



Ricerca di Sistema elettrico

Test funzionali ed ottimizzazione delle performance di due prototipi di condizionatore d'aria compatti Solar DEC

M. Beccali, P. Finocchiaro, S. Longo, V. Lo Brano, G. Ciulla

TEST FUNZIONALI ED OTTIMIZZAZIONE DELLE PERFORMANCE DI DUE PROTOTIPI DI CONDIZIONATORE D'ARIA COMPATTI SOLAR DEC

M. Beccali, P. Finocchiaro, S. Longo, V. Lo Brano, G. Ciulla (Università degli Studi di Palermo)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

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

Progetto: Utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione

Obiettivo A: Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi

Responsabile del Progetto: Nicolandrea Calabrese, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Test funzionali ed ottimizzazione delle performance di due prototipi di condizionatore d'aria compatti Solar DEC*" tra ENEA ed UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Responsabile scientifico ENEA: Nicolandrea Calabrese

Responsabile scientifico Università di Palermo : Prof. Ing. Marco Beccali

Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	6
1.1 ANALISI INIZIALE DEL COMPORTAMENTO DI ALCUNI COMPONENTI	6
1.2 DESCRIZIONE DELLE MODIFICHE APPORTATE.....	6
1.3 ANALISI DELLE PRESTAZIONI ISTANTANEE NELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE	7
1.4 ANALISI DELLE PRESTAZIONI MEDIE INVERNALI	10
1.5 ANALISI DELLE PRESTAZIONI MEDIE ESTIVE	11
1.6 DESCRIZIONE E RISULTATI DELL'ANALISI DI CICLO DI VITA (LCA).....	12
1.7 ANALISI ECONOMICA E STUDIO SUL POTENZIALE DI DIFFUSIONE DELLA TECNOLOGIA ESAMINATA	15
1.7.1 <i>Dati di settore</i>	15
1.7.2 <i>Studio del potenziale di diffusione</i>	16
1.7.3 <i>Analisi economica e confronto con sistemi di riferimento convenzionali</i>	18
2 CONCLUSIONI.....	22
3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	22
4 APPENDICE 1: ATTIVITÀ SVOLTE NELL'AMBITO DI TASK IEA SOLAR HEATING AND COOLING PROGRAMME.....	23
5 APPENDICE 2: CURRICULUM DEL RESPONSABILE SCIENTIFICO	26

Sommario

Nell'ambito di questo lavoro di ricerca è stata svolta una estesa campagna di monitoraggio per il sistema Solar DEC freescoo *residential* installato nell'estate del 2014 presso il Dipartimento DEIM dell'Università di Palermo.

In una prima fase dello studio sono state svolte delle prove preliminari volte ad identificare problematiche al funzionamento di alcuni dei componenti interni. In particolare è stata posta attenzione al miglioramento del funzionamento dello scambiatore evaporativo e dei componenti coinvolti nel processo di deumidificazione dell'aria. È stato aggiornato il sistema di monitoraggio e migliorata la logica di controllo dei letti adsorbenti. Relativamente alle prestazioni energetiche possono essere tratte le seguenti conclusioni:

- Complessivamente il sistema presenta un'elevata efficienza energetica. Il coefficiente EER della macchina è risultato di 12,8 come valore medio sul periodo considerato. Se si considera invece la autoproduzione da PV, il valore sale a 50,7. L'elettricità consumata dagli utilizzatori interni alla macchina è stata infatti prelevata dalla rete solo per il 25% del totale, mentre il restante 75% è stato generato dal sistema PV. Ad esempio, il consumo di energia elettrica causato da un utilizzo esteso per tutta la stagione estiva (90 giorni, 12 ore al giorno), stimato a partire dai valori di efficienza misurati, ammonterebbe a circa 40 kWh corrispondenti al consumo di circa due giorni di funzionamento continuativo di un comune climatizzatore domestico alla massima potenza. Dalle considerazioni fatte si evince che l'efficienza elettrica dell'unità esaminata è nettamente superiore a quella di un sistema di climatizzazione tradizionale;
- In termini di potenza di raffreddamento, sono stati registrati invece valori minori rispetto a quelli nominali. La causa principale risiede nel fatto che la capacità di deumidificazione dei letti adsorbenti e la potenza di raffreddamento dello scambiatore evaporativo non hanno mai raggiunto i valori nominali. Il massimo della potenza di raffreddamento raggiunto è stato di 1,8 contro 2,7kW. Il sistema presenta dunque margini di miglioramento sia sul fronte della capacità di raffreddamento sensibile che su quello della deumidificazione dell'aria;
- Si è notato un miglioramento delle prestazioni a seguito delle modifiche apportate rispetto ai valori mediamente raggiunti durante le prove fatte nel 2014;
- I dati di monitoraggio relativi alla stagione invernale mostrano che il sistema può fornire un importante contributo al riscaldamento e alla ventilazione dell'ambiente a cui è connesso a costi energetici praticamente nulli.

Inoltre, nell'ambito di questo studio, è stata svolta una analisi di ciclo di vita dell'unità in esame al fine di determinarne le prestazioni energetiche ed ambientali complessive, confrontandole con quelle di un sistema convenzionale di riferimento. I principali risultati di quest'analisi possono essere così riassunti:

- La fase di costruzione presenta impatti considerevolmente maggiori rispetto a quella di utilizzo (tra 87-89% del totale)
- Il consumo globale di energia primaria dell'unità freescoo, dovuto sia alla fase di costruzione che a quella di utilizzo corrisponde a circa metà dell'energia primaria consumata dall'unità di condizionamento dell'aria convenzionale nella sola fase di utilizzo.
- Il consumo globale di acqua dovuto all'utilizzo dell'unità freescoo è nettamente maggiore di quello dell'unità convenzionale di riferimento se si considera il consumo d'acqua dovuto alla produzione di elettricità utilizzata da entrambi i sistemi.

Infine è stata svolta un'analisi preliminare sul potenziale di diffusione e sui risparmi economici ottenibili rispetto all'utilizzo di un sistema di climatizzazione convenzionale. Tale analisi ha mostrato che la diffusione del sistema dipende essenzialmente dal prezzo di acquisto, dalla presenza di incentivi ma in particolare da quale sistema convenzionale di riferimento si prende in considerazione per il confronto.

Introduzione

Nell'ambito di questo lavoro di ricerca è stata svolta una campagna di monitoraggio per il sistema Solar DEC freescOO *residential* installato presso il Dipartimento DEIM dell'Università di Palermo e sono state svolte diverse analisi mirate a valutarne le prestazioni energetiche ed ambientali.

Un separato report descrive invece le attività svolte su un sistema di simili caratteristiche installato presso il centro di ricerche ENEA di Casaccia.

FREESCOO (acronimo di **FREE Solar COOLing**) è un innovativo e compatto sistema di climatizzazione alimentato ad energia solare, con funzioni di deumidificazione, raffreddamento ed integrazione al riscaldamento, per applicazione nel settore della climatizzazione degli edifici in ambito residenziale e commerciale. Il sistema ha la caratteristica di essere compatto ovvero tutti i componenti utilizzati nel ciclo termodinamico sono alloggiati all'interno della macchina.



Figura 1: Foto del prototipo freescOO residential installato presso il DEIM dell'Università di Palermo

Il sistema è progettato per attuare un trattamento dell'aria a partire dal solo calore fornito dal sole. Il refrigerante utilizzato all'interno della macchina è l'acqua.

Le principali caratteristiche tecniche dell'impianto FREESCOO residential sono:

- dimensioni impianto in pianta: $1,2 \times 2 \text{ m}^2$;
- superficie lorda del collettore solare ibrido termico/fotovoltaico: $2,4 \text{ m}^2$;
- inclinazione del collettore: 25° ;
- portata d'aria immessa in ambiente: $500 \text{ m}^3/\text{h}$;
- potenza frigorifera massima: $2,7 \text{ kW}$ ($T_{\text{est}} = 35^\circ\text{C}$, $x_{\text{est}} = 14 \text{ g/kg}$);
- potenza elettrica massima assorbita dagli utilizzatori interni: 120 W .

Per una descrizione più dettagliata su rimanda alla letteratura riportata in bibliografia [1,2]. In merito alla tutela della proprietà intellettuale, sull'idea alla base del sistema è stata depositata una domanda di brevetto per invenzione industriale alla quale è seguita l'estensione a livello internazionale sotto forma di PCT.

Gli obiettivi della presente ricerca hanno riguardato principalmente l'analisi delle cause di inefficienza individuate alla luce dei dati di monitoraggio, l'individuazione delle azioni migliorative delle prestazioni energetiche, il miglioramento del sistema di monitoraggio e controllo, l'analisi delle prestazioni energetiche

e confronto con quelle di un sistema convenzionale. Infine ci si è proposti di svolgere l'analisi di ciclo di vita dell'unità.

1 Descrizione delle attività svolte e risultati

1.1 *Analisi iniziale del comportamento di alcuni componenti*

Dall'esame dei dati di monitoraggio relativi alla stagione estiva 2014 e dai test funzionali svolti all'inizio della campagna di monitoraggio iniziata a fine Giugno 2015, sono stati evidenziati i seguenti aspetti:

- Necessità di miglioramento della logica di regolazione che gestisce lo scambio dei letti adsorbenti. I dati registrati hanno mostrato infatti che l'umidità dell'aria in uscita dai letti adsorbenti non ha raggiunto spesso i valori adeguati per un buon funzionamento della sezione di raffreddamento evaporativo (9-11 g/kg);
- Rispetto allo scambiatore di calore utilizzato nella macchina freesco office installata presso il CR ENEA di Casaccia (configurazione 2014) sono state evidenziate prestazioni migliori imputabili essenzialmente alla migliore distribuzione dell'acqua grazie ad un diverso sistema di ugelli spruzzatori, ad una diversa geometria del componente (con sviluppo più in lunghezza) e ad un diverso rapporto tra le portate d'aria nei canali secondari e primari dello scambiatore. Si è proceduto comunque all'ottimizzazione del funzionamento del componente come descritto di seguito.

1.2 *Descrizione delle modifiche apportate*

Uno degli aspetti su cui ci si è concentrati ha riguardato l'ottimizzazione della logica di controllo dei letti adsorbenti. In particolare si è visto che risulta di fondamentale importanza il raggiungimento di un certo grado di rigenerazione del materiale adsorbente prima di procedere allo scambio dei letti, indipendentemente dal raggiungimento delle condizioni di umidità nell'ambiente climatizzato. Infatti la logica di controllo precedente attuava lo scambio dei letti adsorbenti solo sulla base delle condizioni di umidità interne all'edificio senza fare riferimento alle reali condizioni di saturazione del materiale adsorbente nei letti. A tal fine sono state provate diverse logiche di regolazione tramite il software di gestione Labview e si è giunti infine ad implementarne una che tiene conto dell'andamento delle temperature dell'aria in uscita dai letti adsorbenti rispetto alla reale disponibilità di calore solare.

Da un'analisi dei dati di monitoraggio si è visto infatti che, in assenza di una adeguata logica di controllo per lo scambio dei letti adsorbenti, vi è il rischio per il sistema di entrare in una situazione di stallo con conseguente notevole decadimento delle prestazioni in deumidificazione. Data infatti la grande quantità di materiale adsorbente presente negli scambiatori, si è visto che, il controllo dello scambio dei letti adsorbenti solo sulla base delle condizioni interne all'edificio, prescindendo dalle condizioni di rigenerazione del materiale adsorbente, può portare alla situazione in cui il vapore acqueo si sposta all'interno del letto adsorbente senza essere mai desorbito all'esterno.

Purtroppo il processo di ottimizzazione ha necessitato diversi fermi all'impianto così come si vede anche dai dati riportati nei paragrafi successivi.

Prima dell'inizio delle prove è stata verificata inoltre la tenuta all'aria della valvola di scambio giungendo alla conclusione che le miscele tra i flussi d'aria di rigenerazione e di processo sono bassi e comunque tollerabili. Si fa notare però che nonostante gli interventi fatti, il sistema ha mostrato dei limiti nel raggiungimento delle condizioni termoisometriche desiderate in ambiente. Ciò è imputabile probabilmente alle basse temperature di rigenerazione disponibili in alcuni momenti delle giornate esaminate e alle elevate portate dell'aria di rinnovo.

Per ciò che concerne invece lo scambiatore evaporativo, si è visto che il grado di bagnabilità delle superfici di scambio risulta notevolmente migliorato se l'acqua spruzzata viene additivata con piccole quantità di fluido tensioattivo. Inoltre al fine di ottimizzare l'efficienza di scambio termico, è risultato necessario

eseguire alcune prove al variare dei tempi di accensione e spegnimento della pompa di ricircolo nei cicli di spruzzamento dell'acqua. Ciò ha permesso di ottenere efficienze medie di raffreddamento dell'ordine di 70-75% calcolate sulla base della temperatura di bulbo umido dell'aria in ingresso.

1.3 Analisi delle prestazioni istantanee nella configurazione attuale

L'analisi delle prestazioni energetiche sulla base dei dati di monitoraggio raccolti ha costituito il centro del lavoro di ricerca svolto. Il monitoraggio del sistema è stato eseguito sia durante il funzionamento invernale che estivo. Di seguito si riportano gli andamenti delle temperature per una giornata di funzionamento presa come riferimento. Il sistema è operato dalle 8:00 della mattina alle 18:00 della sera. Come è possibile vedere in Figura 2, il sistema garantisce un raffreddamento dell'aria fino a temperature di immissione nel range 20-22°C. Si fa notare che nella giornata considerata all'interno del locale climatizzato è stato attivato uno dei due climatizzatori tipo "split" installati. In generale, la potenza della sola unità freesco non può infatti essere sufficiente ad abbattere i carichi termici presenti in ambiente nelle condizioni termoigrometriche tipiche estive.

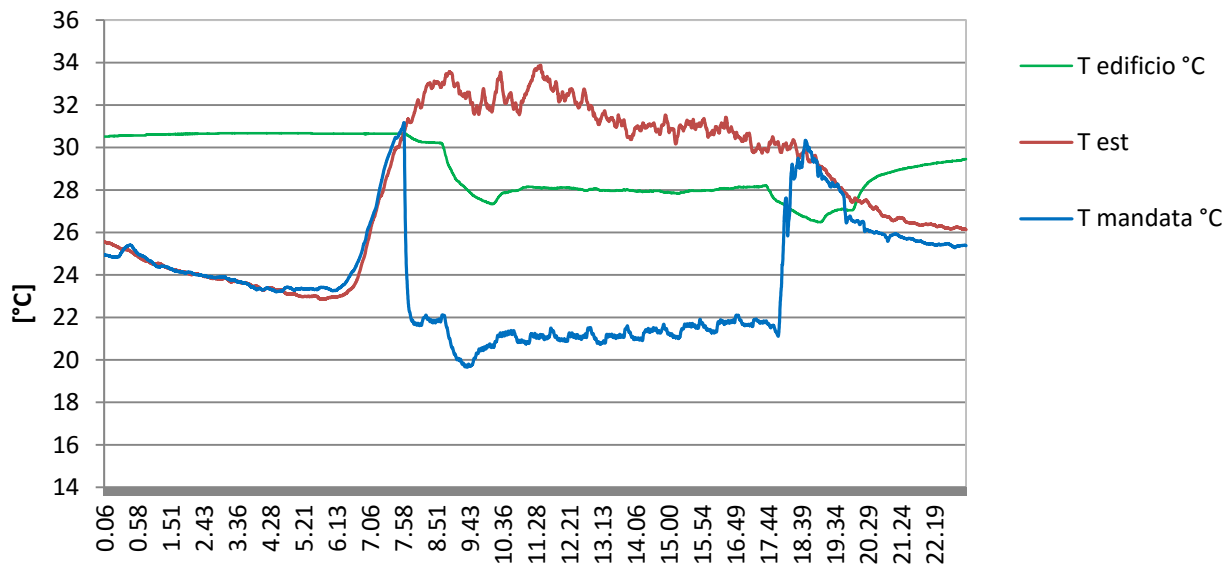


Figura 2: Temperature - 07 Luglio 2015

In termini di deumidificazione, le prestazioni del sistema sono risultate soddisfacenti e tali da mantenere l'ambiente ad una umidità assoluta di circa 10-11 g/kg. E' possibile notare attorno alle 9:30 che, a causa di un conflitto tra le logiche di regolazione dell'unità freesco e del sistema split, l'umidità di mandata sale seppure vi è una grossa disponibilità di capacità adsorbente. Il sistema infatti riprende a deumidificare solo quando l'utente abbassa ulteriormente il set point di umidità (ore 10:50).

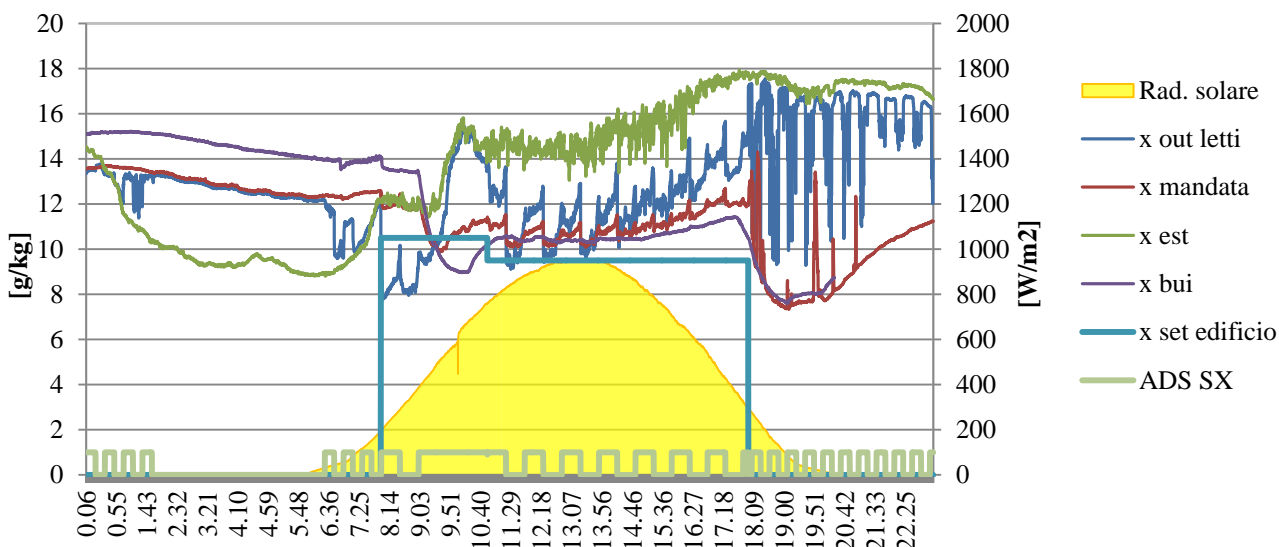


Figura 3: Umidità assolute – 07 Luglio 2015

Di seguito sono riportate le portate d’aria di mandata e del collettore solare. I picchi di portata nel collettore solare sono relativi allo spegnimento del ventilatore solare durante la fase di scambio dei letti adsorbenti.

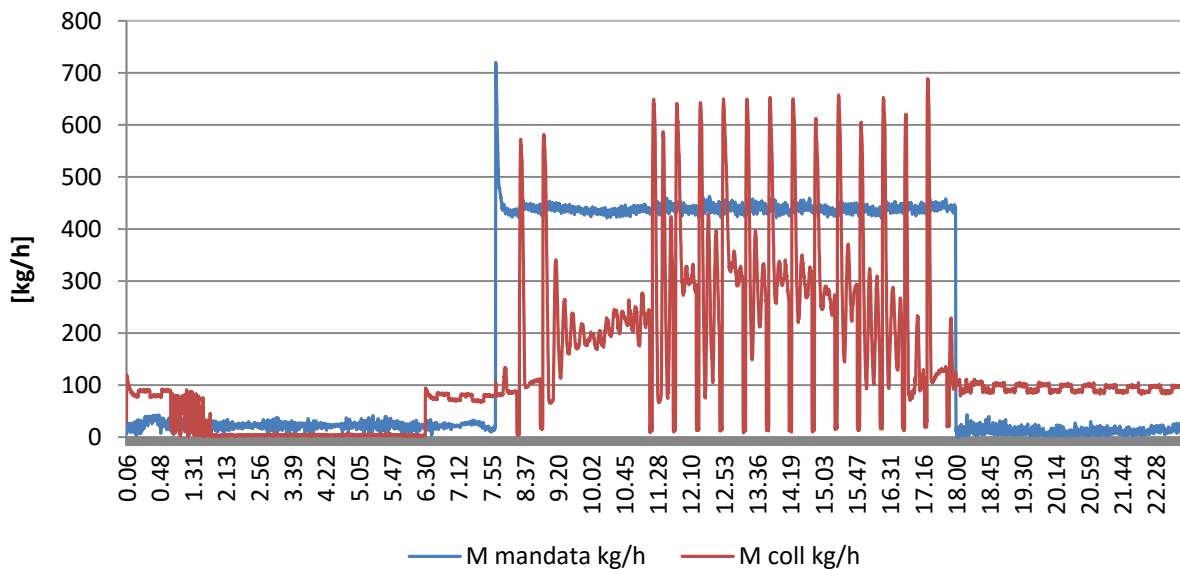


Figura 4: Portata d’aria di mandata e portata del collettore solare – 07 Luglio 2015

In figura 5 vengono riportate la potenza frigorifera relativa al trattamento dell’aria e quella inviata all’edificio.

Come è possibile vedere la potenza frigorifera si aggira mediamente attorno a 1,4kW. Da ciò è possibile affermare che nella giornata esaminata il valore nominale di 2,7 kW non è mai raggiunto.

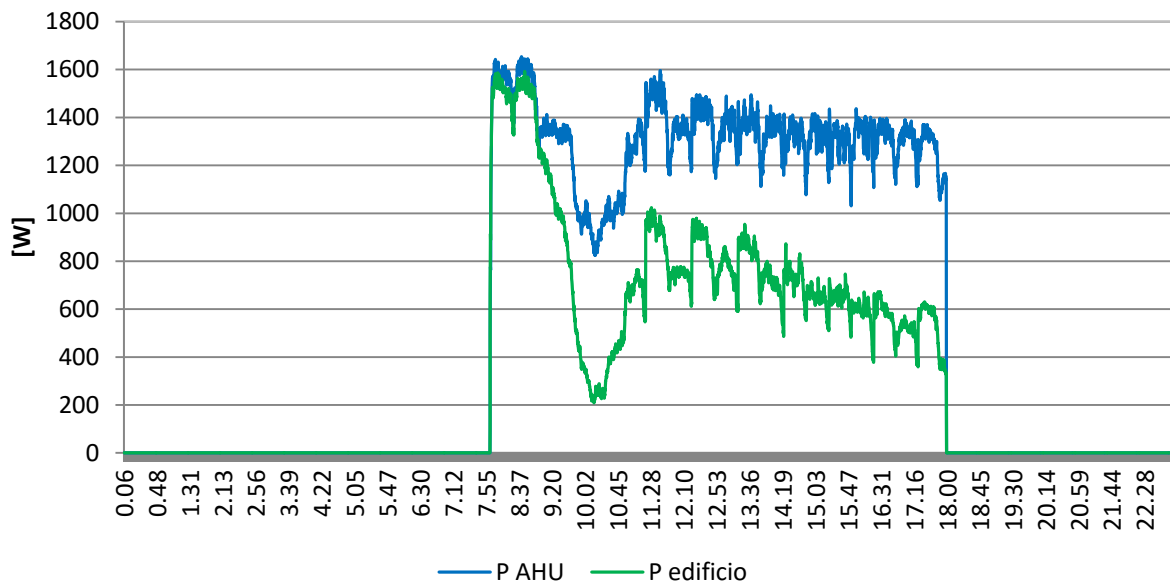


Figura 5: Potenza frigorifera relativa al trattamento dell'aria e potenza frigorifera inviata all'edificio – 07 Luglio 2015

In termini di efficienza energetica, il sistema mostra invece valori elevati e mediamente pari a 13. Tale valore risulta dalla misura dell'energia elettrica effettivamente utilizzata dagli ausiliari elettrici interni. Come è possibile vedere dalla figura 7, solo parte dell'energia elettrica è prelevata però dalla rete, mentre la restante parte proviene dell'impianto fotovoltaico/batterie di accumulo.

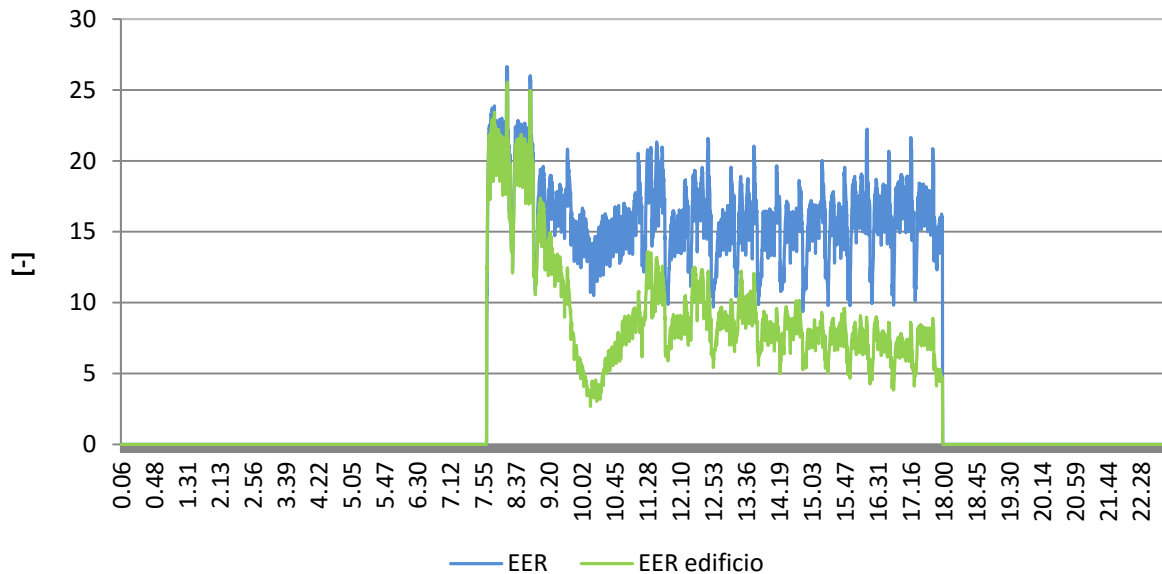


Figura 6: EER calcolato sulla potenza frigorifera relativa al trattamento dell'aria e sulla potenza frigorifera inviata all'edificio – 07 Luglio 2015

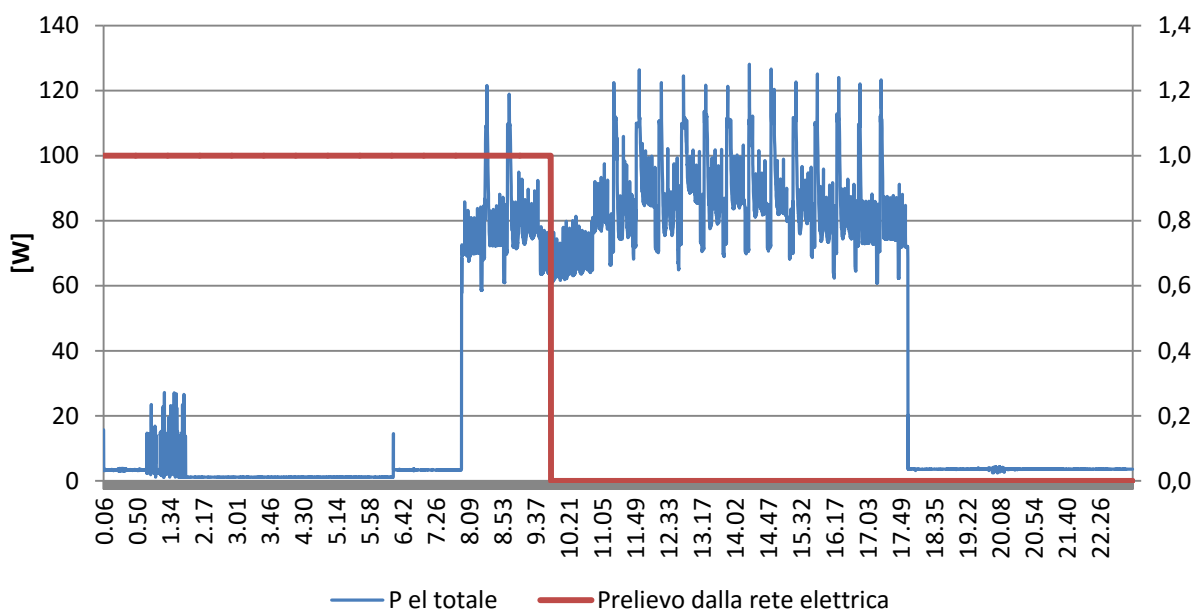


Figura 7: Potenza elettrica assorbita dagli utilizzatori interni alla macchina e funzionamento da rete elettrica o da sistema fotovoltaico – 07 Luglio 2015

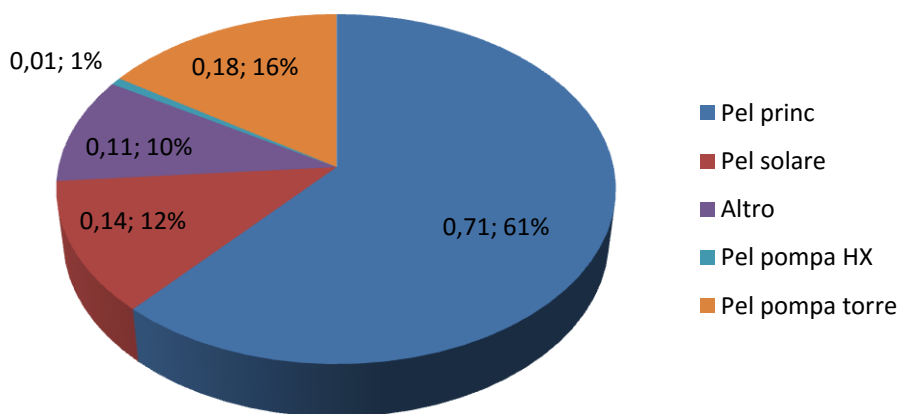


Figura 8: Distribuzione dei consumi elettrici per i componenti interni alla macchina – 07 Luglio 2015

1.4 Analisi delle prestazioni medie invernali

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per circa due settimane di funzionamento a cavallo tra Gennaio e Febbraio 2015 rappresentative del funzionamento invernale. E' possibile notare come il sistema possa dare un importante contributo al riscaldamento dell'ambiente e come esso presenti efficienze elettriche e termiche molto elevate. I valori di energia mostrati nei grafici sono relativi a 11 ore di funzionamento dell'impianto. In presenza di buon irraggiamento il sistema fornisce calore all'edificio con una potenza media di 0,4-0,6kW durante le ore di funzionamento. A questo si aggiunge il ricambio e il riscaldamento dell'aria esterna con valori medi in potenza che raggiungono circa 1 kW.

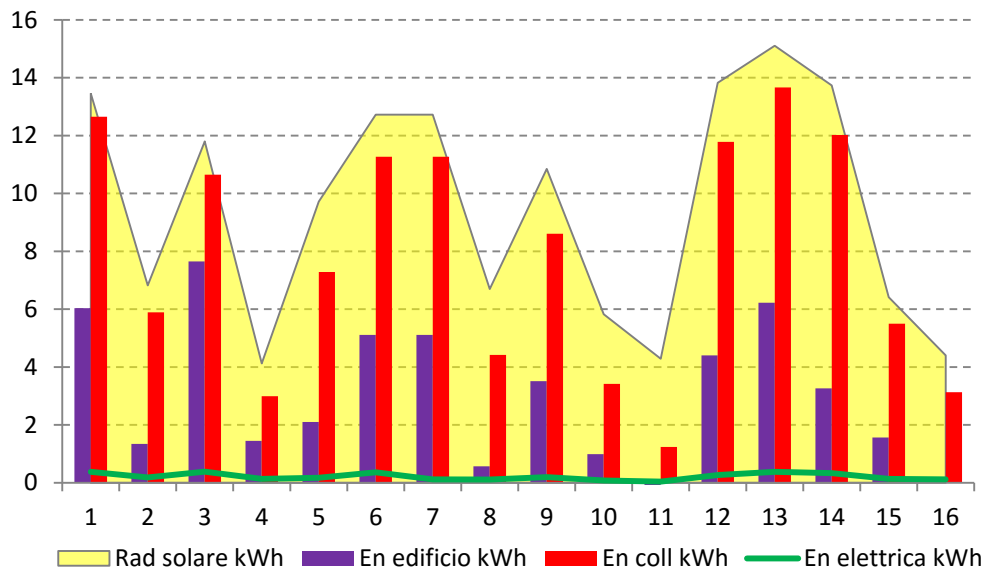


Figura 9: Andamento delle prestazioni energetiche per alcuni giorni di funzionamento nel periodo invernale

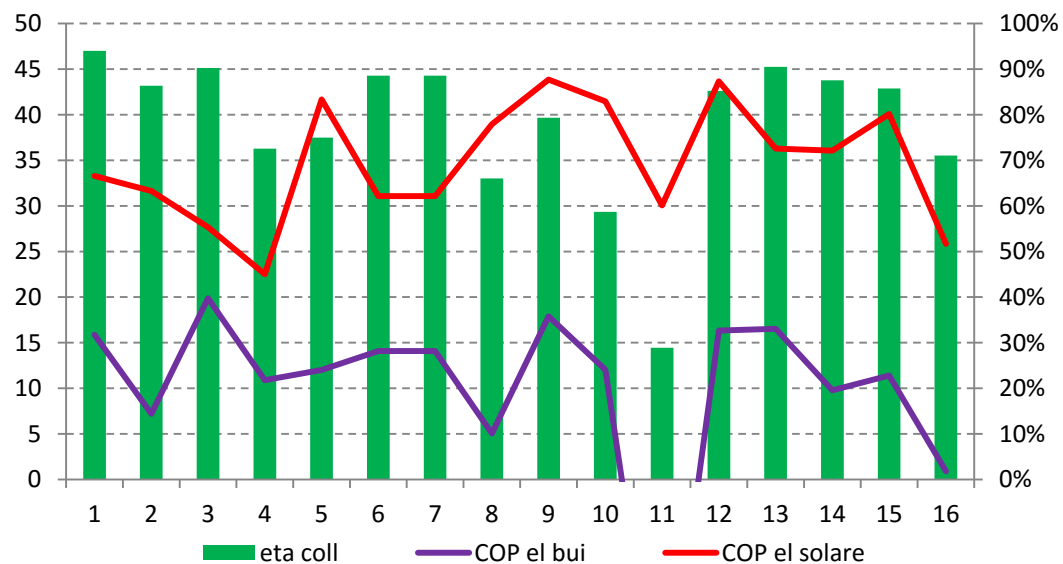


Figura 10: Andamento delle efficienza termica ed elettrica

1.5 Analisi delle prestazioni medie estive

Il monitoraggio estivo è iniziato alla fine di Giugno 2015 dopo alcuni giorni di test mirati al miglioramento delle prestazioni dei componenti interni ed è proseguito fino alla seconda metà del mese di Agosto con alcuni fermi di impianto dovuti alle azioni di upgrade della logica di controllo e a blocchi del pc al quale la macchina è connessa. In totale vengono presentati nei grafici seguenti le prestazioni energetiche del sistema per 40 giorni, per un totale di 479 ore di funzionamento. Dopo il fermo dell'impianto avvenuto alla terza settimana di Luglio, è stato sostituito inoltre un misuratore di portata posto sulla mandata che risultava non più funzionante.

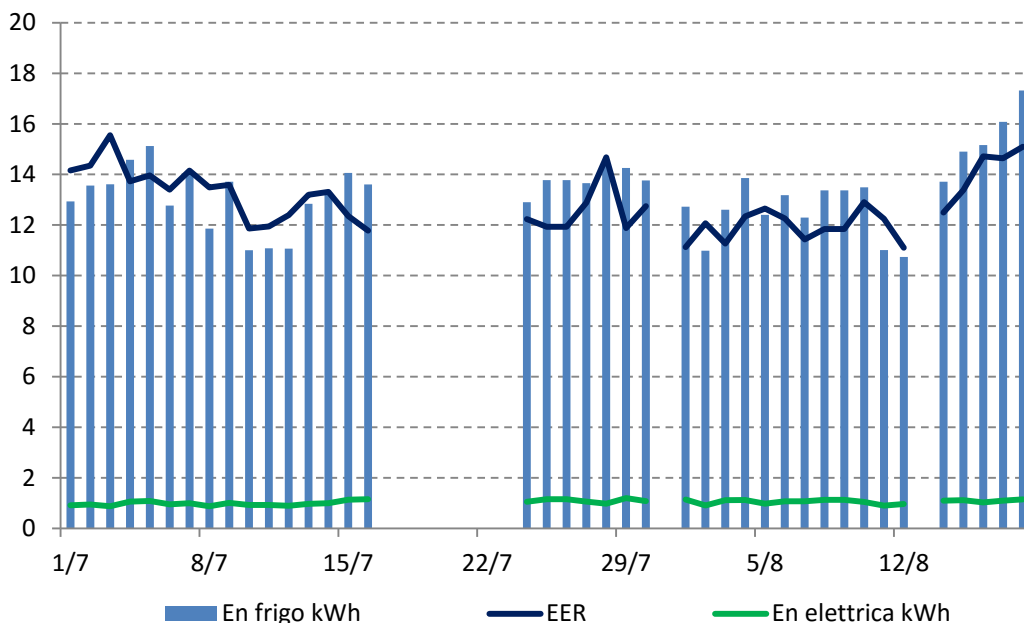


Figura 11: Andamento delle prestazioni energetiche globale nel periodo Luglio – Agosto 2015

Come è possibile vedere dalla figura 11, il sistema ha fornito un’energia frigorifera media giornaliera variabile da 11 a 17 kWh su 12 con un EER variabili da 12 a 15. Si sottolinea che il l’EER presentato è stato calcolato sulla base del totale dell’energia elettrica utilizzata dai componenti elettrici interni, non tenendo conto della autoproduzione da fotovoltaico che comunque copre circa i tre quarti del fabbisogno totale di elettricità della macchina.

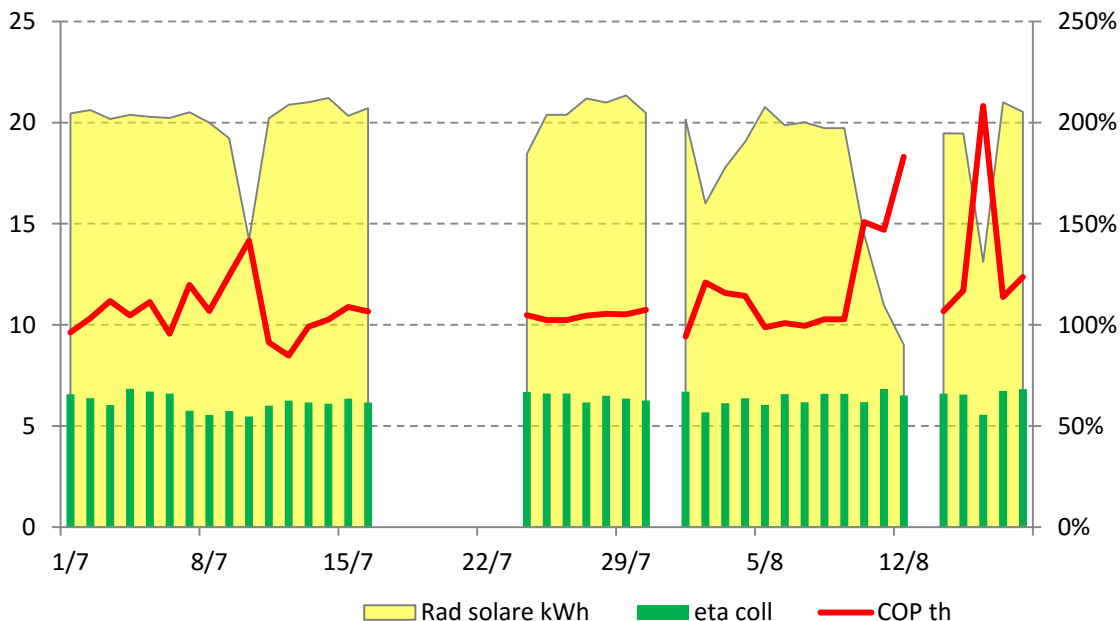


Figura 12: Andamento delle prestazioni energetiche del sistema solare nel periodo Luglio – Agosto 2015

In figura 12 sono rappresentate le prestazioni del collettore solare. Come si vede l’efficienza termica del collettore solare risulta mediamente elevata, grazie al fatto che il collettore lavora con aria esterna e dunque ad efficienza massima. Inoltre è da considerare anche il contributo di preriscaldamento dovuto all’involucro esterno della macchina.

1.6 Descrizione e risultati dell’analisi di ciclo di vita (LCA)

Un'altra importante fase del lavoro di ricerca ha riguardato la valutazione delle prestazioni ambientali dell'unità freescoo residential in esame tramite la metodologia LCA (ISO 14040, 2006).

I risultati dell'analisi condotta fanno riferimento ad una serie di indicatori attraverso i quali è possibile quantificare le performance energetiche ed ambientali del sistema. Nell'analisi del ciclo di vita svolta si è tenuto conto dell'utilizzo delle materie prime e delle risorse energetiche necessarie per la produzione del prodotto stesso, e del consumo durante la fase di utilizzo del prodotto. Non sono state invece considerate le fasi di manutenzione e dismissione.

Per realizzare l'analisi di ciclo di vita del prodotto, e per riassumere i dati inventariati, sono stati selezionati i seguenti indici energetici ed ambientali:

- Global energy requirement, (GER);
- Non-renewable energy requirement, (NRE);
- Renewable energy requirement, (RE);
- Global warming potential, (GWP);
- Ozone depletion potential, (ODP);
- Photochemical ozone formation, (POF);
- Acidificazione, (AC);
- Terrestrial eutrophication, (TE);

Per calcolare il consumo di energia primaria totale del prodotto analizzato è stato utilizzato il fabbisogno di energia globale, rinnovabile e non [6,7]. L'analisi di impatto ambientale è stata realizzata invece utilizzando il metodo ILCD 2011 Midpoint, elaborato da Prè (2012) coerentemente con le indicazioni della commissione europea (2012).

In accordo con la procedura riportata nella ISO 14040(2006) e ISO 14044(2006), l'analisi di inventario è stata condotta quantificando il numero di ingressi e di uscite dal sistema Freescoo, attraverso la quale è possibile effettuare i bilanci energetici e di massa.

Questo step inoltre ha permesso la stima del consumo di risorse primarie; aria; acqua; suolo; emissioni; produzione di rifiuti, durante il ciclo di vita del sistema. Gli eco-profilo dei materiali e delle risorse energetiche si riferiscono principalmente al database ECOINVENT [6,7].

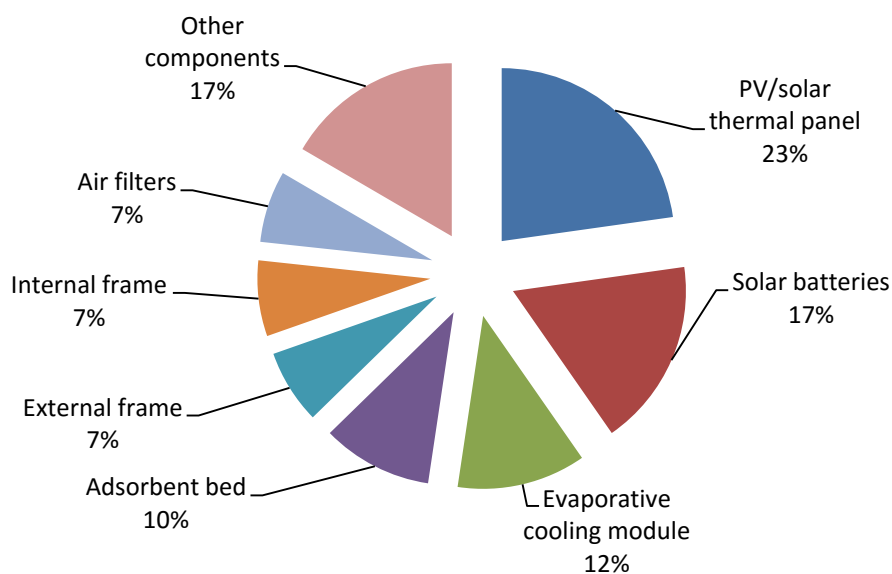


Figura 13: Incidenza di ciascun componente sul consumo di energia primaria

A seguire quindi vengono riportati alcuni dati relativi all'analisi energetica e agli impatti ambientali della FU analizzata.

Relativamente alla fase di costruzione sono stati individuati consumi di energia primaria pari a 27,2 GJ, di cui 3,15 GJ (11,6%) di provenienza da fonti rinnovabili. I componenti del sistema che hanno mostrato le incidenze maggiori sul consumo di energia primaria, relativamente alla fase di costruzione, sono in ordine: il collettore solare termico/fotovoltaico; sistema batterie fotovoltaico; scambiatore di calore evaporativo; letto adsorbente (vedi Fig.2). Gli altri componenti (filtri aria, strutture metalliche portanti e di rivestimento; valvole; tubazioni; pompe; etc...) hanno invece una incidenza inferiore al 7%.

L'incidenza di ciascun componente impiantistico sul computo totale del GWP assume valori simili a quelli riscontrati nell'analisi del consumo di energia primaria: le batterie fotovoltaiche danno il contributo maggiore in termini di impatti ambientali, ad eccezione del consumo di suolo, che è principalmente imputabile ai letti adsorbenti, e per l'ODP che è principalmente causato dal collettore solare termico/fotovoltaico.

Terminata l'analisi della fase di costruzione, la stessa procedura in termini di consumo di energia primaria e di impatto ambientale è stata utilizzata per la stima nella fase di utilizzo del sistema. Si precisa che a tal fine si è fatto riferimento al solo utilizzo nella stagione estiva, mentre non si è tenuto conto delle prestazioni e dei relativi consumi per la stagione invernale. In particolare, i calcoli effettuati si basano sui risultati derivanti dalla fase di monitoraggio durante i mesi di Luglio e Agosto 2015 per l'unità installata al dipartimento DEIM dell'Università degli Studi di Palermo. In particolare i dati di monitoraggio si riferiscono al periodo di 40 giorni già esaminato, con 12 ore di funzionamento al giorno. Le principali caratteristiche derivanti dall'analisi dei dati monitorati durante questo periodo sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 1: Performance energetiche dell'unità Freesco - Luglio e Agosto 2015

Indicatore energetico	Unità	Totale
Energia frigorifera fornita	kWh	533
Elettricità utilizzata dai componenti interni	kWh	41
EER	-	12,8
EER _{rete}	-	50,7
Consumo d'acqua	l	1151
Ore di funzionamento	h	479

Nella suddetta tabella gli indicatori EER e EER_{grid} si riferiscono all'Energy Efficiency Ratio calcolato rispettivamente sulla base dell'elettricità consumata dai componenti interni attivi (ventilatori, pompe, attuatori, etc...) e l'elettricità realmente prelevata dalla rete. In quest'ultimo caso viene quindi considerata l'autoproduzione elettrica da fotovoltaico. Questo valore è quello effettivamente utilizzato nell'analisi.

Le performance risultanti dalla fase di monitoraggio come l'energia media di raffreddamento; EER; consumo di acqua ed altri, sono stati utilizzati per estrapolare delle performance su un periodo di funzionamento stagionale nominale pari a 90 giorni, con 12 ore di funzionamento al giorno. Nei calcoli è stato assunto un periodo di vita di 15 anni.

Nella tabella 2 gli indicatori di impatto vengono mostrati sia per la fase di costruzione che per quella di utilizzo dell'unità. Questo permette di evidenziare come la fase di costruzione abbia un impatto considerevolmente maggiore rispetto a quella di utilizzo (tra 87-89% del totale).

Tabella 2: Impatti ambientali dell'unità Freesco

Indicatore di impatto	Unità	Totale	Costruzione	Utilizzo
Climate change	kg CO2 eq	1828	1595	233
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0	0	0
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	6	5	1
Acidification	molc H+ eq	13	11	1

Terrestrial eutrophication	molc N eq	19	17	2
----------------------------	-----------	----	----	---

Come mostrato nella tabella in basso, anche in termini di consumi di energia primaria si nota un comportamento simile a quello degli impatti ambientali.

Tabella 3: Consumi di energia primaria

Categoria di impatto	Total	Costruction	Usage
	MJ	MJ	MJ
Non rinnovabile, fossile	23333	20192	3141
Non rinnovabile, nucleare	4349	3879	470
Non rinnovabile, biomassa	0	0	0
Rinnovabile, biomassa	287	258	28
Rinnovabile, vento, solare, geotermico	54	43	11
Rinnovabile, idroelettrico	3149	2858	291
Totale	31171	27230	3941

Dal confronto delle performance energetiche relativamente alla fase di utilizzo tra l'unità Freesco e un generico sistema di condizionamento dell'aria (si è assunto convenzionalmente un valore di EER pari a 3), ne risulta che quest'ultimo ha un consumo di energia primaria circa 16 volte maggiore. Valori simili sono riscontrabili dal medesimo confronto fatto sugli indicatori di impatto ambientale.

Inoltre considerando l'intero consumo di energia primaria, sia nella fase di costruzione che in quella di utilizzo, e assumendo un tempo di vita del sistema Freesco pari a 15 anni, questo risulta pari a 31171 MJ corrispondente a metà dell'energia primaria consumata dall'unità di condizionamento dell'aria convenzionale nella sola fase di utilizzo.

E' interessante notare infine i risultati ottenuti dal confronto con una unità convenzionale anche in termini di consumo di acqua dovuto alla fase di utilizzo.

Apparentemente infatti l'utilizzo di un climatizzatore tradizionale non comporta nessun consumo di acqua, ma ciò non è in realtà così. Da un punto di vista generale, nel computo si deve infatti tenere conto del consumo d'acqua dovuto alla produzione di elettricità utilizzata dal sistema.

Se si considera infatti che, per la produzione di un kWh elettrico in Italia si ha un consumo medio di 23,3 litri (ECOINVENT, non considerando l'acqua impiegata per le turbine negli impianti idroelettrici), a fronte di un consumo stagionale di acqua dell'unità freesco stimato di circa 2600 litri, l'unità convenzionale ne consumerebbe più di tre volte (9200 litri) a causa del consumo notevolmente maggiore di elettricità.

1.7 Analisi economica e studio sul potenziale di diffusione della tecnologia esaminata

1.7.1 Dati di settore

Da una recente indagine statistica svolta da parte di COAER/ANIMA sul mercato dei componenti per impianti da climatizzazione, si calcola per il solo mercato italiano un fatturato di circa 1 miliardo e 100 milioni di euro per l'anno 2012 [4].

Prendendo in considerazione solo i climatizzatori d'ambiente trasferibili, i sistemi split e multisplit, i roof top canalizzabili e non, si calcola un fatturato di circa 360 milioni di euro pari al 33% del totale corrispondente ad un totale di circa 800000 pezzi venduti in un anno. All'interno di questi settori, circa l'88% delle unità vendute è rappresentato dai sistemi split con potenza < di 7kW con circa 700000 unità vendute nell'anno 2012.

Secondo quanto riportato nel report RHC Common vision 2011, il consumo di energia per scopi di raffreddamento si prevede aumenti considerevolmente nei prossimi 30 anni. D'altra parte, la direttiva europea (2010/31/EU) sui nuovi edifici manda un segnale chiaro sulla necessità di diminuire i valori di

consumo previsti. Entro il 2020 tutti gli edifici nuovi e ristrutturati dovrebbero essere vicini ad energia zero. La domanda di energia per il raffreddamento degli edifici dovrà così necessariamente diminuire. Questo significa d'altra parte che dovrà essere fatto un impiego massiccio delle energie da fonti rinnovabili, con ampie chance di sviluppo per i sistemi di solar cooling (direttiva RES HEAT, 2010).

Per ciò che riguarda il settore del SHC (*Solar Heating and Cooling*), si evidenzia la sua importanza nel quadro delle politiche europee dell'energia soprattutto in vista degli obiettivi 2020 e la presenza sul mercato anche in presenza di condizioni economiche difficili. Con quasi 2.6 GW_{th} installati nel 2011, oggi la capacità del settore in Europa è di circa 26.3 GW_{th}. Si può, pertanto, sostenere che l'importanza di tale mercato non può essere ignorata dal momento che si parla di un fatturato di quasi 2.6 miliardi di Euro nel 2011 con una industria che impiega a tempo pieno 32.000 persone (dati ESTIF).

Nel quadro descritto, il concept freescoo risponde alla citata richiesta di sistemi di condizionamento energeticamente efficienti all'interno degli edifici capaci di utilizzare energia rinnovabile ovvero "gratuita" e il più possibile svincolati dalla rete elettrica e di gas.

Nei paragrafi successivi si descrivono i risultati dello studio preliminare fatto per analizzare il potenziale di diffusione della tecnologia su base nazionale.

1.7.2 Studio del potenziale di diffusione

Per la stima del potenziale di diffusione è stata svolta innanzi tutto un'analisi dei casi in cui sarebbe potenzialmente praticabile l'installazione e delle motivazioni più frequenti che potrebbero spingere ad installare il sistema.

Per ciò che concerne l'aspetto dell'installazione del sistema devono essere considerati i seguenti aspetti:

- Il sistema va posizionato su tipologie edilizie aventi una copertura piana, terrazze, balconi o altre superfici orizzontali ben esposte alla radiazione solare;
- Nella scelta della superficie d'appoggio va considerato che il peso dell'unità è di circa 230 kg;
- Il locale da climatizzare deve trovarsi nelle vicinanze del piano di copertura;
- L'installazione del sistema prevede il passaggio di due canali dell'aria (in alternativa è possibile pensare ad un unico canale con due sezioni concentriche), la disponibilità di un punto di acqua di rete, e di un cavo per l'energia elettrica (se previsto il funzionamento diretto dalla rete);
- L'installazione in facciata risulta poco praticabile dati gli ingombri ed il peso;
- All'interno del locale da climatizzare è necessaria l'installazione di due bocchette dell'aria, una per la mandata e l'altra per la ripresa dell'aria.

In generale si può dire che i limiti all'installazione del sistema sono quelli tipici di altri sistemi solari termici come ad esempio i sistemi solari termici a circolazione naturale e serbatoio di accumulo integrato.

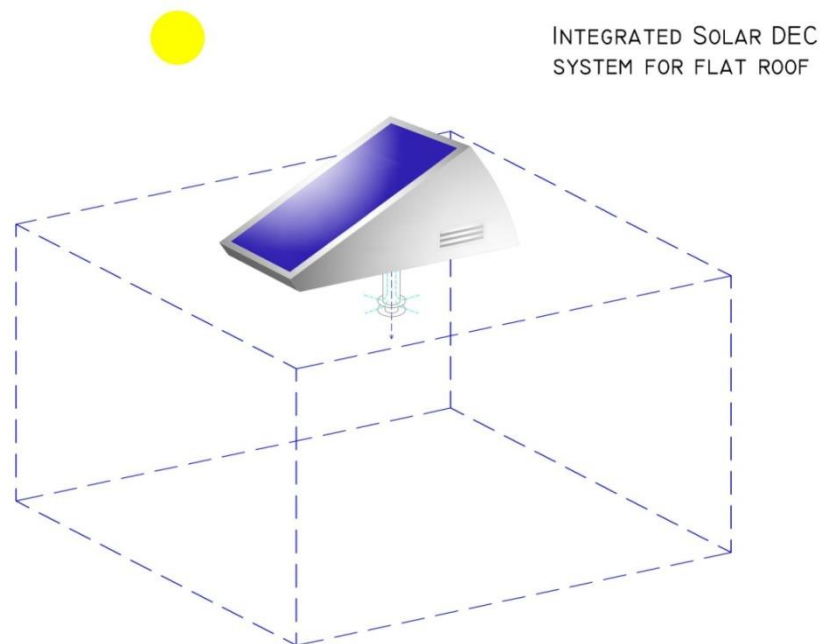


Figura 14: Schema di posizionamento dell'unità rispetto al locale da servire

I bisogni soddisfatti dal sistema possono così sintetizzarsi:

- Condizionamento degli spazi abitativi e/o lavorativi (raffreddamento, riscaldamento, deumidificazione, ricambio dell'aria);
- Efficienza energetica dovuta al minor assorbimento di potenza elettrica per climatizzare l'ambiente rispetto all'utilizzo di sistemi di climatizzazione tradizionali e a parità di fabbisogno;
- Sostanziali risparmi sui costi energetici, anche grazie alla possibilità di accesso ad incentivi nazionali e comunitari in grado di ridurre l'investimento iniziale ed i tempi di rientro;
- Drastica riduzione dell'impatto ambientale.

In termini di utenti potenzialmente interessati all'installazione del sistema sono state dunque individuate le seguenti categorie:

- 1) utenti sensibili ai temi del risparmio economico;
- 2) utenti sensibili ai temi del risparmio energetico, delle fonti rinnovabili e dell'eco-sostenibilità ambientale (*green consumers*);
- 3) utenti aventi l'esigenza di migliorare le proprie condizioni di comfort in spazi non forniti da energia elettrica o comunque con scarsa disponibilità.

Dall'analisi dei trend relativi alle abitudini d'acquisto degli italiani, sono state dedotte le seguenti percentuali relativamente agli utenti potenzialmente interessati all'acquisto rispettivamente per le tre categorie considerate, 60%, 25% e 2% per la terza categoria.

Successivamente è stata effettuata un'analisi delle tipologie edilizie sulle quali è potenzialmente praticabile l'installazione del sistema. Di seguito si riportano i risultati di alcune prime valutazioni fatte a partire dai del censimento degli edifici ISTAT 2001 contenuti nel Piano Energetico Regionale Siciliano.

In particolare, considerando i vincoli all'installazione sopra esposti, i cluster edilizi di interesse sono rappresentati da edifici delle tipologie: Monofamiliare Isolata; Bifamiliare Isolata; Plurifamiliare Isolata; Schiera Bassa; Blocco Basso; Adiacente Bassa. Restrungendo la popolazione agli edifici con altezza massima

di due piani e includendo le abitazioni poste negli ultimi piani di tutti gli altri edifici, si ottiene una percentuale pari a circa 46% delle abitazioni totali nella Regione.

Prendendo in considerazione i sistemi con potenza minore di 7kW, filtrando secondo le categorie citate ed estendendo i risultati su tutto il territorio nazionale, risulta un numero di utenti potenzialmente interessati all'installazione del sistema pari a circa 260000.

Chiaramente si tratta solo di stime preliminari che necessitano di ulteriori approfondimenti e dati provenienti da analisi di mercato dettagliate.

1.7.3 Analisi economica e confronto con sistemi di riferimento convenzionali

Nelle analisi svolte, come sistemi di riferimento di tipo convenzionale con cui attuare un confronto sono stati presi il condizionatore da parete (comunemente chiamato "split") e le unità canalizzate con recupero di calore e pompa di calore integrata.

L'analisi è stata svolta considerando un costo variabile dell'unità da un minimo di 2000€ ad un massimo di 5000€. Trattandosi infatti di un sistema ancora allo stato di prototipo, non è possibile parlare di prezzo di acquisto all'utente finale.

Per quanto riguarda i sistemi convenzionali, è stato assunto un prezzo di acquisto pari a 500€ e 3800€ rispettivamente per il condizionatore da parete e le unità canalizzate con recupero di calore e pompa di calore integrata.

E' stato assunto un costo dell'energia totale all'utente finale pari a 0,28 €/kWh e un EER medio pari a 3 e 51 rispettivamente per l'unità convenzionale e per l'unità freescocool. Quest'ultimo valore è quello attenuto dal monitoraggio dell'unità e citato nei paragrafi precedenti.

Nelle analisi si è anche considerato inoltre il caso in cui l'acquisto del sistema sia incentivato per mezzo dell'attuale conto energia termico che, per il caso specifico, prevede un incentivo di 255€/m² di superficie solare per due anni, corrispondente ad un totale di 1224€.

Il tempo di ritorno dell'investimento è stato calcolato sulla base dell'extracosto di investimento dell'unità freescocool rispetto quella convenzionale e del relativo risparmio sui costi dell'energia.

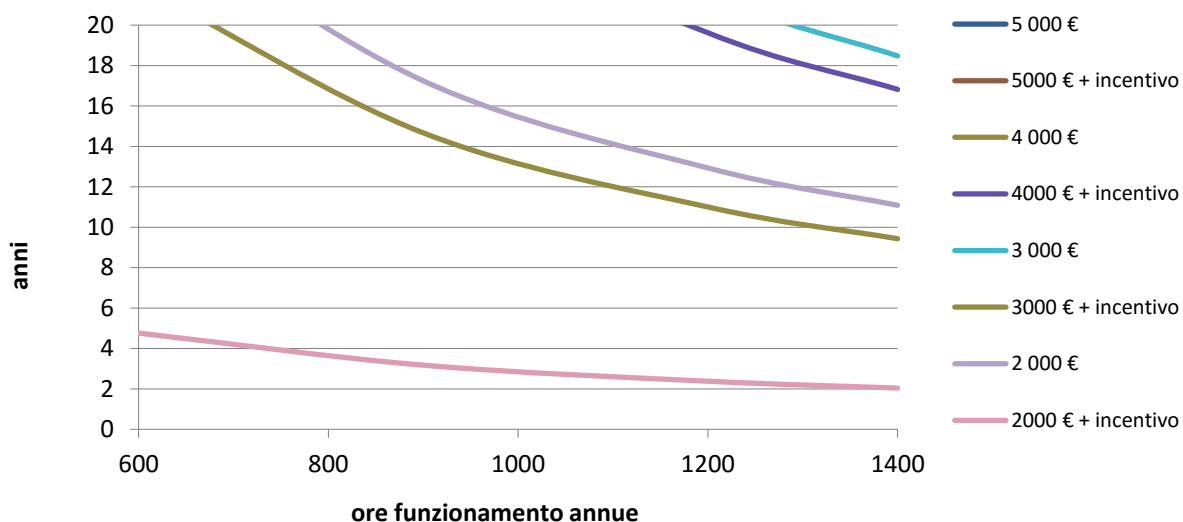


Figura 15: Confronto con sistema split - Tempo di ritorno dell'investimento calcolato sulla base dell'extracosto di installazione

Da una valutazione del tempo di ritorno dell'investimento si vede che questo risulta accettabile solo per un prezzo di acquisto dell'unità freescocool pari a 2000€ e/o in presenza di incentivi.

E' importante però far notare comunque che, mentre gli impianti "split" si limitano a fare un trattamento di aria che viene costantemente ricircolata, non attuando così alcun ricambio con aria esterna, al contrario,

l'unità freesco, così come le unità canalizzate con recupero di calore e pompa di calore integrata, garantiscono un rinnovo costante dell'aria nell'ambiente a cui sono connessi.

Risulta pertanto più corretto un confronto con le unità canalizzate con recupero di calore e pompa di calore integrata.

In questo caso, il tempo di ritorno dell'investimento risulta invece positivo solo nel caso di assenza di incentivo, mentre in tutti gli altri casi esso coincide con il momento dell'acquisto dell'unità. In molti dei casi analizzati, il costo di acquisto sarebbe infatti minore di quello dell'unità convenzionale.

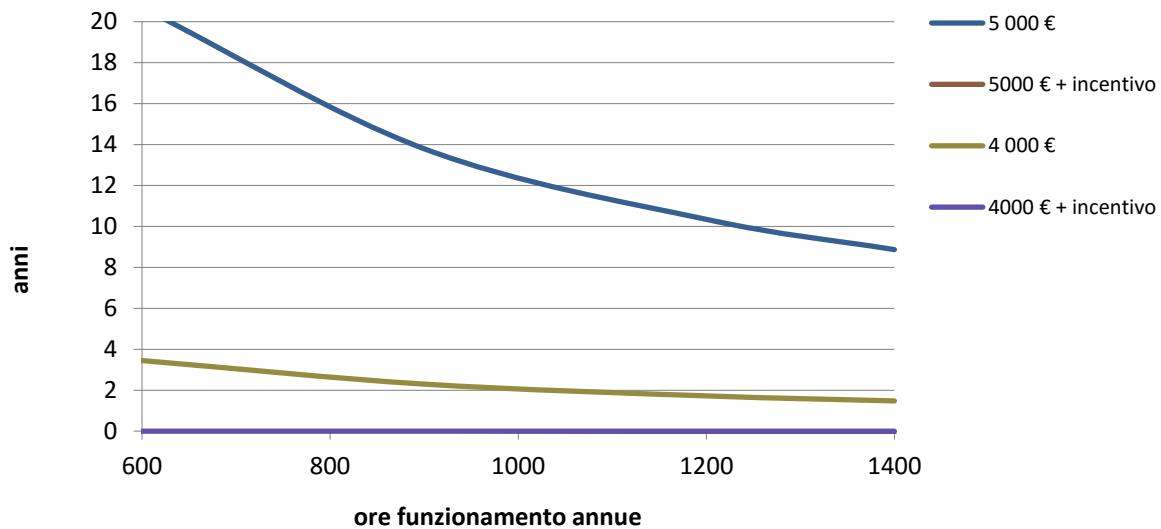


Figura 16: Confronto con sistema Unità canalizzata con recupero di calore e pompa di calore integrata - Tempo di ritorno dell'investimento calcolato sulla base dell'extracosto di installazione

Tabella 4: Tipologie di prodotti sostitutivi convenzionali

Segmento di mercato	Caratteristiche principali del tipo di applicazione	Prodotti sostitutivi convenzionali	Vantaggi della soluzione proposta	Svantaggi della soluzione proposta
Climatizzazione in ambito residenziale o commerciale leggero	<ul style="list-style-type: none"> ▪ il ricambio dell'aria solitamente non è effettuato ▪ utilizzo del dispositivo anche nelle ore serali ▪ bassa attenzione al controllo dell'umidità ▪ assenza di sistemi di canalizzazione dell'aria ▪ potenza frigorifera impegnata dell'ordine di 2-3 kW ▪ possibilità di installazione di un sistema alimentato esclusivamente da solare (solar autonomous) 	Condizionatori autonomi di piccola taglia (Split)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevata riduzione dei costi energetici ▪ Ricambio dell'aria del locale climatizzato ▪ Maggiore deumidificazione dell'aria ▪ Possibilità di operare anche solo in modalità deumidificazione ▪ Integrazione al riscaldamento nella stagione invernale ▪ Efficiente ricambio d'aria nelle stagioni intermedie ▪ Filtrazione assoluta dell'aria di rinnovo ▪ Silenziosità ▪ tempi di ritorno dell'investimento di 4-5 anni per un numero di ore di funzionamento superiore a 2500 - 3000/anno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Installazione possibile sono per alcune tipologie edilizie ▪ Costi di installazione maggiori ▪ Possibilità di qualche ora di discomfort nelle giornate molto umide e con bassa radiazione solare
Climatizzazione in ambito commerciale leggero (piccoli uffici, sale riunioni, ecc..)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ è richiesto il ricambio dell'aria ▪ utilizzo del dispositivo prevalentemente nelle ore diurne ▪ maggiore attenzione al controllo dell'umidità ▪ presenza più frequentemente di sistemi di canalizzazione dell'aria ▪ potenza frigorifera impegnata dell'ordine delle decine di kW ▪ l'installazione senza un sistema ausiliario di raffreddamento non è praticabile 	Unità di rinnovo dell'aria con recupero e pompa di calore integrata	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costi di installazione paragonabili o inferiori ▪ Elevata riduzione dei costi energetici ▪ Efficiente trattamento dell'aria esterna ▪ Integrazione al riscaldamento nella stagione invernale ▪ Efficiente ricambio d'aria nelle stagioni intermedie ▪ Filtrazione assoluta dell'aria di rinnovo ▪ Silenziosità 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Installazione possibile sono per alcune tipologie edilizie ▪ E' necessario prevedere anche un sistema ausiliario integrato

Tabella 5: Tipologie di prodotti concorrenziali nel settore solar cooling

Mercato potenziale	Caratteristiche principali del tipo di applicazione	Prodotti sostitutivi Solar cooling	Vantaggi della soluzione proposta	Svantaggi della soluzione proposta
Climatizzazione in ambito terzo settore (piccoli uffici, sale riunioni, ecc..)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ trattamento dell'aria di rinnovo richiesto ▪ utilizzo del dispositivo prevalentemente nelle ore diurne ▪ maggiore attenzione al controllo dell'umidità 	UTA alimentate da collettori termici DEC da solari	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costi di installazione molto inferiori (3 – 4 €/m3/h contro 25 - 35 €/m3/h) ▪ Prestazioni più elevate ▪ Nessun problema di stagnazione ▪ Minori costi del sistema di accumulo ▪ Minori ingombri ▪ Minore complessità impiantistica ▪ Facilità nell'installazione 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'integrazione del collettore solare al resto dei componenti DEC può risultare un inconveniente (es. quando il locale servito è lontano dal luogo in cui è posizionato il dispositivo)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ presenza più frequentemente di sistemi di canalizzazione dell'aria ▪ potenza frigorifera impegnata dell'ordine delle decine di kW ▪ l'installazione senza un sistema ausiliario di raffreddamento non è praticabile 	UTA canalizzate tradizionali accoppiate a un chiller ad ad/assorbimento di piccola taglia alimentato da collettori solari termici	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costi di installazione molto inferiori (250 €/kW contro 4000 – 5000 €/kW) ▪ Maggiore efficienza nella conversione dell'energia solare ▪ Nessun problema di stagnazione ▪ Minori costi del sistema di accumulo ▪ Minori ingombri ▪ Minore complessità impiantistica ▪ Maggiore facilità nell'installazione ▪ Filtrazione assoluta dell'aria di rinnovo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'integrazione del collettore solare al resto dei componenti DEC può risultare un inconveniente (es. quando il locale servito è lontano dal luogo in cui è posizionato il dispositivo)
Climatizzazione in ambito residenziale (Potenza richiesta 5-10 kW)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nessun trattamento dell'aria di rinnovo ▪ utilizzo del dispositivo anche nelle ore serali ▪ bassa attenzione al controllo dell'umidità ▪ assenza di sistemi di canalizzazione dell'aria ▪ possibilità di installazione di un sistema alimentato esclusivamente da solare (solar autonomous) 	Chiller ad ad/assorbimento di piccola taglia alimentato da collettori solari termici	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costi di installazione molto inferiori (250 €/kW contro 4000 – 5000 €/kW) ▪ Maggiore efficienza nella conversione dell'energia solare ▪ Nessun problema di stagnazione ▪ Minori costi del sistema di accumulo ▪ Minori ingombri ▪ Minore complessità impiantistica ▪ Maggiore facilità nell'installazione ▪ tempi di ritorno dell'investimento di 4-5 anni per un numero di ore di funzionamento superiore a 2500 - 3000/anno 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'integrazione del collettore solare al resto dei componenti DEC può risultare un inconveniente (es. quando il locale servito è lontano dal luogo in cui è posizionato il dispositivo) ▪ L'utilizzo dell'aria come fluido termovettore può causare in qualche caso opere murarie più costose

2 Conclusioni

Nell'ambito di questo lavoro sono state effettuate diverse ricerche al fine di valutare le prestazioni energetiche ed ambientali del sistema di condizionamento dell'aria solare Freesco DEC e di ottimizzarne il funzionamento. In particolare è stata effettuata una valutazione delle prestazioni energetiche sulla base di diversi mesi di monitoraggio e dei relativi impatti ambientali applicando le metodologie della LCA, sia per ciò che concerne la fase di costruzione che quella di utilizzo del sistema. Da un esame dei risultati si evince che il sistema freesco presenta notevoli vantaggi sia in termini energetici che ambientali rispetto ad un sistema di climatizzazione convenzionale, anche soltanto facendo riferimento alle prestazioni del ciclo estivo. I dati esaminati mostrano anche che il sistema può comunque essere efficacemente utilizzato nella stagione invernale per dare un contributo al riscaldamento dell'ambiente.

Va considerato che, seppure il sistema presenta un'elevata efficienza elettrica, nella sua configurazione attuale mostra dei limiti di potenza di raffreddamento che fanno sì che non possano essere raggiunte sempre le condizioni desiderate in immissione. Uno dei limiti riscontrati è legato al calore solare a disposizione che può essere fornito in certe situazioni per la rigenerazione del materiale essiccante e di conseguenza per la deumidificazione dell'aria.

Infine dallo studio preliminare svolto sul potenziale di diffusione è risultato che il numero di installazioni possibili sul territorio italiano è notevole, seppure devono essere considerati i limiti che caratterizzano l'installazione del sistema.

L'analisi economica mostra infine che la diffusione del sistema dipende essenzialmente dal prezzo di acquisto, dalla presenza di incentivi ma in particolare da quale sistema convenzionale di riferimento si prende in considerazione per il confronto.

3 Riferimenti bibliografici

- [1] M. Beccali, P. Finocchiaro, Valerio Lo Brano, Edoardo Moreci *"Prototipo di condizionatore d'aria compatto solar dec, sistema freesco residential: test funzionali"* Report Ricerca Sistema Elettrico relativo al Progetto *"Utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione"* (Piano Annuale di Realizzazione 2013)
- [2] Finocchiaro P., Beccali M., Calabrese A., Moreci E. Second generation of freesco Solar DEC prototypes for residential applications SHC 2014 Energy Procedia 2015
- [3] Finocchiaro P, Beccali M, Gentile V. Experimental investigation of adsorption performances of an heat exchanger packed with silica gel for application in solar desiccant cooling systems. Proceedings of OTTI 5th Solar Air-Conditioning Conference, Black Forest: 25 – 27 Sept 2013, p. 210-215
- [4] Ufficio studi Coaer/Anima *"Indagine statistica sul mercato dei componenti per impianti di condizionamento dell'aria"* Marzo 2013
- [5] M. Citterio *"Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati"* Report Ricerca Sistema Elettrico relativo al Progetto *"Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione"* Maggio 2009

4 Appendice 1: Attività svolte nell'ambito di Task IEA Solar Heating and Cooling Programme.

IEA SHC Task 48 “Quality assurance and support measures for Solar Cooling”

I lavori del task 48 si sono conclusi ad Aprile 2015. Il meeting finale si è svolto il 23-25 Marzo 2015 presso Sino-Italian Green Energy Lab (GEL) nel campus della Shanghai Jiao Tong University

Il lavoro ha riguardato prevalentemente lo svolgimento delle attività del Subtask A2 “Life cycle analysis at component level” e Subtask B3 “Life cycle analysis at system level”, di cui UNIPA è stato leader.

La Subtask A2 ha avuto come obiettivo l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA) per la valutazione delle prestazioni energetico-ambientali di componenti dei sistemi di solar heating and cooling.

In dettaglio, nel corso dell'intero task, è stato svolto uno studio di LCA per il chiller Pink PC19 e sono stati aggiornati gli inventari di ciclo di vita, già realizzati nell'ambito della Task 38 dell'IEA, di due chiller ad assorbimento (PINK PSC-10 con H₂O/NH₃ e SorTech AG ACS 08 con H₂O/Silica Gel) e di altri componenti dell'impianto di solar heating and cooling (ad es. collettori solari termici, pompe, caldaia a gas, ecc.).

I risultati ottenuti sono stati utilizzati per la compilazione di schede di sintesi che hanno consentito di realizzare un database di inventari di ciclo di vita e di impatti energetico-ambientali di materiali e componenti dei sistemi di solar heating and cooling.

La Subtask B ha avuto come obiettivo lo sviluppo di uno strumento di calcolo per LCA da utilizzare per la stima delle prestazioni energetico-ambientali e di indici di payback energetico-ambientali di differenti sistemi di solar heating and cooling.

Il tool è stato sviluppato in formato xls, contiene i risultati degli studi di LCA sviluppati nell'ambito della Task 38 e della Task 48 - Subtask A2 e rappresenta uno strumento utile e di semplice utilizzo per lo sviluppo di studi di LCA semplificati applicati ad impianti di solar heating and cooling localizzati in differenti contesti geografici.

In particolare, il tool consente di calcolare i seguenti indici di prestazione energetico-ambientale e di payback:

- Global warming potential (GWP);
- Primary energy consumption (PE);
- Energy payback time (EPT);
- GWP payback time (GWP-PT);
- Energy return ratio (ERR).

Inoltre, è possibile valutare:

- Le fasi del ciclo di vita del sistema di solar heating and cooling responsabili dei maggiori impatti energetico-ambientali;
- Per la fase di produzione del sistema, i componenti responsabili dei maggiori impatti energetico-ambientali;
- Gli impatti energetico-ambientali di un sistema convenzionale che svolge la stessa funzione del sistema di solar heating and cooling;
- L'impatto evitato grazie all'utilizzo del sistema di solar heating and cooling in sostituzione di un sistema convenzionale.

Il tool è disponibile online sul sito del Task 48 (<http://task48.iea-shc.org/tools>), insieme a quattro esempi di applicazione. Esso è corredato di una dichiarazione di limitazione di responsabilità sul suo utilizzo, e può essere utilizzato sia da utenti esperti nel campo della LCA sia da utenti non esperti.

Il tool LCA è stato presentato al meeting del Task 48 tenutosi a Shanghai (Cina) dal 23 al 27 marzo 2015. Inoltre, al fine di divulgare il tool, è stato redatto un articolo che sarà pubblicato sugli atti della Solar Air Conditioning Conference che si terrà all'Aeroporto di Roma Fiumicino il 24 e 25 settembre 2015, ed è stato inviato un abstract a SHC 2015 – International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry che si terrà a Istanbul (Turchia) dal 2 al 4 dicembre 2015.

IEA SHC Task 53 "New generation solar cooling & heating systems"

I risultati del IEA SHC Task 38 Solar Air-Conditioning and Refrigeration e dell'attuale IEA SHC Task 48 Quality Assurance and support Measures for Solar Cooling systems hanno mostrato da una parte un grande potenziale della tecnologia per il condizionamento degli edifici, specie nelle regioni calde e soleggiate. D'altra parte hanno confermato che è necessario ulteriore lavoro per raggiungere una competitività economica usando non solo la fonte solare termica ma anche quella fotovoltaica. Un forte interesse verso una nuova generazione di sistemi di solar cooling associati alla generazione da fotovoltaico deriva dalla notevole espansione di quest'ultima tecnologia. L'accoppiamento della tecnologia PV a quella delle macchine frigo a compressione potrebbe portare a significative riduzioni dei costi dei sistemi di solar cooling. Tuttavia questa reale integrazione è ancora ai primi passi.

Sono inoltre di particolare interesse i sistemi cosiddetti ibridi in cui la fonte solare è utilizzata sia termicamente che elettricamente.

Il task ha quindi lo scopo di:

- analizzare l'interesse verso una nuova generazione di solar cooling and heating "concepts" (sia PV, che termici che ibridi), selezionare le migliori soluzioni che portino a sistemi altamente affidabili, durevoli, efficienti e robusti
- contribuire all'ingresso nel mercato di una nuova generazione di sistemi e di identificare i mercati più promettenti in termini di competitività del costo dell'energia elettrica.

Il gruppo DEIM dell'università di Palermo ha in carico la leadership dell'attività A5: LCA and techno-eco comparison between reference and new systems.

Questa attività si concentra sul confronto tecnico-economico e ambientale fra tutti i sistemi studiati nell'ambito del subtask A e dei sistemi di riferimento.

Con riferimento al confronto ambientale, questo sarà effettuato con l'applicazione della metodologia LCA. In dettaglio, qualora vi sarà la disponibilità di dati saranno effettuati degli studi dei sistemi di solar heating and cooling esaminati nell'ambito del sub task A. Al fine di collezionare i dati necessari ad effettuare la LCA è stato predisposto un format di raccolta dati in accordo alle norme UNI EN ISO 14040, UNI EN ISO 14044, e UNI EN ISO 15804.

Allo stato attuale, sono in corso di svolgimento gli studi di LCA di un'unità di trattamento aria e del sistema FREESCOO, che è un sistema innovativo e compatto sistema di climatizzazione alimentato ad energia solare, con funzioni di deumidificazione, raffreddamento ed integrazione al riscaldamento, per applicazione nel settore della climatizzazione degli edifici in ambito residenziale e commerciale.

Gli studi sviluppati saranno utilizzati per aggiornare il tool LCA realizzato nell'ambito del Task 48.

Inoltre, sarà sviluppata un'analisi di studi di letteratura sugli impianti di solar heating and cooling, che saranno sintetizzati tramite l'utilizzo di un format già sviluppato nell'ambito del Task 38.

Inoltre, nell'ambito del subtask A saranno definiti degli indicatori di prestazione dei sistemi in esame, che saranno calcolati e selezionati dalla letteratura e dalla esperienza pratica degli esperti del Task e dai players industriali.

Un primo milestone report "M-A5 LCA and techno-eco comparison between reference and new systems" è stato pubblicato e approvato.

Attualmente è in corso di svolgimento un'analisi delle etichette ambientali che sono state sviluppate a livello europeo, al fine di individuare gli indicatori ambientali per la descrizione delle prestazioni dei sistemi in esame. Saranno inoltre definiti indicatori sia qualitativi che quantitativi che descrivano le caratteristiche tecniche, economiche ed energetiche dei suddetti sistemi. Infine, al fine di individuare un set di indicatori anche in accordo ai tre pilastri della sostenibilità, saranno definiti degli indicatori di tipo sociale.

UNIPA sarà inoltre coinvolta nelle attività:

C2: System description for field test and demo project;

C3: Monitoring data analysis on technical issues & on performances.

Task 42-Annex 24 "Compact Thermal Energy Storage: Material Development and System Integration"

Il gruppo di lavoro del DEIM dell'Università degli studi di Palermo che partecipa ai lavori del Task 42 IEA SHC, è costituito dal Prof. Ing. Valerio Lo Brano responsabile scientifico della ricerca, Prof. Marco Beccali, Prof. Maurizio Cellura e Ing. Giuseppina Ciulla; la partecipazione ha avuto come obiettivo lo sviluppo di algoritmi e strumenti per migliorare le prestazioni di pannelli fotovoltaici mediante l'utilizzo di sistemi di accumulo termico. Per tale ragione il gruppo di ricerca del DEIM ha partecipato a diversi Expert meeting della attività della TASK-42.

L'ultimo anno ha previsto lo studio e l'approfondimento di alcune soluzioni analitiche largamente impiegate nella bibliografia di settore al fine di migliorare le prestazioni dell'algoritmo alle differenze finite presentato nelle precedenti riunioni.

L'algoritmo in oggetto è infatti capace di modellizzare il flusso termico dinamico attraverso una parete multistrato in presenza di materiale cambiamento di fase, sia mediante metodo implicito che mediante metodo esplicito ed è stato oggetto di numerose pubblicazioni scientifiche.

In generale, gli studi basati sull'utilizzo del PCM come sistema di accumulo termico nei componenti edilizi e nei sistemi fotovoltaici hanno comunque riscontrato basse prestazioni energetiche legate principalmente alla bassa conduttività termica propria dei PCM puri (es. la paraffina ha una conduttività di circa 0,2 W/mK). Sempre nel campo dell'accumulo termico si è inoltre iniziato a studiare l'utilizzo di olio vegetale esausto come sistema di accumulo termico nei collettori solari termici. L'olio esausto, se disperso nell'ambiente, può essere molto inquinante ma se recuperato correttamente può essere fonte di vantaggi economici e ambientali e promuovere sistemi innovativi per produrre energia termica ed elettrica.

Per tale ragione il gruppo del DEIM ha deciso di investigare un sistema di accumulo termico innovativo basato sull'utilizzo di olio vegetale esausto. L'idea prevede lo studio numerico del bilancio termico del sistema collettore solare-olio esausto e la progettazione di una test facility da installare presso il laboratorio solare del DEIM.

Ci si propone di presentare tale idea alla prossima riunione 14th Experts Meeting che si terrà a Zaragoza, Spagna dal 5 al 7 Ottobre 2015.

5 Appendice 2: curriculum del responsabile scientifico.

Marco Beccali è Professore Associato Confermato di Fisica Tecnica Ambientale e Fonti Rinnovabili presso la Scuola Politecnica dell'Università degli Studi di Palermo. Svolge attività di ricerca presso il Dipartimento di Energia, ingegneria dell'Informazione e modelli Matematici (DEIM) della stessa Università.

I suoi principali campi di ricerca sono: la pianificazione energetica a scala urbana, la termofisica dell'edificio, l'uso razionale dell'energia negli edifici, le tecnologie per l'impiego delle fonti energetiche rinnovabili, il ciclo di vita dei materiali dei sistemi tecnologici dell'edificio e degli impianti, le tecnologie di Solar Cooling.

Ha partecipato a diversi progetti di ricerca finanziati dalla Unione Europea, dal Governo Italiano da aziende private. Ha collaborato e coordinato numerosi studi sulle problematiche dell'uso razionale dell'energia, progettazioni nell'ambito ambientale ed energetico, Piani Energetici comunali e regionali fra cui Roma (Ambiente Italia, 1995), Palermo (Ambiente Italia, 1997), Lombardia (Lombardia Risorse, 1993) e Sicilia (Università di Palermo, 2008). E' stato responsabile del settore "Energie Rinnovabili" per la redazione della proposta di Piano Energetico Regionale coordinata dal Dipartimento Dream (Università di Palermo) per conto del Governo della Regione Siciliana.

E' membro dal 2001 di diversi gruppi di esperti dell'International Energy Agency (Solar Heating and Cooling Programme): Task 48 "Quality assurance and support measures for Solar Cooling", Task 38 "Solar Air-Conditioning of buildings", Task 25 "Solar Air Conditioning and Refrigeration", Task 42 "Solar Heat Pumps"., Task 53 "New generation of solar cooling systems).

E' autore di 4 libri in italiano e di oltre 170 pubblicazioni scientifiche di cui 40 papers indicizzati nel data base Scopus con 986 citazioni e h-index 17.