



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Monitoraggio impianto di solar heating and cooling a servizio dell'edificio F51

G. Corallo, A. Simonetti, L. Di Rienzo, A. Fanchiotti



MONITORAGGIO IMPIANTO DI SOLAR HEATING AND COOLING A SERVIZIO DELL'EDIFICIO
F51

G. Corallo, A. Simonetti (ENEA), L. Di Rienzo, A. Fanchiotti (UNIVERSITA' ROMA TRE)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva

Responsabile Progetto: Nicolandrea Calabrese, ENEA

ACCORDO DI PROGRAMMA

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO - ENEA

AI SENSI DELL'ART. 3 COMMA 2 DEL DECRETO MINISTERIALE 23 MARZO 2006 PER LE

ATTIVITÀ DI RICERCA E SVILUPPO DI INTERESSE GENERALE

PER IL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

PIANO ANNUALE DI REALIZZAZIONE 2008-2009

Progetto 3.4 "Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva"

<p>Utilizzo dell'energia elettrica e solare per condizionamento estivo Attività A. Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi</p>

RELAZIONE SUL MONITORAGGIO DELL'IMPIANTO DI SOLAR COOLING DELL'EDIFICIO F51
DEL CENTRO ENEA DELLA CASACCIA

Aldo Fanchiotti - Università RM3

Giuseppe Corallo - ENEA

Luigi Di Rienzo - Università RM3

Andrea Simonetti - ENEA

- SOMMARIO -

- 1 - FUNZIONAMENTO DELL' IMPIANTO DI SOLAR COOLING**
 - 1.1. Funzionamento invernale
 - 1.2. Funzionamento estivo

- 2 - NOTE E CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO**

- 3 - I RISULTATI SPERIMENTALE**
 - 3.1. Assetto invernale
 - 3.2. Assetto estivo

- 4 - LA SIMULAZIONE SU TRNSYS**
 - 4.1. Il modello dell'impianto
 - 4.2. Confronto fra simulazione dati sperimentali

- 5 - CONCLUSIONI**

- 1 - FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO SOLAR COOLING

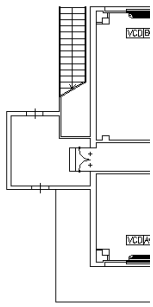


Figura 2;
dell'edificio
dei fan coils

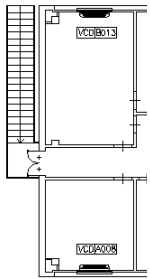
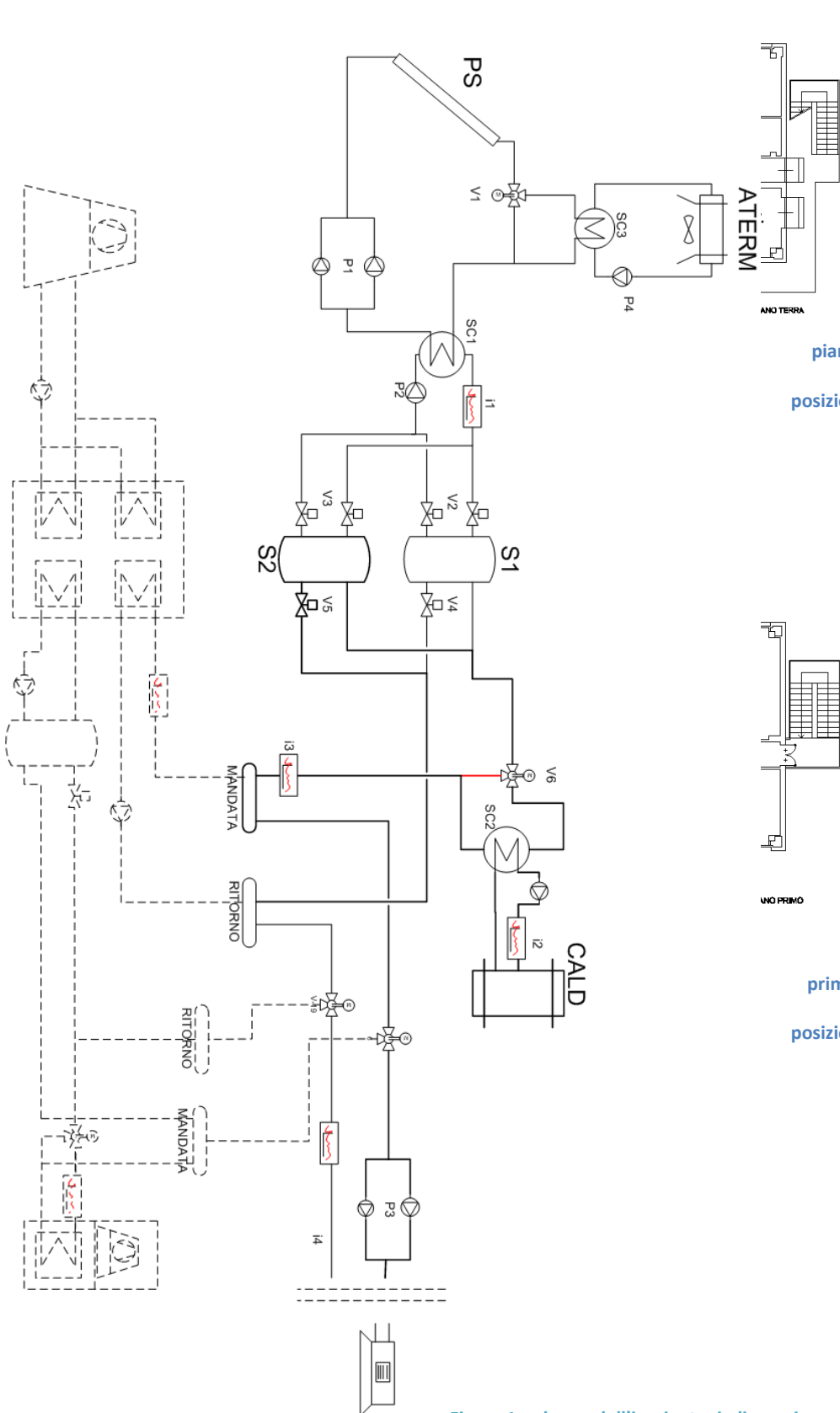
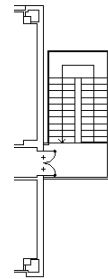


Figura 3;
dell'edificio
dei fan coils



piano terra
F51,
posizionamento



primo piano

F51,
posizionamento

Figura 1; schema dell'impianto, in linea piena sono riportati gli elementi utilizzati in fase di riscaldamento, in tratteggio quelli utilizzati in fase estiva di raffrescamento.

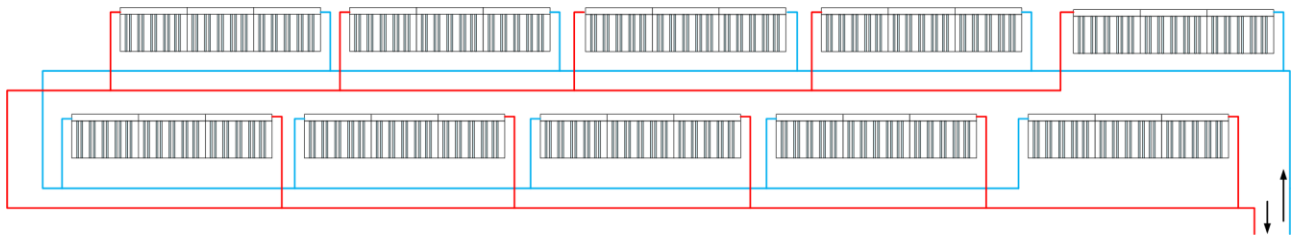


Figura 4; schema dell'impianto solare sul tetto dell'edificio F51, i pannelli sono uniti a gruppi di tre

- 1.1 - Funzionamento invernale -

Nel funzionamento invernale, per produrre il riscaldamento necessario all'utenza, viene esclusa chiaramente la macchina ad assorbimento e viene utilizzata l'acqua calda prodotta dai pannelli solari e dalla caldaia mandandola direttamente al sistema di fan coils che servono l'edificio F51. Facendo riferimento allo schema a pagina 3, si possono notare le varie componenti principali di impianto utilizzate in questa fase:

- PS rappresenta il campo di collettori solari posizionati sul tetto dell'edificio
- S1 e S2 sono i serbatoi di accumulo dell'acqua calda
- CALD rappresenta la caldaia che viene utilizzata come riscaldamento ausiliario e integrativo
- ATERM rappresenta l'aerotermostato, il dissipatore di calore inserito in parallelo per motivi di sicurezza

Accanto a questi componenti sono inserite nello schema anche le altre apparecchiature necessarie per il funzionamento dell'impianto:

- SC1, SC2, SC3 rappresentano gli scambiatori di calore presenti nell'impianto
- P1, P2, P3, P4 rappresentano i gruppi di pompaggio per la movimentazione del fluido nei vari circuiti
- V1,....,V6 sono invece i vari gruppi di valvole che permettono il funzionamento e l'accoppiamento fra solare e caldaia

infine si possono notare nello schema le apparecchiature inserite per il monitoraggio e controllo dell'impianto e per l'acquisizione dati: i1, i2, i3, i4 sono i quattro conta calorie inseriti allo scopo.

La filosofia dell'impianto prevede che i pannelli solari forniscano sempre tutta l'energia possibile in maniera da sfruttare al massimo la fonte rinnovabile, l'utilizzo della caldaia è previsto solo in integrazione quando i pannelli solari non riescono a fornire il calore necessario all'acqua da mandare all'utenza.

I due serbatoi lavorano in parallelo, i pannelli prima riscaldano l'acqua del serbatoio primario S1 e poi quella del secondario S2: quando la differenza di temperatura fra il fluido all'uscita dei pannelli

e quella nel serbatoio S1 supera il valore deciso (5°C) la pompa P2 si aziona e si comincia a riscaldare l'acqua.

In figura 5 è rappresentato lo schema di impianto quando ci si trova in questa situazione.

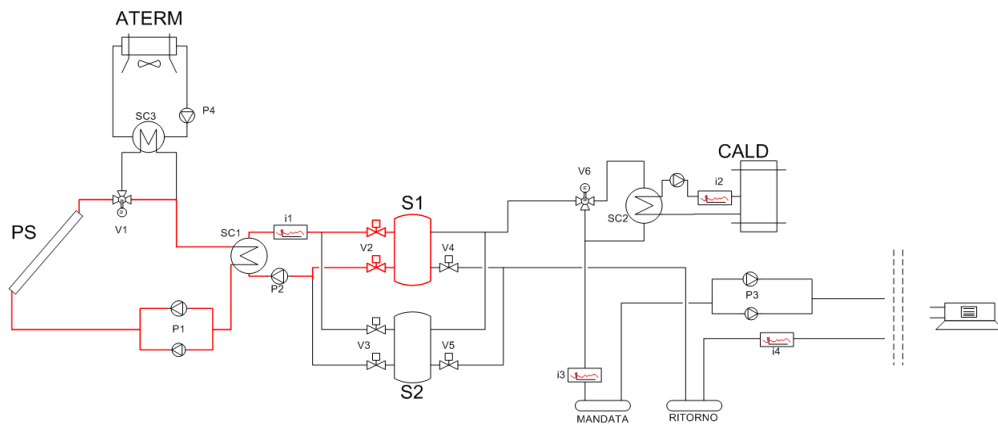


Figura 5

Il circuito dei pannelli deve sempre essere attivo per evitare problemi di surriscaldamento, mentre, come detto, il circuito a valle viene attivato solo nel caso che si possa riscaldare l'acqua in S1.

Se l'energia prodotta dai pannelli è molta e porta al limite la temperatura nel serbatoio (è un valore a discrezione dell'impiantista, nel corso della monitoraggio condotto questo parametro è stato cambiato varie volte), viene chiuso il gruppo valvole V2 e si apre il gruppo V3 in maniera da riscaldare il secondo serbatoio.

Nel caso in cui l'irraggiamento sia molto elevato e l'utenza non richieda potenze eccessive si possono raggiungere temperature all'uscita dei pannelli troppo elevate e difficili da gestire (questa situazione si era verificata anche nella simulazione), in questo caso è previsto un sistema di dissipazione del calore con un aerotermo che permette di diminuire la temperatura del fluido prima di mandarlo a SC1: quando la temperatura in questione raggiunge i 95°C si attiva la pompa P4 e la valvola V1 devia il flusso verso SC3. In figura 6 è rappresentata questa situazione operativa.

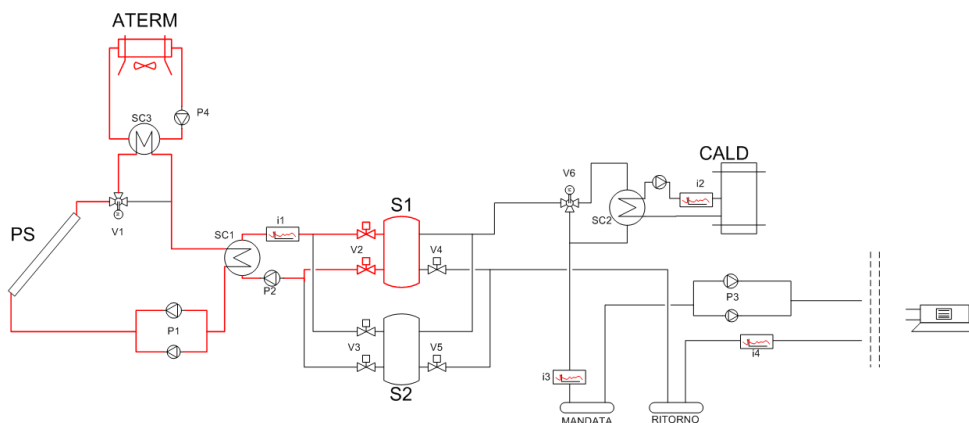


Figura 6

Quando vi è richiesta da parte dell'utente come detto, vi sono due possibilità di servizio: o si utilizza direttamente l'acqua accumulata nei serbatoi o si utilizza la caldaia per l'integrazione. Quando la temperatura in uno dei due serbatoi è uguale al valore fissato (è un grado di libertà del sistema, durante il funzionamento è stato variato più volte, partendo da 50°C per abbassarlo fino a 40°C) la valvola V6 esclude la caldaia e invia in mandata l'acqua dei serbatoi e si apre allo stesso modo o la valvola V4 o la V5 a seconda del serbatoio che si sta utilizzando. In figura 7 è rappresentata questa situazione operativa.

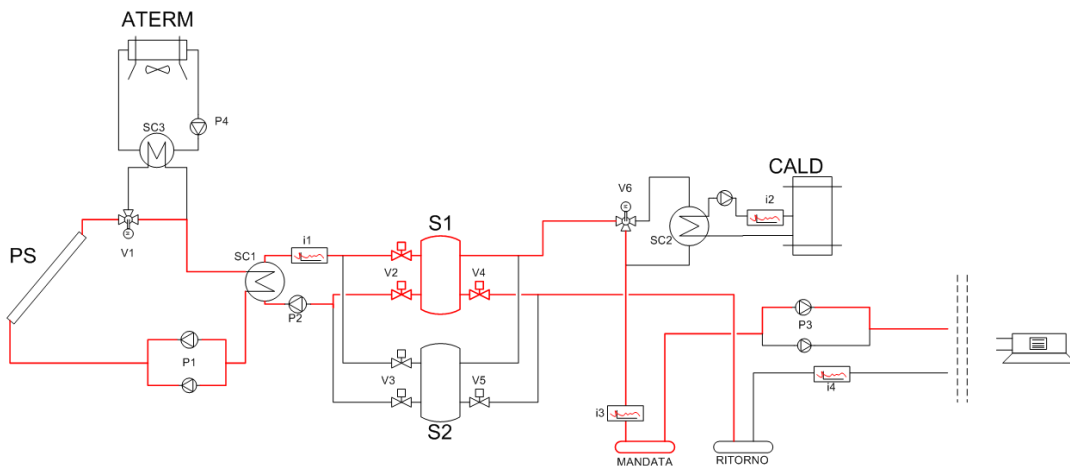


Figura 7

Il gruppo di pompaggio P3 provvede alla circolazione del fluido e al raggiungimento dei fan coils. Come si può intendere il funzionamento dei due circuiti solare e dell'utente è indipendente e determinato solo dalle differenze di temperature che l'impiantista può decidere secondo l'ottica che ritiene più adeguata: questa versatilità di impianto è chiaramente data dall'utilizzo dei due serbatoi.

Nel caso invece che i collettori non riescano a fornire la potenza necessaria e l'accumulo si raffreddi troppo deve intervenire la caldaia o come integrazione o a completa sostituzione. In questo caso la situazione è rappresentata in figura 8: la valvola V6 inserisce la caldaia, viene accesa quest'ultima e insieme anche la pompa P2 e si provvede a servire l'utente.

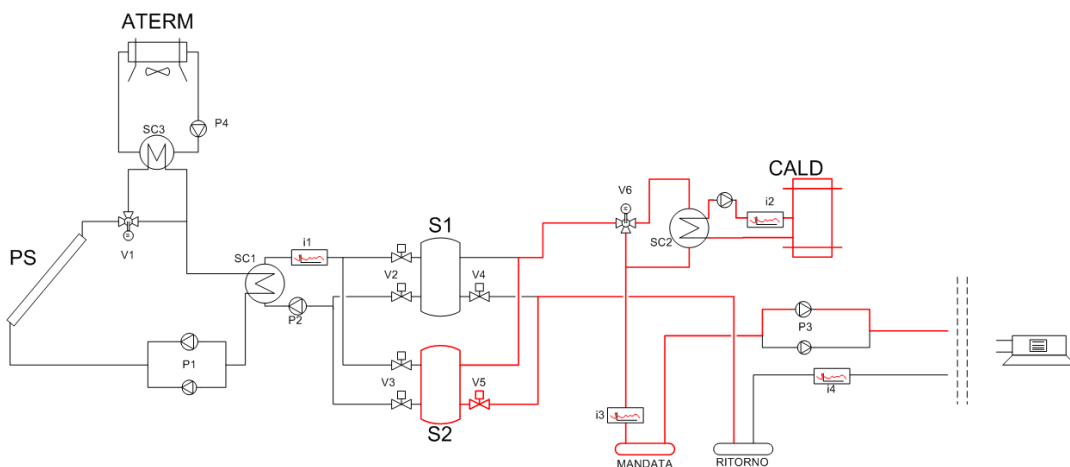


Figura 8

Come si vede, su consiglio della casa produttrice dei pannelli e dei serbatoi, quando si utilizza la caldaia è comunque previsto un passaggio in un serbatoio. Questa operazione presenta, dal punto dell'efficienza dell'impianto solare, qualche perplessità che merita altri approfondimenti: l'energia prodotta non dovrebbe essere accumulata ma utilizzata direttamente, lasciando così a disposizione dei pannelli il più ampio accumulo possibile.

- 1.2 - Funzionamento estivo -

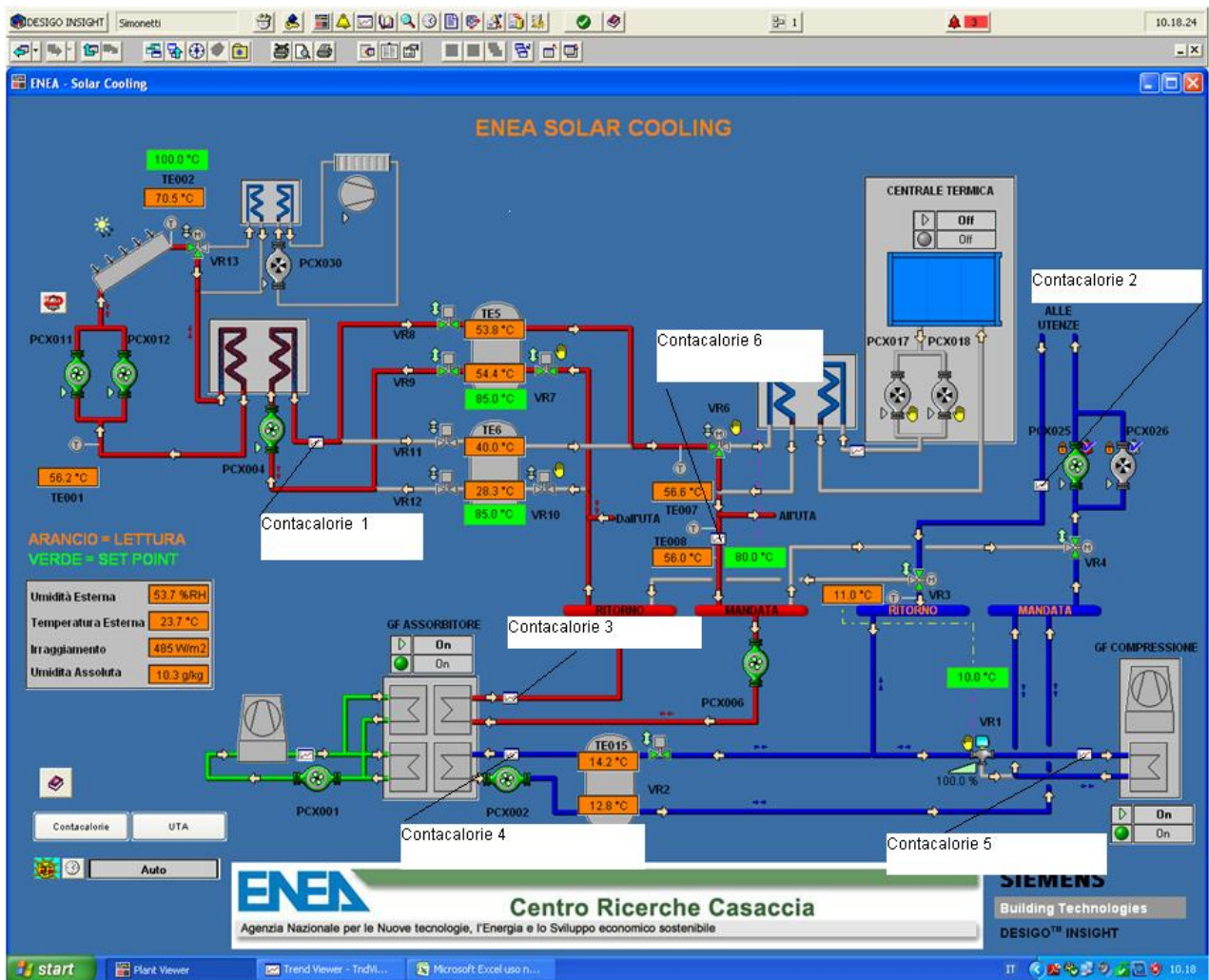


Figura 9

Nel funzionamento estivo dell'impianto entra in funzione la macchina ad assorbimento, che per funzionare, riceve acqua calda alla temperatura minima di 70 °C e produce acqua fredda intorno ai 10 °C proporzionalmente alla temperatura della sorgente calda che la alimenta.

Il sistema più complesso e l'acqua riscaldata dai pannelli viene questa volta mandata alla macchina e non all'utenza direttamente mentre l'integrazione con la caldaia entra in funzione quando non viene raggiunta la temperatura minima detta precedentemente. Per la dissipazione del calore che la macchina produce viene utilizzata una torre evaporativa mentre in uscita alla macchina è stata prevista l'installazione di un serbatoio "freddo" che accumuli quando la macchina produce di più

di quello che l'utenza richiede. Sono naturalmente presenti due collettori di mandata e ritorno differenti che permettono di servire attraverso i soliti ventilconvettori usati anche in inverno l'utenza. Infine è stato mantenuto un gruppo frigo ausiliario a compressione che prima serviva l'edificio in caso di emergenza.

La logica del riempimento dei serbatoi a valle dei pannelli rimane la stessa identica dell'assetto invernale con il solo cambiamento delle temperature di set-up e di inserimento della caldaia di ausilio.

Per le misurazioni sono stati inseriti altri conta calorie che permettono di mantenere sotto controllo l'impianto lato "freddo" : uno in ingresso alla macchina ad assorbimento, uno in uscita dalla stessa, uno che verifichi le prestazioni del gruppo frigo a compressione di emergenza e un ultimo conta calorie è stato inserito sul ramo che serve la torre evaporativa per la dissipazione del calore; per il conteggio dell'energia dell'utenza si utilizza quello utilizzato anche nella fase invernale.

- 2 - CONSIDERAZIONI GENERALI E NOTE SUL MONITORAGGIO -

La campagna di acquisizione dati è partita dall'estate del 2010 ma i dati che sono stati considerati in questa relazione fanno riferimento solamente al periodo dal 01/11/2010 al mese di settembre 2011, e inoltre per la fase invernale si è considerato il periodo massimo fissato dal legislatore per l'accensione degli impianti di riscaldamento nella zona climatica di Roma.

Nel corso della campagna l'idea fondamentale è stata prima di tutto quella di verificare a trecentosessanta gradi il corretto funzionamento dell'impianto, di denotare quali erano le problematiche e anche i pregi: tutto questo è venuto prima dell'acquisizione dei dati e delle considerazioni impiantistiche possibili.

Il primo obiettivo, dunque, è stato sicuramente quello di valutare l'affidabilità, la versatilità e in generale la fattibilità di una soluzione così particolare come questa tipologia di impianto solar cooling.

Il secondo obiettivo è stato quello invece di analizzare la bontà dell'impianto e la sua efficienza ma anche quello di identificare quali fossero le possibilità di azione dunque i gradi di libertà nella progettazione e nella fase operativa a disposizione dell'impiantista che permettessero di migliorare l'efficienza.

L'accoppiamento tra energia solare e normale impianto di condizionamento viene spesso fatto senza considerare nella globalità l'impianto finale e ciò va ad inficiare i risultati in termini di efficienza energetica e ritorno economico della spesa.

Si sono utilizzati in particolare i vari conta calorie posizionati in vari punti dell'impianto e si è utilizzato come server un computer posizionato nella sala caldaia con installato il software DESIGO: questo programma, oltre a gestire tutta l'automazione dell'impianto, ha permesso l'acquisizione dei dati in maniera molto semplice, ottenendo alla fine dei pratici file EXCEL su cui poi si è proceduto all'analisi.

Attraverso questi conta calorie si sono ottenuti quindi dei risultati, dei numeri da cui trarre conclusioni significative che sono riportate in questa relazione.

Nel perseguire questi obiettivi si è comunque sempre tenuto presente che l'impianto serviva un'utenza reale che richiedeva un certo comfort: la prova migliore dell'impianto è sempre stata la verifica del benessere delle persone che vivono all'interno dell'edificio ogni giorno.

Durante questo lungo periodo di controllo dell'impianto, si sono verificati degli inevitabili intoppi soprattutto nella campagna di misura e sono stati variati leggermente alcuni parametri per valutare l'influenza sul processo.

Nella fase invernale sono stati oggetto di interesse soprattutto i valori di set della temperatura massima di accumulo ai serbatoi e la temperatura minima di mandata ai fan coils: per la seconda, in particolare, si è verificato che l'impianto di distribuzione era leggermente sovradimensionato e si è deciso dunque di abbassare gradualmente la temperatura di mandata.

Per quanto riguarda invece i guasti, si è dovuto far fronte alle seguenti problematiche:

- Il conta calorie del solare (i1), posto a valle dello scambiatore SC1, si è rotto a fine ottobre e quindi non ci si è potuti avvalere dei suoi dati: si sono i valori dell'impianto solare derivandoli dagli altri conta calorie.
- La cella posta all'esterno dell'edificio che misurava l'irraggiamento sui pannelli ha lavorato con continuità dal 18/10/2010 a 06/12/2010, il rendimento dell'impianto solare è stato dunque verificato solamente in questo periodo.

Nella fase estiva i problemi sono stati molto importanti in quanto a giugno la caldaia ausiliaria ha subito un guasto e non è stato possibile cambiarla per tutta l'estate: a conseguenza di questo l'impianto non ha funzionato come dovrebbe, la macchina ad assorbimento non riceveva acqua calda nei momenti di maggior richiesta ed è stato necessario attivare il gruppo frigo di emergenza per larga parte del periodo estivo per non lasciare le persone che lavoravano nell'edificio senza condizionamento. Questi incidenti hanno purtroppo inficiato non poco la campagna di misura nel momento oltretutto più significativo che prevedeva l'utilizzo della macchina ad assorbimento e il funzionamento completo dell'impianto installato.

Senza la caldaia i pannelli non ricevevano integrazione di calore e spesso non venivano raggiunte molto spesso per poco le temperature adatte all'utilizzo in macchina e di conseguenza anche se i pannelli lavoravano molto bene l'impianto non poteva ricevere questa energia.

Infine si sono riscontrati alcuni problemi al server di gestione del DESIGO: date le alte temperature che si raggiungevano nella zona caldaia dove era stato installato il computer è andato in blocco i primi di luglio per circa una settimana prima di essere riportato alla completa funzionalità.

- 3 - I RISULTATI SPERIMENTALI -

- 3.1 - Assetto invernale -

Per prima cosa sono riportati i risultati ottenuti calcolando il rendimento dell'impianto solare installato: si considera il rapporto tra l'energia termica che i pannelli hanno ceduto all'acqua dei serbatoi e l'irraggiamento totale che ha raggiunto i pannelli.

Come già detto nelle note, i dati fanno riferimento solamente al periodo in cui ha funzionato la cella per la misurazione dell'irraggiamento.

Qui di seguito sono riportati i risultati ottenuti.

	irraggiamento [kWh]	energia prodotta [kWh]	rendimento imp. solare [%]
dal 18/10 al 31/10	5031	2040	40,55
dal 1/11 al 31/11	7231	2180	30,15
dal 1/12 al 6/12	1065	250	23,47
TOTALE	13327	4470	33,54

Figura 10

irraggiamento ed energia prodotta dal solare

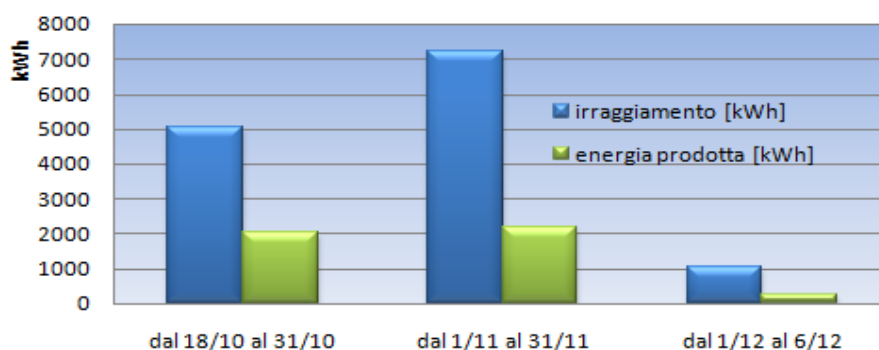


Figura 11

rendimento imp. solare [%]

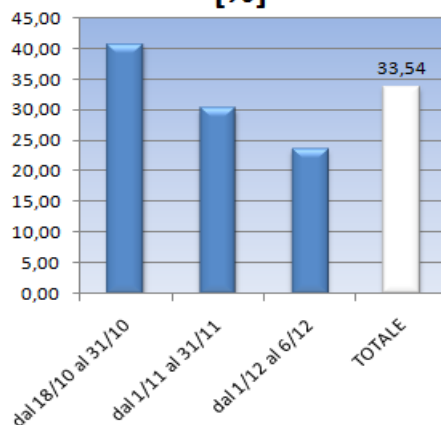


Figura 12

Come si vede, nonostante i pannelli abbiano un rendimento nominale intorno al 60%, lo scarso irraggiamento e la presenza dello scambiatore (incluso nel rendimento calcolato) e dei problemi di accumulo (ovvero può succedere che i pannelli lavorino ma che non venga accumulato perché non si raggiunge la temperatura giusta) abbassano di molto l'efficienza dell'intero sistema solare. Nonostante queste problematiche l'efficienza del sistema si mantiene su valori molto buoni in assoluto e sicuramente molto più alti di molte altre rinnovabili.

Questo buon funzionamento dell'impianto solare si rispecchia anche nel considerare i risultati di tutto il sistema di riscaldamento installato.

Qui di seguito si riportano i risultati ottenuti verificando le energie prodotte da caldaia e sistema solare e di quella richiesta dall'utenza, ottenendo sulla base di questi anche la frazione solare dell'impianto di riscaldamento.

	ENERGIA [kWh]		
	solare	caldaia	utenza
novembre	2180	3950	6130
dicembre	2050	7100	9150
gennaio	3080	4000	7080
febbraio	4640	4270	8910
marzo	4290	4270	8560
TOTALE	16240	23590	39830

Figura 13

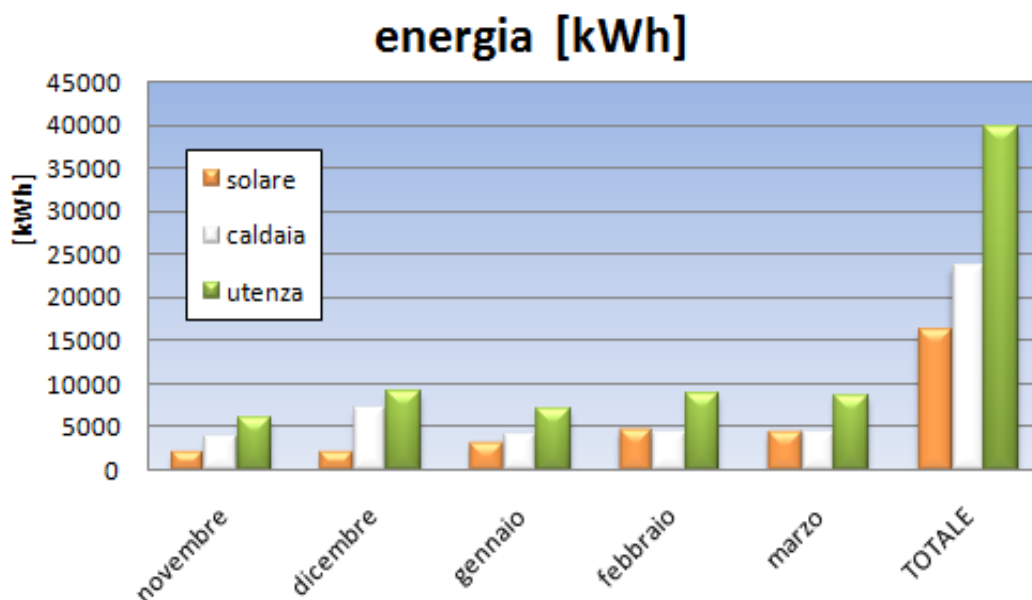


Figura 14

	FRAZIONE SOL. [%]
novembre	35,5
dicembre	22,4
gennaio	43,5
febbraio	52,1
marzo	50,1
MEDIA	40,77

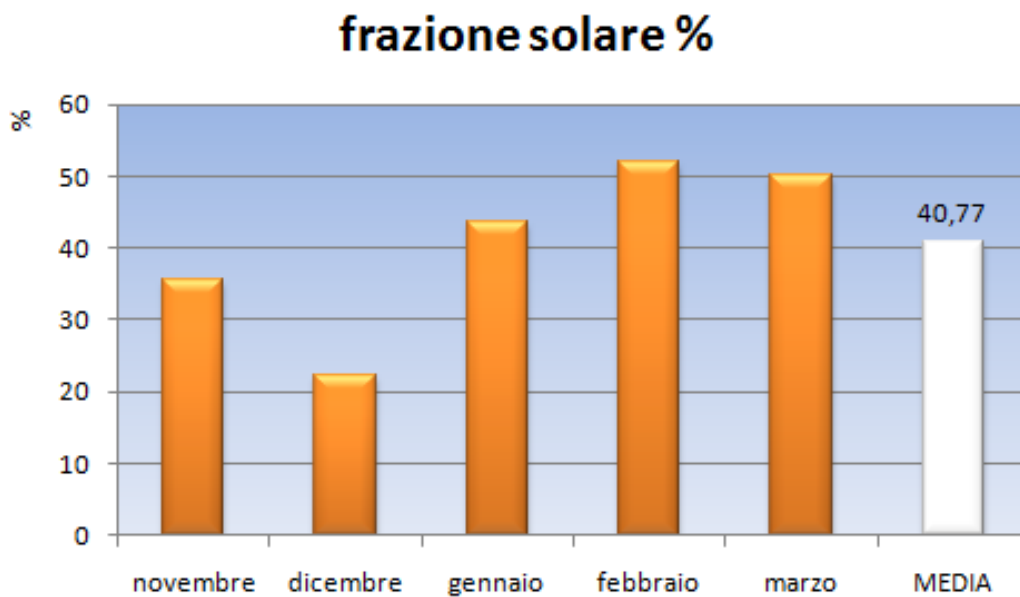


Figura 15

Questi dati sono molto interessanti e positivi: in tutta la stagione invernale l'energia solare captata dai pannelli ha provveduto al riscaldamento per il 40%, ottenendo punte sorprendenti nei mesi di febbraio e marzo del 50%.

Il dato peggiore si verifica a dicembre (22%), quando i pannelli riescono a produrre lo stesso che a novembre ma la richiesta mensile da parte dell'utenza è la più alta di tutto il periodo.

A febbraio e marzo invece la ottima frazione solare si ottiene soprattutto grazie all'aumento importante di produzione da parte dei pannelli dato che l'utenza mantiene piuttosto stabile la sua richiesta nel periodo.

- 3.2 - Assetto estivo -

Come già detto ampiamente nelle considerazioni generali fatte precedentemente durante la fase estiva di monitoraggio il grosso problema avuto con la caldaia ausiliaria ha reso i dati acquisiti molto complicati dal punto di vista dell'analisi.

Si è partiti come nel caso invernale con la verifica di quello che ha compiuto il sistema solare nel suo complesso verificando quindi le energie messe a disposizione dai pannelli a monte dei serbatoi e quella invece che alla fine è arrivata al gruppo ad assorbimento.

In questa sede bisogna subito dire che il fatto che la macchina abbia lavorato senza caldaia di ausilio ha abbassato l'efficienza di tutto il sistema: i pannelli riscaldavano con buoni risultati l'acqua di alimento ma la temperatura all'interno dei serbatoi se non raggiungeva il livello necessario quell'acqua non poteva essere portata dalla macchina e rimaneva inutilizzata.

In figura 16 e 17 si riportano i dati ottenuti con questa situazione deficitaria di impianto.

	solare [kWh]	ingresso macchina [kWh]	rendimento [%]
maggio	1030	210	20.39
giugno	7900	1950	24.68
luglio	4090	610	14.91
agosto	4090	1220	29.83
settembre (1/09 -15/09)	3820	2080	54.45
TOTALE	20930	6070	29.00

funzionamento impianto solare

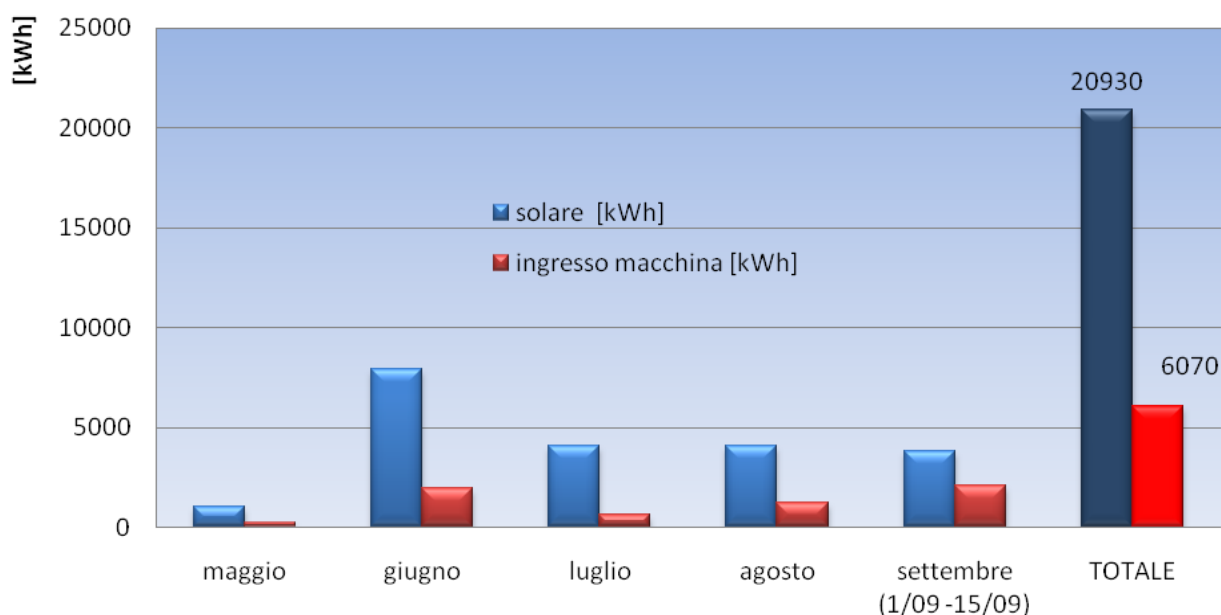


Figura 16

rendimento impianto solare INGR..MACCH./SOLARE

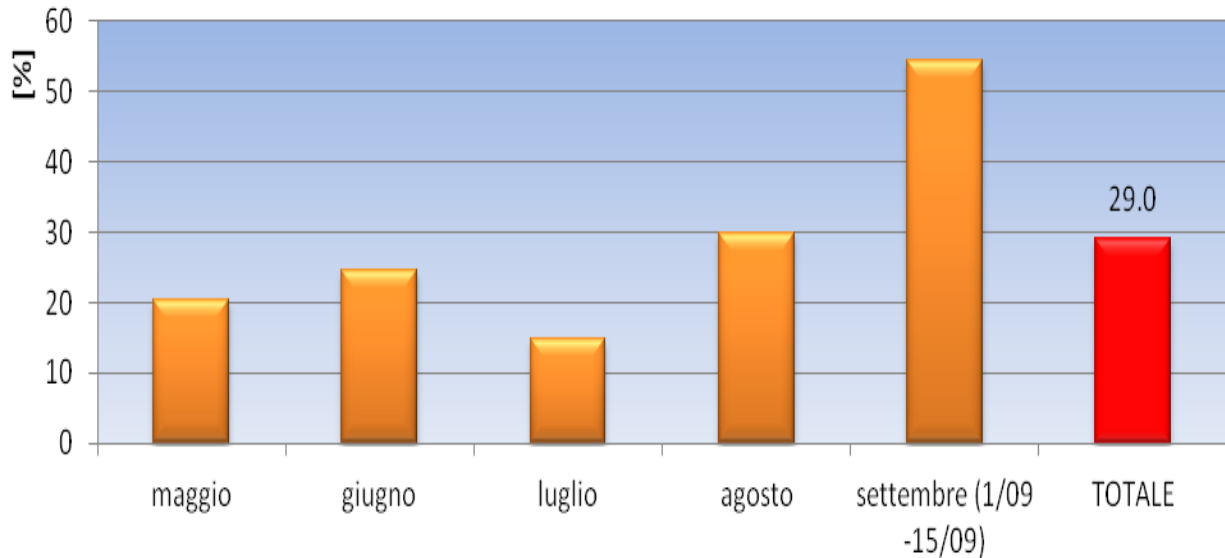


Figura 17

Come si vede, a parte il dato anomalo di settembre, in cui il sistema di accumulo è riuscito a lavorare meglio anche per il decremento della richiesta dell'utenza, il rendimento del sistema solare e di accumulo non ha funzionato bene: si è prodotto tanto ma la macchina non è riuscita a lavorare perché le temperature erano sempre basse rispetto al livello minimo e serviva una integrazione con la caldaia che in quel momento era inattiva.

Considerando poi quello che ha fatto la macchina nei periodi in cui ha potuto funzionare, possiamo osservare i dati di figura 18 e dove vengono riportati le energie misurate dai conta calorie a monte (corrente calda) e a valle (corrente fredda) della macchina e i rendimenti del sistema (figura 19).

	GRA CALDA [kWh]	GRA FREDDA [kWh]	RENDIMENTO
maggio	210	200	0.95
giugno	1950	2090	1.07
luglio	610	730	1.20
agosto	1220	740	0.61
settembre (1/09 -15/09)	2080	1280	0.62
TOTALE	6070	5040	0.83

ingresso macchina- uscita macchina

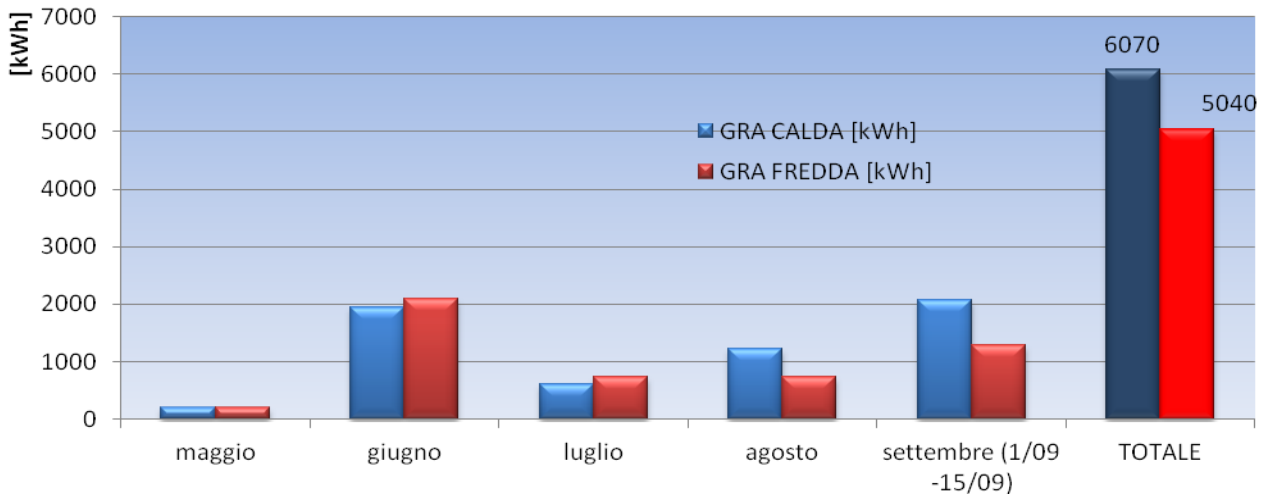


Figura 18

rendimento gruppo assorbimento

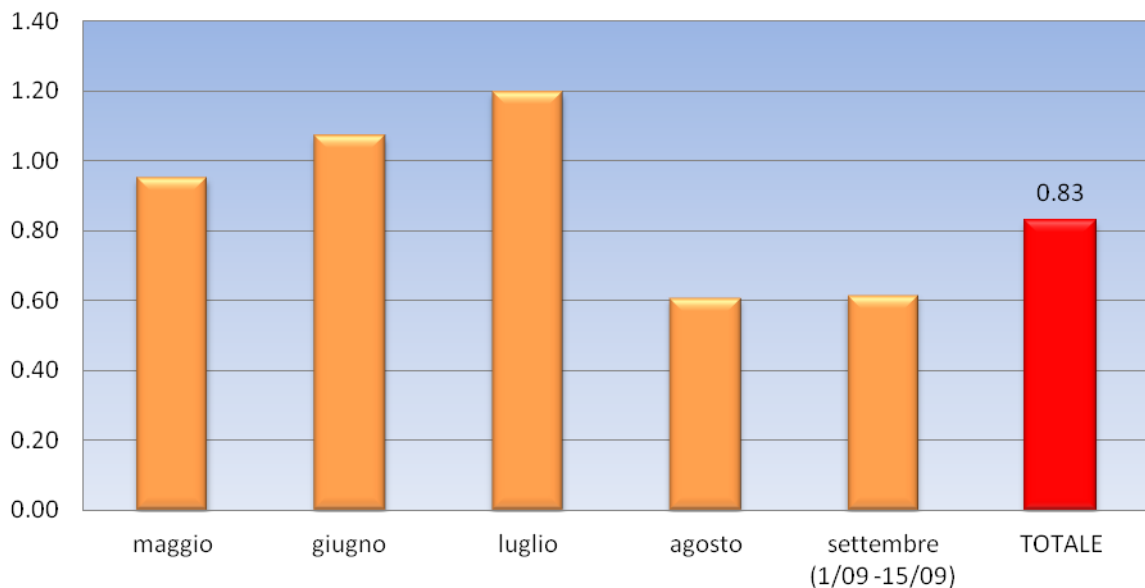


Figura 19

Anche in questo caso i dati sono di difficile interpretazione anche perché fuori scala rispetto alla comune esperienza di queste macchine: i rendimenti tipici sono quelli ottenuti in agosto e settembre mentre sono lontani dalla pratica i dati ottenuti per esempio in luglio.

Questo fatto è spiegabile col fatto che per scelta progettuale il campo solare fornisce circa il 50 % del calore necessario alla macchina ad assorbimento, l' assenza della necessaria caldaia di backup per guasto, ha comportato che sia le temperature che la logica di regolazione non fossero adeguate alle premesse.

Una modifica manuale della logica di regolazione, fatta ad agosto per ovviare all' assenza della caldaia, ha permesso di ottenere dei dati migliori.

In ultima analisi si è voluto approfondire l'influenza del gruppo frigo di emergenza sul funzionamento reale dell'impianto sia per avere un'idea della validità della campagna condotta e sia sull'attendibilità dei dati ottenuti.

In figura 20 e 21 vengono riportati dati salienti che si sono ottenuti.

	UTENZA [kWh]	GF emergenza [kWh]	GRA FREDDA [kWh]	GRA + GF emerg. [kWh]
maggio	90	1640	200	1840
giugno	5020	4030	2090	6120
luglio	5600	4880	730	5610
agosto	13080	11660	740	12400
settembre (1/09 -15/09)	6490	5250	1280	6530
TOTALE	30280	27460	5040	32500

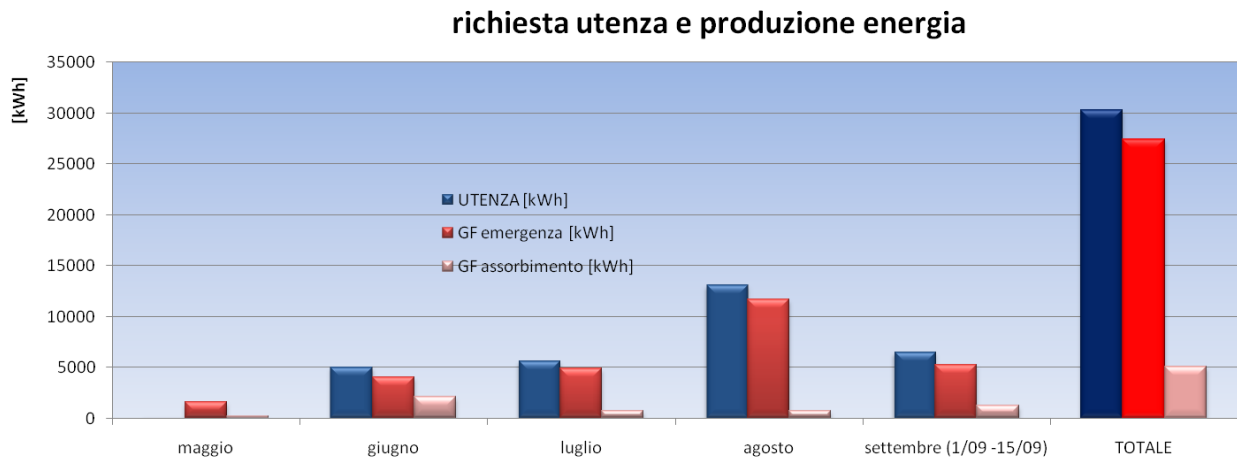


Figura 20

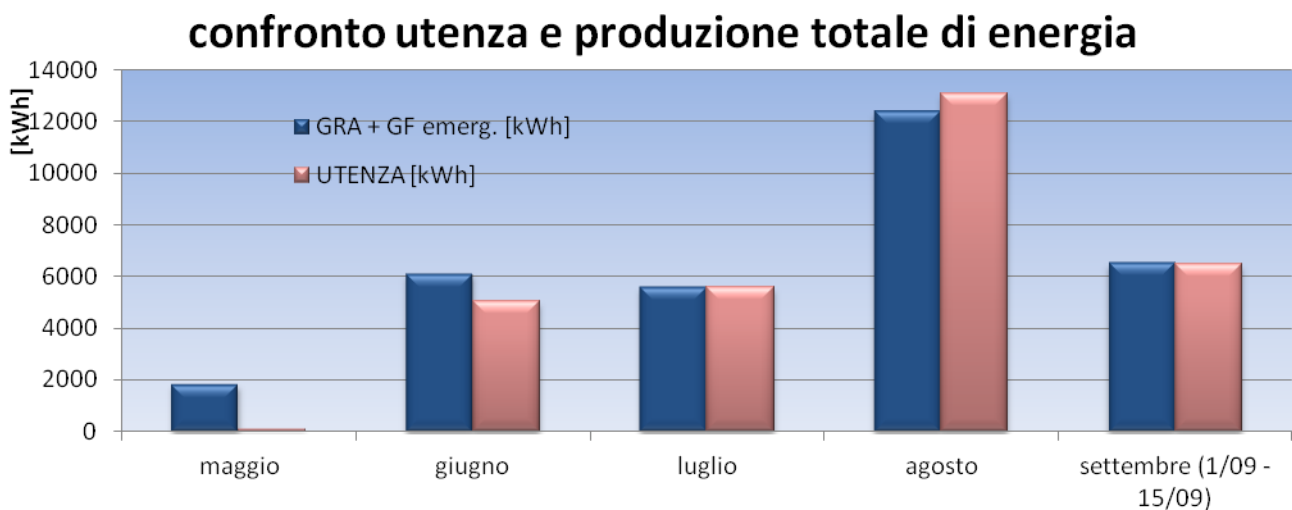


Figura 21

Come si vede, l'utilizzo del gruppo ad assorbimento è stato molto basso e per larga parte del tempo ha funzionato esclusivamente il gruppo a compressione che nasceva come soluzione di emergenza: dei 30000 kWh circa richiesti dall'utenza solamente 5000 kWh sono stati forniti dal sistema ad assorbimento.

Oltretutto, in figura 21, si vede come a maggio e a giugno i dati fra la richiesta e la produzione di energia non combaciano, lasciando qualche dubbio sull'affidabilità dei risultati raccolti.

- 4 - LA SIMULAZIONE SU TRNSYS -

- 4.1 - Il modello dell'impianto -

Di pari passo con la gestione dell'impianto e l'analisi dei dati che esso forniva si è proceduto con la messa a punto di un modello implementato sul software TRNSYS che permettesse di effettuare una *fotografia* dell'impianto reale e di effettuare anche una analisi parametrica e di sensibilità delle prestazioni al variare di grandezze significative.

Per prima cosa si sono caratterizzate in linguaggio macchina alcuni componenti dell'impianto utilizzando le schede fornite dai costruttori e modelli matematici tipici, si sono utilizzati questi sistemi per costruire quindi *type* da poter inserire nel programma di calcolo, in particolare sono state definite:

- La macchina ad assorbimento YAZAKI WFC20,
- I ventilconvettori AERMEC FCX 22,
- I controller che sono stati utilizzati per le varie regolazioni.

Accanto a questi sono stati poi caratterizzati le varie altre componenti dell'impianto utilizzando le *type* presenti nella libreria di TRNSYS, variando chiaramente i parametri si sono resi questi sistemi il più simili a quelli realmente utilizzati.

Nella modellizzazione si è cercato di mantenere per quanto possibile la filosofia e la realtà dell'impianto esistente per poter successivamente effettuare un confronto.

Si è ipotizzato un circuito solare che avesse direttamente in serie ai pannelli l'aerotermostato senza la presenza di uno scambiatore intermedio, e, almeno in prima istanza, anche il collegamento con l'accumulo caldo è stato pensato senza scambiatore per evitare di appesantire troppo la simulazione.

A valle del serbatoio caldo è stata simulata la caldaia con due riscaldatori ausiliari da 50 kW che si azionano uno d'estate e l'altro di inverno: quello estivo porta l'acqua alla macchina ad assorbimento che provvede a raffreddare l'acqua che viene poi mandata ai ventilconvettori; quello invernale invece manda l'acqua direttamente alla distribuzione.

Infine, per lo smaltimento del calore della macchina ad assorbimento è stata inserita la torre di raffreddamento evaporativa e a valle della macchina ad assorbimento è stato inserito un ulteriore serbatoio di accumulo freddo.

L'edificio è stato suddiviso in sei zone termiche e per ognuna di queste zone è stato simulato un impianto di distribuzione che si aziona con vari controller ad orari prestabiliti e facendo sempre riferimento alla temperatura dell'aria.

In questa maniera ogni zona viene servita in maniera indipendente dalle altre e si possono così osservare i vari contributi alle richieste energetiche delle singole zone.

Il risultato di questa costruzione del modello è riportato in figura 22, in cui è riportata l'interfaccia utilizzata per i collegamenti fra i vari componenti e per modificare i parametri delle type e di simulazione.

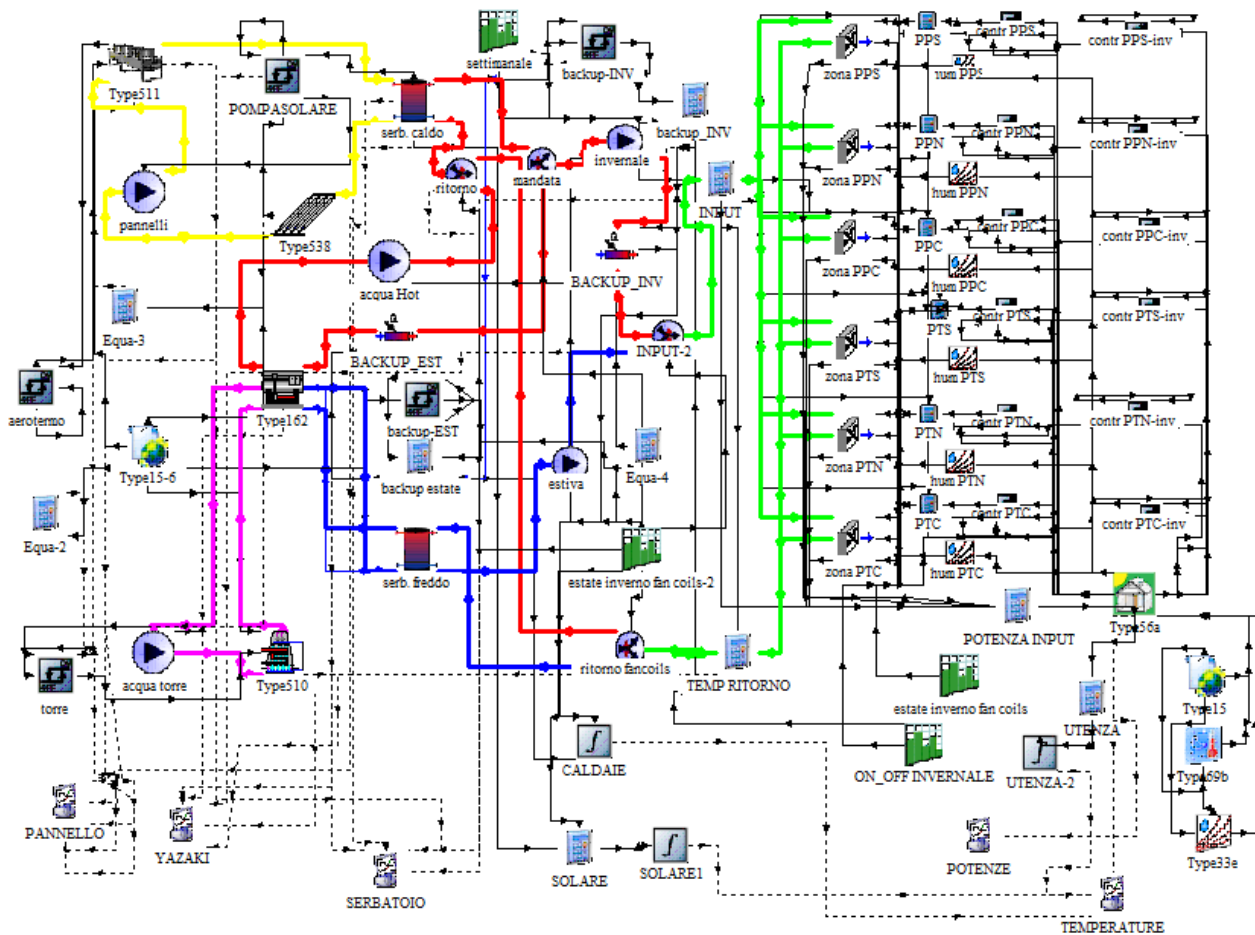


Figura 22

Sempre in figura 22 sono evidenziate in colori diversi i vari circuiti presenti e di cui si è parlato precedentemente.

Per la verifica del funzionamento della simulazione sono stati previste varie acquisizioni di dati per ogni step temporale per avere un'idea sulla bontà della simulazione e sull'attendibilità dei dati ottenuti.

I parametri utilizzati per una simulazione così complessa sono chiaramente tantissimi, per dare comunque un'idea del lavoro svolto e di come si è impostato tutto il processo si riportano nella tabella di figura 23 i dati più significativi utilizzati.

Utilizzando questo modello si sono verificati i comportamenti dei vari componenti di impianto, all'inizio controllando che gli ordini di grandezza delle variabili più significative fossero concordi con quanto osservato in realtà e poi allargando l'orizzonte temporale di simulazione si è proceduto alla verifica dei dati più generali di prestazione e resa energetica.

Dati e parametri utilizzati nella simulazione					
Accumulo caldo		Macchina ad assorbimento			
Volume	3 m ³	Portata calda	16000 kg/h		
Perdite termiche	3 kJ/(h*m ²)	Portata fredda	11000 kg/h		
Accumulo freddo		Portata raffred.	32000 kg/h		
Volume	2 m ²	Regolazione backup			
Perdite termiche	3 kJ/(h*m ²)	Inverno	T _{set-point} =45 (ai venticonvettori)	ON se T < 45°C (ai venticonvettori)	
Circuito solare		Estate	T _{set-point} =71 (alla macchina ad assorbimento)	ON se T < 9°C (ai venticonvettori)	
Superficie pannelli	100 m ² (lorda)	Regolazione venticonvettori			
Temperatura max.	95°C	Inverno	ON se T _{zona} < 20°C	6 < h _{on} < 18 senza weekend	Stag. Inv.
Portata	3600 m ²	Estate	ON se T _{zona} > 26°C	6 < h _{on} < 18 senza weekend	Stag. estiva
Edificio					
Guadagni interni	persone	25 unità 8 < h _{on} < 16		con i weekend	
	computer	25 unità 8 < h _{on} < 16		con i weekend	

Figura 23

- CONFRONTO FRA SIMULAZIONE E DATI SPERIMENTALI –

Per quanto riguarda la campagna i risultati sono molto confortanti.

Nelle tabelle di figura 24 vengono riportati i dati ottenuti con la simulazione per quanto riguarda le energie in gioco e la frazione solare che si è ottenuta.

	ENERGIA [kWh]		
	solare	caldaia	utenza
novembre	2671	2391	5062
dicembre	2942	5603	8545
gennaio	2751	6825	9576
febbraio	3989	4321	8310
marzo	3666	1281	4947
TOTALE	16019	20421	36440

	FRAZIONE SOLARE [%]
novembre	52.77
dicembre	34.43
gennaio	28.73
febbraio	48.00
marzo	74.11
TOTALE	43.96

Figura 24

Come si vede comunque i dati ottenuti in simulazione sono dello stesso ordine di grandezza e non vi sono errori grossolani, la simulazione nonostante la sua complessità funziona con ottimi risultati.

Confrontando poi questi risultati con i dati ottenuti nella campagna invernale dell'edificio riportati nei paragrafi precedenti si nota bene come la simulazione dell'edificio fotografi molto bene quella che è la situazione reale.

In figura 25 e figura 26 si riporta il confronto effettuato.

energia richiesta dall'utenza [kWh]

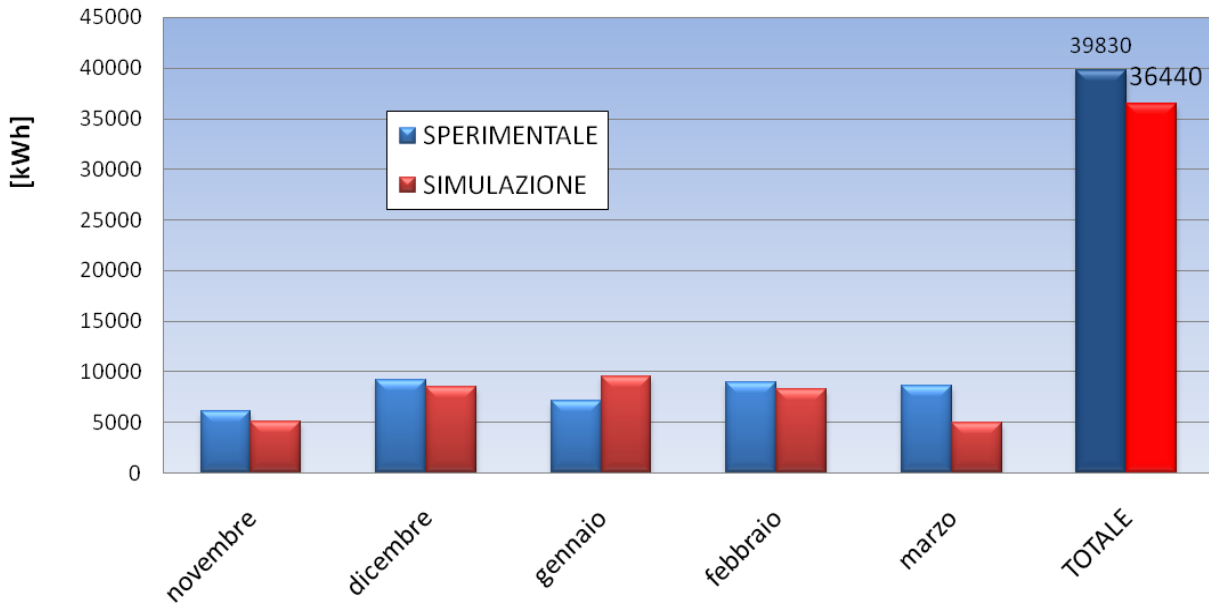


Figura 25

frazione solare [%]

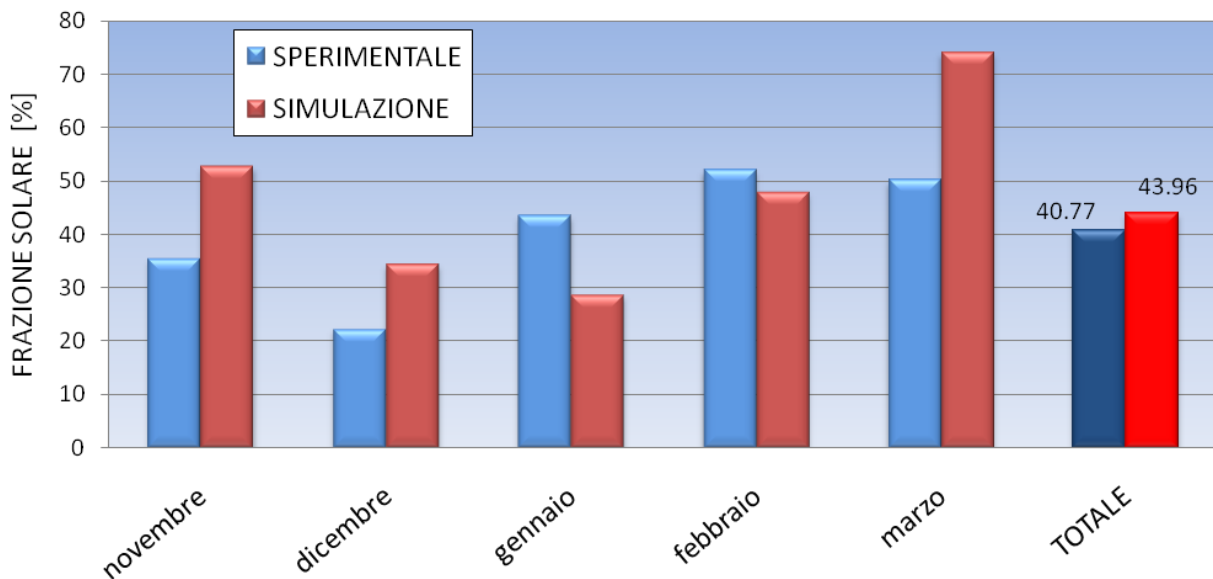


Figura 26

Si può notare che, guardando mese per mese, le differenze sono significative: la simulazione rispetta i dati climatici tipici dove gennaio risulta essere il mese più freddo e la sua frazione solare la più bassa di tutta la stagione mentre marzo ottiene un valore elevatissimo di frazione solare dovuto agli ottimi irraggiamenti e alla diminuzione della richiesta energetica.

Se però si guarda al valore totale di tutta la stagione invernale le differenze mensili si compensano e i valori sperimentali si riavvicinano a quelli della simulazione rendendo così veritiero e affidabile il valore superiore al 40% della frazione solare.

Per quanto riguarda la fase estiva si riportano i dati ottenuti per l'impianto solare, l'efficienza della macchina ad assorbimento e per le richieste da parte dell'utenza.
In figura 27 e 28 e 29 sono riportati i risultati.

	utenza fredda [kWh]	caldaia [kWh]	solare [kWh]	SOL. + CALD. [kWh]	EFFICIENZA MACCHINA
maggio	102.6	0	526	526	0.20
giugno	1682.4	256.8	2427	2683.8	0.63
luglio	6570	2780.2	6409	9189.2	0.71
agosto	5444	2059	5617	7676	0.71
settembre	1576	364	2267	2631	0.60
TOTALE	15375	5460	17246	22706	0.68

simulazione estiva

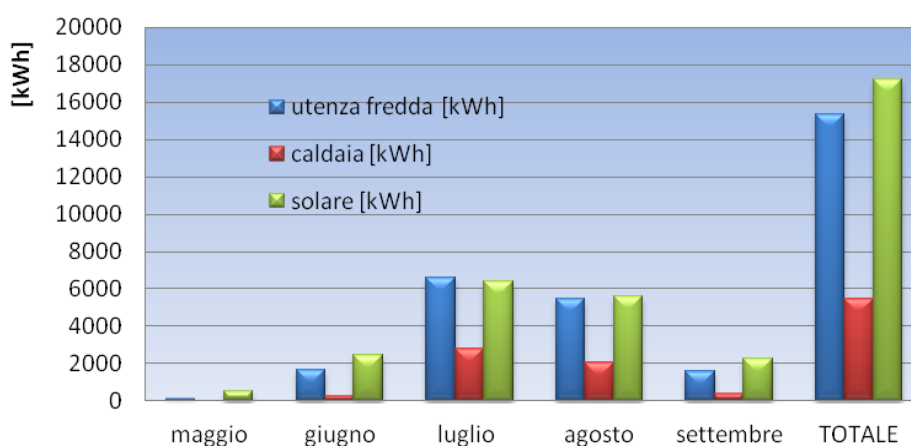


Figura 27

efficienza gruppo ad assorbimento



Figura 28

	FRAZIONE SOLARE [%]
maggio	100
giugno	90.43
luglio	69.74
agosto	73.18
settembre	86.16
TOTALE	75.95

FRAZIONE SOLARE ESTIVA

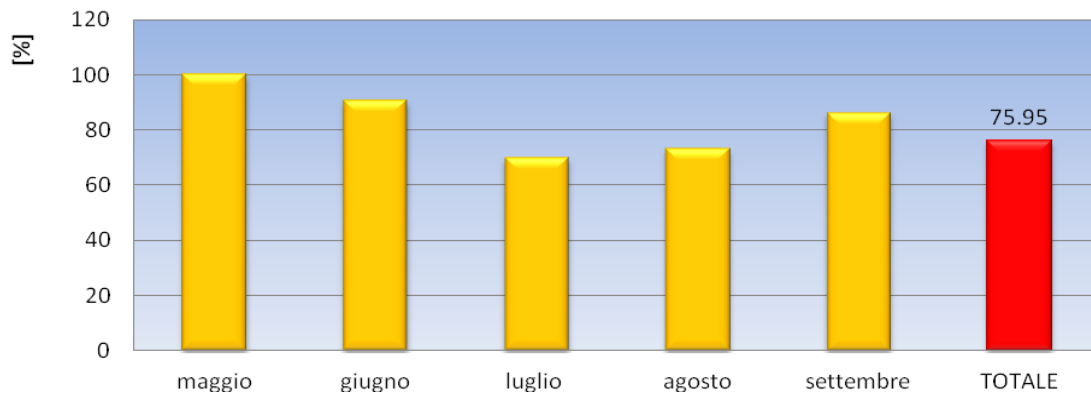


Figura 29

Data la scarsità dei risultati sperimentali ottenuti in fase sperimentale non si può fare un confronto diretto con la simulazione condotta ma si può solamente apprezzare gli ottimi risultati ottenuti in linea generale.

Si notano delle ottime prospettive per quanto riguarda la frazione solare ottenibile e si nota il valore molto attendibile che si ottiene riguardo all'efficienza della macchina ad assorbimento.

- 5 - CONCLUSIONI -

La campagna sperimentale effettuata sull'impianto di solar cooling and heating dell'edificio F51 del centro ENEA della Casaccia, è risultata particolarmente difficile a causa del fatto che l'edificio è effettivamente utilizzato ad uso ufficio e quindi la capacità di manovra senza fermo impianto per consentire modifiche, tarature e quant'altro, è molto limitata.

Il guasto della vecchia caldaia preesistente, indispensabile per il buon funzionamento dell'impianto, ha ulteriormente complicato le cose, specialmente durante la campagna estiva.

Tuttavia, sia pure con alcuni limiti, i dati raccolti hanno confermato che tali tipi di impianti permettono di raggiungere un risparmio notevole per il condizionamento degli edifici, dell'ordine del ~40% invernale e ~50% estivo, se correttamente realizzati.

La simulazione dinamica al TRNSYS dell'intero sistema edificio impianto ha permesso di fare una fotografia riproducibile dello stesso, grazie al buon accordo tra i dati sperimentali e quelli simulati. Ulteriori dati, maggiormente verosimili, verranno prelevati dopo la sostituzione della caldaia, nella prossima campagna di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio.