOLAR COOLING, LOGICA DI REGOLAZIONE

Un impianto di solar heating and cooling necessita di due distinte logiche di regolazione, a seconda della modalità di funzionamento (modalità riscaldamento o modalità condizionamento). Oltre alla sezione dedicata alla produzione di energia termica, la logica di regolazione estiva gestisce tutte le apparecchiature in campo relative alla produzione e utilizzazione dell'acqua refrigerata (elettropompe, elettrovalvole, gruppo frigo ad assorbimento, etc.).

In particolare, la logica di regolazione inerente la parte d'impianto dedicata alla produzione di acqua calda mediante il campo solare è la stessa del funzionamento invernale in quanto, la produzione e l'immagazzinamento dell'acqua calda prodotta dal campo solare, sono indipendenti dalla richiesta di energia frigorifera

necessaria alla climatizzazione dell'edificio. L'obiettivo è quindi massimizzare la produzione di energia termica da campo solare producendo acqua refrigerata, anche quando l'edificio non lo richiede, solo se l'energia termica è resa disponibile gratuitamente dal sole. L'acqua refrigerata prodotta in tal caso viene stoccata all'interno di un serbatoio di accumulo freddo e resa disponibile al momento del bisogno. Nel caso in cui sia necessario ricorrere alla caldaia integrativa per produrre acqua refrigerata, questo avverrà solo se la temperatura degli ambienti sarà superiore rispetto al valore di set point impostato e, con l'acqua refrigerata accumulata, non si riesce a rientrare nei valori di set.

si spegne quando  $TE_{11A} > 89^{\circ}\text{C}$ ; in assenza di carico (pompe P03 spente), il bruciatore commuta in off quando  $TE_{11A} > 79^{\circ}\text{C}$ .

La macchina interrompe il funzionamento quando la  $TE_{14} > 96^{\circ}\text{C}$  per più di cinque secondi.

L'avviamento delle elettropompe P05 (circuito torre evaporativa) viene gestito direttamente dal gruppo frigo ad assorbimento, secondo le sue effettive necessità. Il sistema di regolazione attiva o meno il ventilatore della torre evaporativa al fine di massimizzare il COP del gruppo frigo, garantendo una temperatura in ingresso al condensatore (acqua uscita torre evaporativa) prossima a  $TE_{11B} = 27^{\circ}\text{C}$  (Figura 11).

La macchina interrompe il funzionamento quando la  $TE_{11B} > 35^{\circ}\text{C}$  per più di cinque secondi oppure quando la  $TE_{11B} < 8^{\circ}\text{C}$  per più di due minuti consecutivi, a pompe P05 accese: la logica di regolazione ha lo scopo di gestire il ventilatore della torre affinché non si verifichino queste condizioni limite (Figura 12).

La scelta di quali terminali utilizzare (pannelli a pavimento – fan coil) è funzione della temperatura presente all'interno degli ambienti serviti (Figura 13).

La logica di regolazione agisce sulla scelta dei terminali d'impianto da utilizzare, sempre con l'obiettivo del risparmio energetico: quando gli ambienti necessitano di una climatizzazione meno spinta, vengono utilizzati i pannelli radianti a pavimento alimentati con acqua refrigerata a  $14^{\circ}\text{C}$ , semplice da produrre anche in presenza di bassa irradianza solare senza ricorrere all'ausilio della caldaia integrativa. Quando la temperatura degli ambienti è molto più alta rispetto al valore di set point impostato (ovvero in presenza di giornate molto calde con una elevata irradianza solare) vengono utilizzati i fan coil che, alimentati con acqua a  $7^{\circ}\text{C}$ , riescono ad erogare una potenza frigorifera superiore rispetto a quanto emesso dai pannelli radianti a pavimento. Essendo in presenza di elevata irradianza solare, il gruppo frigo ad assorbimento non avrà difficoltà a produrre acqua refrigerata a  $7^{\circ}\text{C}$  poiché il campo solare riesce a garantire gli  $88^{\circ}\text{C}$  in ingresso al generatore.

## RISULTATI DEL MONITORAGGIO

I dati sperimentali relativi al monitoraggio estivo dell'impianto sono stati acquisiti durante il periodo 01 giugno-15 settembre 2012, per il quale si è deciso di far funzionare l'impianto in modo intermittente (ore 9.00-ore 19.00) per l'intera settimana. Le grandezze indagate riguardano sia la produzione di acqua calda, utilizzata per alimentare il gruppo frigo ad assorbimento, che la produzione di acqua refrigerata.

Durante il monitoraggio estivo, oltre ai contatermie analizzati durante il periodo invernale, è stato necessario inserire ulteriori contatermie a servizio del gruppo frigo ad assorbimento (Tabella 2).

In Figura 14 è riportato il layout d'impianto con il dettaglio di tutti i contatermie monitorati.

I contatermie utilizzati per il monitoraggio dell'impianto hanno consentito la valutazione della percentuale di energia fornita dal campo solare e di quella fornita dalla caldaia integrativa necessarie per

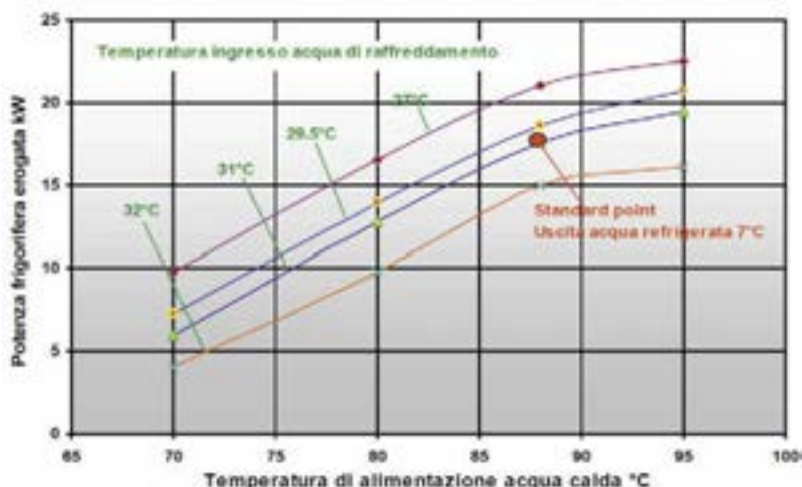


Figura 11 – Curve caratteristiche di prestazione gruppo frigo YAZAKI mod. WFC-SC5 Fonte: Documentazione Tecnica Maya – Yazaki WSC – SC 5

Figura 12 – Stralcio schema funzionale – Gruppo frigo ad assorbimento-torre evaporativa

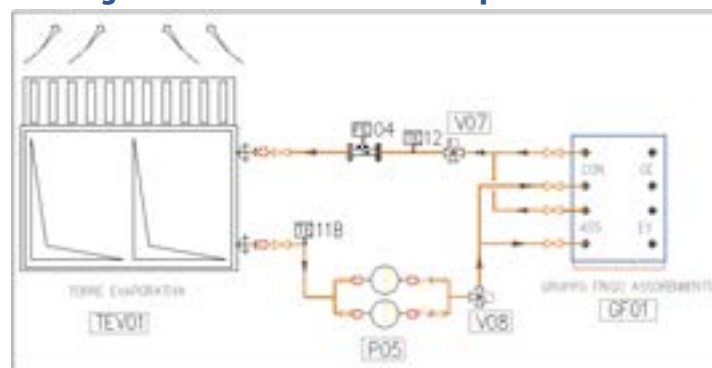


Figura 13 – Stralcio schema funzionale – Sottocentrale e circuito Fan coil e pannelli a pavimento

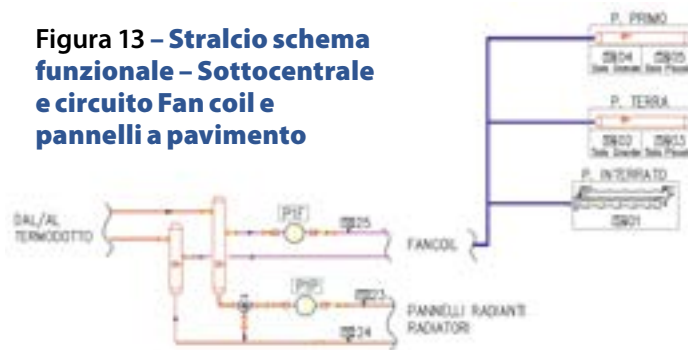
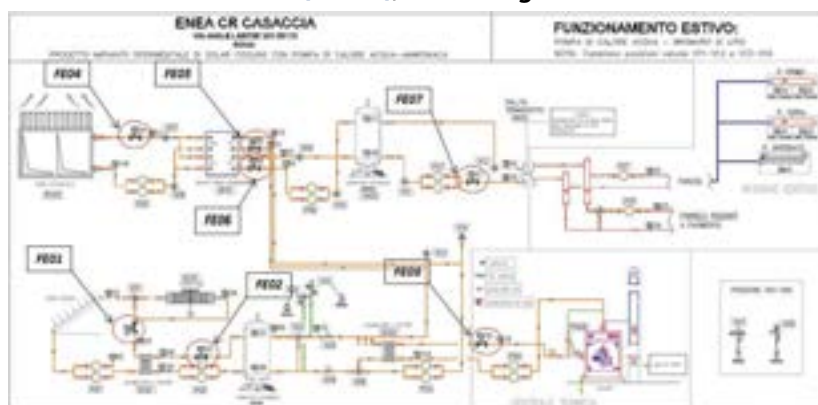


Tabella 2 – Codici identificativi contatermie installati per monitoraggio estivo

### Legenda

FE04	Energia termica smaltita da torre evaporativa [kWh]
FE05	Energia termica in ingresso al gruppo frigo [kWh]
FE06	Energia frigorifera prodotta [kWh]

Figura 14 – Schema semplificato impianto in modalità solar cooling situato presso il CR Enea Casaccia (Roma), con dettaglio contatermie



alimentare termicamente il gruppo frigo ad assorbimento (Figura 15).

In Figura 16 si riportano i flussi energetici necessari alla valutazione del COP (Coefficient of performance) del gruppo frigo ad assorbimento nelle reali condizioni di funzionamento.

Si è constatato un rendimento inferiore ( $COP_{medio} = 0,59$ ) rispetto al valore di targa ( $COP = 0,7$ ), poiché non sempre il gruppo frigo ha lavorato in condizioni di funzionamento nominali ( $T_{acqua calda in} = 88^{\circ}C$ ). Lavorando con temperature dell'acqua in ingresso al generatore inferiori rispetto al valore nominale, il gruppo riduce di molto il COP (vedi Figura 11).

Ipotizzando una temperatura media dell'acqua di alimentazione del gruppo frigo pari a  $T_{acqua calda in} = 80^{\circ}C$  ed ipotizzando una temperatura in ingresso per l'acqua di raffreddamento pari a  $T_{acqua raffr in} = 32^{\circ}C$  si ha una potenza frigorifera erogata dal gruppo pari a  $P_f = 10 kW$ , contro i 17,6 kW che si avrebbero in funzionamento nominale della macchina. Questo esempio serve solo per evidenziare quanto decadano le prestazioni del gruppo frigo se in funzionamento reale ci si discosta dai valori di targa di funzionamento della macchina. Una riduzione del COP è anche legata al funzionamento non a regime della macchina: nei primi quindici giorni di giugno, così come in buona parte del mese di settembre, la macchina era soggetta a ripetuti on/off in quanto il carico frigorifero richiesto dall'utenza era inferiore rispetto a quanto prodotto dalla macchina.

È da notare come, a differenza del periodo invernale durante il quale la quota di energia dissipata con il dry cooler era significativa, durante il periodo estivo l'energia termica dissipata è praticamente trascurabile (Figura 17). Questo aspetto è legato al dimensionamento del campo solare, progettato per garantire durante il periodo estivo l'energia termica necessaria al funzionamento del gruppo frigo ad assorbimento e quindi sovradimensionato per effettuare il solo riscaldamento dell'edificio.

Il serbatoio d'accumulo riceverà sempre una quantità di energia minore di quella incidente sui collettori solari a causa delle perdite ottiche e termiche sui pannelli, dell'andamento dell'irradianza solare (A), della dissipazione energetica realizzata dal dry cooler (B), della temperatura in uscita dal campo solare inferiore a quella dell'acqua all'interno dell'accumulo ( $D2_a$ ), dell'efficienza dello scambiatore a piastre SC01 ( $D2_b$ ).

Nella Figura 18 si riporta l'energia effettivamente fornita dal campo solare per alimentare il gruppo frigo, depurata dalle perdite precedentemente descritte ( $A+B = D1$  e  $D2_a+D2_b = D2$ ) e considerando che l'energia termica scambiata tra il circuito primario solare e l'accumulo differisce da quella effettivamente utilizzata (kWh utili solari) a causa della temperatura dell'acqua accumulata, non sempre sufficiente ad alimentare



Figura 15 - Schema produzione e fornitura energia a partire dai collettori solari (estate)

Figura 16 - Valutazione prestazioni reali gruppo frigo ad assorbimento

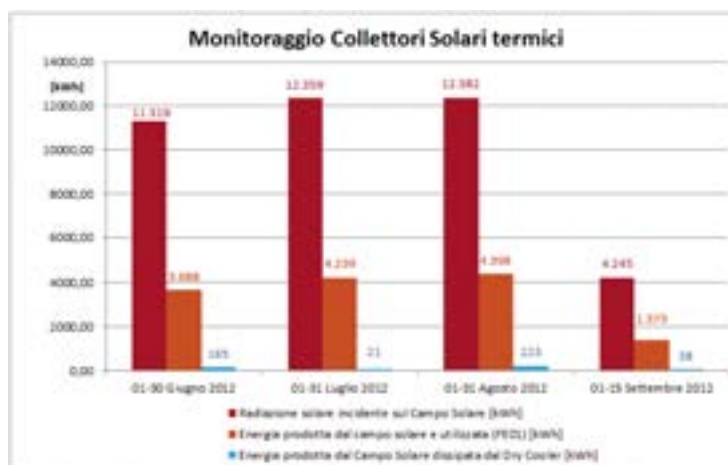
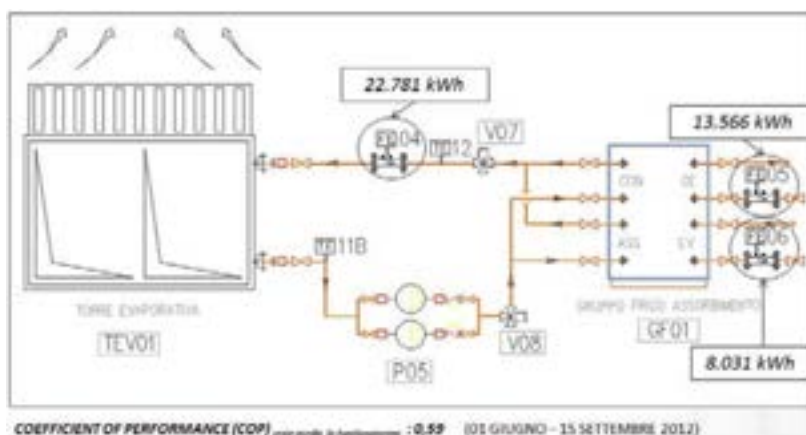
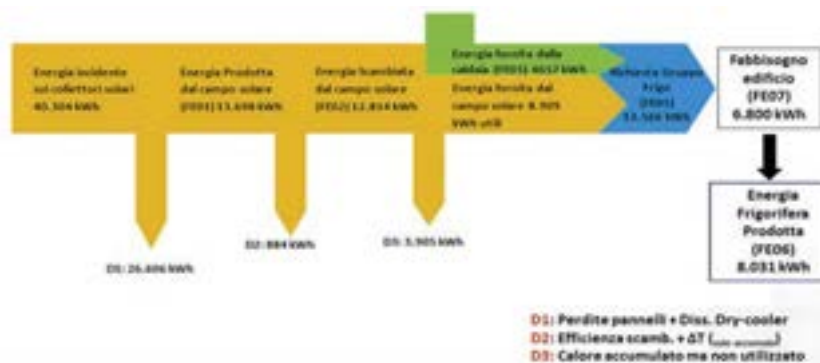
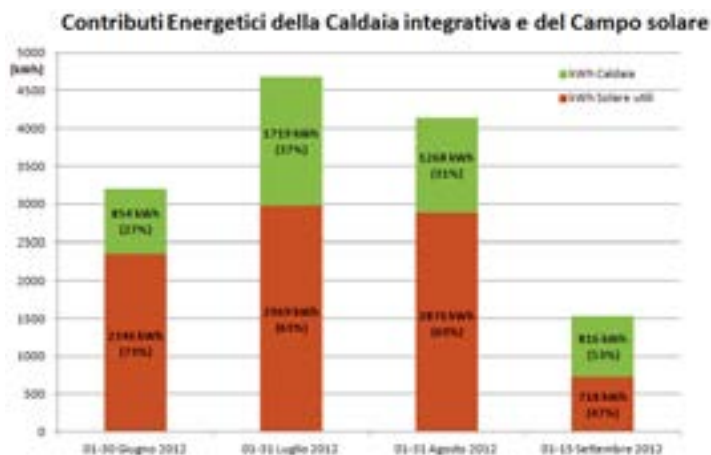


Figura 17 - Radiazione solare incidente sul piano dei collettori solari termici durante il periodo di monitoraggio estivo

Figura 18 - Diagramma del flusso energetico per tutto il periodo di monitoraggio estivo

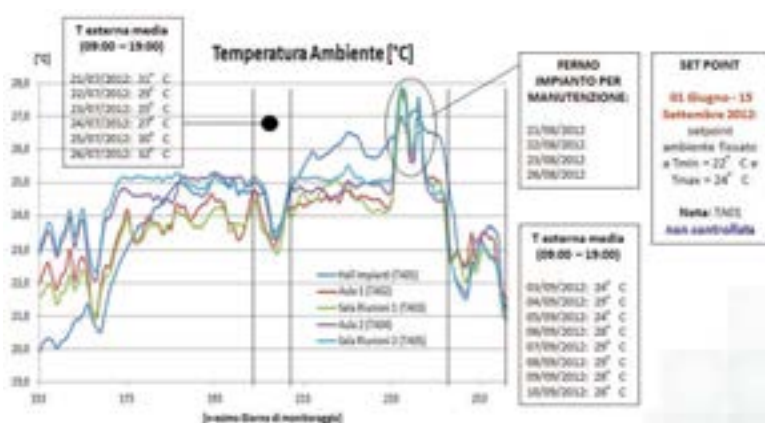






**Figura 19 – Contributi energetici della caldaia integrativa e del campo solare in ingresso al gruppo frigo ad assorbimento**

**Figura 20 – Frazione solare impianto di solar cooling edificio F-92 C.R. ENEA di Casaccia**



**Figura 21 – Frazione solare impianto di solar cooling C.R. ENEA di Casaccia. Temperature medie giornaliere negli ambienti monitorati (ore 9.00-19.00)**

il gruppo frigo ( $T_{min} = 80^{\circ}C$ ) (Calore accumulato ma non utilizzato: D3).

In Figura 19 si riporta, per i vari mesi monitorati, il contributo di energia termica al gruppo frigo ad assorbimento fornito dal campo solare e dalla caldaia integrativa.

Il riepilogo prestazionale dell'impianto di solar cooling durante l'intero periodo di monitoraggio è rappresentato dalla frazione solare dell'energia fornita in ingresso al gruppo frigo (Figura 20).

La frazione solare riportata è stata ottenuta comunque garantendo le condizioni di comfort termoigrometrico all'interno degli ambienti serviti dall'impianto di solar cooling (Figura 21).

La logica di regolazione gestisce il mantenimento della temperatura di setpoint ambiente mediante l'impianto a pannelli radianti a pavimento (alimentato con acqua in ingresso a  $T_{in\ pannelli} = 14^{\circ}C$ ) ed effettua il raggiungimento del setpoint con l'impianto a ventilconvettori (alimentato con acqua in ingresso a  $T_{in\ fancoili} = 7^{\circ}C$ ): questa soluzione ha consentito di ottimizzare la produzione di acqua refrigerata necessitando di acqua molto fredda solo nelle ore più calde della giornata, quando il contributo dell'energia termica in ingresso al gruppo frigo è fornito quasi interamente dal campo solare.

## CONCLUSIONI

L'impianto di solar heating and cooling descritto ha sempre garantito durante il periodo di monitoraggio, sia invernale che estivo, il mantenimento delle condizioni di comfort termoigrometrico in tutti gli ambienti dell'edificio servito. È stato riscontrato un sostanziale risparmio in termini di consumi di energia primaria di natura fossile, grazie allo sfruttamento della radiazione solare: durante il funzionamento invernale il sole ha coperto il 56% dei consumi per il riscaldamento degli ambienti; nel funzionamento estivo c'è stata una copertura da fonte solare del 66% dell'energia termica richiesta dal gruppo frigo ad assorbimento.

L'utilizzo di tale impianto per il riscaldamento invernale dell'edificio F-92 ha permesso di risparmiare, in termini di combustibile, 574 Nm<sup>3</sup> di gas metano; per la climatizzazione estiva l'impianto ha permesso un risparmio in termini di energia elettrica di 2.677 kWh<sub>e</sub>.

## BIBLIOGRAFIA

1. Documentazione Tecnica Maya – Yazaki WSC – SC 5
2. "Solar Heating and Cooling of Buildings – Guidelines", Marco Beccali, Pietro Finocchiaro, Bettina Nocke
3. SYSTEMA S.P.A.: Gruppo frigo e torre evaporativa monoblocco
4. "Sistemi solari termici per la climatizzazione", Mauro Villarini, Domenico Germanò, Francesco Fontana, Maurizio Limiti – Maggioli Editor

<sup>1</sup> Nicolandrea Calabrese, ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile).

<sup>2</sup> Sacha Ottobre, Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale.