



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

*Nicolandrea Calabrese, Raniero Trinchieri*

Report RdS/2011/251

POMPA DI CALORE A CO<sub>2</sub> (R744)

Nicolandrea Calabrese, Raniero Trinchieri (ENEA)

Luglio 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

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

Progetto 3.4: 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><b>Utilizzo dell'energia elettrica e solare per condizionamento estivo</b> <b>Attività A. Sperimentazione e qualificazione di componenti e sistemi</b></p>
---

POMPA DI CALORE A CO<sub>2</sub> (R744)

**RAPPORTO FINALE DELL' ATTIVITÀ**

Unità emittente: UTTEI-TERM

Classificazione:

Distribuzione: USO PUBBLICO

Data: 31 luglio 2011

Elaborato: Nicolandrea Calabrese, Raniero Trinchieri

Verificato: Nicolandrea Calabrese

Approvato: Gino Boccardi

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1 Obiettivo dell'Attività.....	4
2. L'ANIDRIDE CARBONICA COME FLUIDO REFRIGERANTE .....	4
3. LE POMPE DI CALORE A CO <sub>2</sub> PER LA CLIMATIZZAZIONE E LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA .....	6
4. SISTEMI AVANZATI DI POMPE DI CALORE ACQUA-ACQUA A CO <sub>2</sub> .....	12
5. PROGETTAZIONE E DESCRIZIONE FACILITY SPERIMENTALE ENEA .....	16
6. COMPONENTI PRINCIPALI DELL'IMPIANTO .....	19
6.1. Pompa di calore acqua-acqua a CO <sub>2</sub> .....	19
6.2. UTA (Unità di trattamento aria).....	22
6.3. Pompe di circolazione .....	25
6.4. Valvole deviatrici a tre vie.....	28
6.5. Dry - Cooler .....	28
6.6. Serbatoi inerziali .....	29
6.7. Locale container casa intelligente.....	29
6.8. Collettori solari (sola predisposizione).....	31
7. STRUMENTAZIONE E SISTEMA ACQUISIZIONE DATI, CONTROLLO E GESTIONE IMPIANTO .....	31
7.1 Software di regolazione e gestione digitale EINSTEIN .....	36
8. CONCLUSIONI.....	40

## 1. INTRODUZIONE

Il principale obiettivo del progetto “Studi e valutazioni sull’uso razionale dell’energia: Utilizzo dell’energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva” che si sta svolgendo nell’ambito del programma di Ricerca di Sistema Elettrico in collaborazione con il Ministero dello Sviluppo Economico è di definire e sviluppare un sistema di produzione integrato che sia robusto, competitivo e di riferimento per il “sistema Italia”, in grado di assolvere l’intero compito della climatizzazione estiva e invernale. Il progetto ha inoltre l’obiettivo di comprendere in quali condizioni climatiche, con quali tecnologie e con quale politica di supporto possa essere avviata un’azione che porti a una diffusione di massa di sistemi di climatizzazione basati sull’energia solare o comunque assistiti da fonti rinnovabili.

Per assolvere a tali richieste, la ricerca si sta concentrando su soluzioni caratterizzate essenzialmente dalle seguenti caratteristiche:

1. Sfruttamento di fonti rinnovabili (aria, terra, sole) per la produzione di energia elettrica da utilizzarsi per l’alimentazione di macchine per la climatizzazione
2. Utilizzo di fluidi frigoriferi non dannosi per l’ambiente (CO<sub>2</sub>) in macchine termiche a compressione di vapore in luogo di quelli attualmente utilizzati;
3. Realizzazione di sistemi “globali” capaci di provvedere autonomamente al riscaldamento degli ambienti in inverno, al raffrescamento in estate e, simultaneamente, alla produzione di acqua calda sanitaria nell’arco dell’intero anno solare.

Sotto il profilo più strettamente ambientale, la sostituzione dei fluidi frigoriferi attualmente utilizzati con fluidi naturali (CO<sub>2</sub>) consentirebbe di ridurre o addirittura annullare gli effetti negativi sul buco dell’ozono in caso di dispersione del fluido frigorifero nell’atmosfera.

Un importante sistema che si sta imponendo all’attenzione degli specialisti del settore è l’utilizzo di pompe di calore utilizzanti la CO<sub>2</sub> (R744), quindi un fluido naturale, come fluido refrigerante in grado di produrre e provvedere alla produzione di acqua ad alta temperatura e di acqua refrigerata, nonché alla climatizzazione degli ambienti.

Il tipo di refrigerante utilizzato consente il funzionamento della macchina anche a temperature esterne prossime a -25°C e per questo sono specifiche per essere utilizzate in zone climatiche “rigide”, dove le tradizionali pompe di calore hanno il problema dello sbrinamento delle batterie esterne.

La pompa di calore può raggiungere COP di circa 3.5-4: il rendimento può essere più elevato se abbinata a dei pannelli solari di integrazione del tipo a tubi evacuati.

Questa tecnologia può essere quindi una valida alternativa alle caldaie termiche attualmente utilizzate, specie nelle zone scarsamente servite da gas di città.

L'ottimale sfruttamento delle pompe di calore a CO<sub>2</sub> per fini sia di climatizzazione che di produzione di acqua calda sanitaria, richiede comunque una serie di ottimizzazioni, legate alla massimizzazione del rendimento della pompa di calore in ogni condizione operativa, alla gestione dei flussi termici, alla definizione di componentistica efficiente ed affidabile ed infine al perfezionamento dei sistemi di controllo e supervisione.

### **1.1 Obiettivo dell'Attività**

Analisi sperimentale di una pompa di calore che impiega come fluido refrigerante la CO<sub>2</sub> (R744): l'impiego di una pompa di calore a CO<sub>2</sub> consente la produzione di acqua calda fino alla temperatura massima di 65°C anche qualora la temperatura esterna fosse prossima ai -25°C. L'attività si è svolta dapprima effettuando la prova dei vari componenti costituenti la pompa di calore e, successivamente, realizzando un prototipo ottimizzato per garantire il riscaldamento, il raffrescamento degli ambienti ed anche la produzione di acqua calda sanitaria. E' stata inoltre allestita una facility per la caratterizzazione della pompa di calore a servizio di un edificio sperimentale, altamente strumentato e con utenza simulata. La realizzazione della facility per la caratterizzazione del sistema di climatizzazione abbinato ad un prototipo di una pompa di calore acqua-acqua ha come finalità la verifica tecnica ed economica della convenienza di questa soluzione impiantistica.

## **2. L'ANIDRIDE CARBONICA COME FLUIDO REFRIGERANTE**

La refrigerazione per usi civili e industriali, e la climatizzazione degli ambienti forniscono un notevole contributo sia in termini di consumi energetici che di impatto ambientale, con effetti negativi sul cambiamento climatico del pianeta. In particolare, l'esercizio di tali impianti contribuisce all'aumento dell'effetto serra e all'assottigliamento dell'ozono stratosferico dovuto ad alcuni fluidi refrigeranti molto diffusi nei circuiti frigoriferi.

Da qualche anno, tuttavia, è stata raggiunta l'evidenza scientifica degli effetti nocivi che derivano dall'immissione nell'atmosfera dei CFC (clorofluorocarburi) e, anche se in misura

molto più contenuta, degli HCFC (idroclofluorocarburi). L'incompatibilità ambientale di queste sostanze si manifesta sotto un duplice aspetto: la distruzione dell'ozono stratosferico e il progressivo riscaldamento del clima del pianeta per effetto serra.

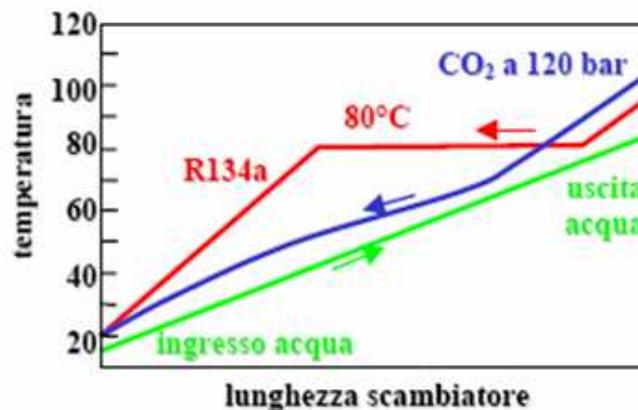
Nella constatazione che l'azione distruttiva sull'ozono stratosferico da parte dei clorofluorocarburi e degli idroclofluorocarburi è causata dalla presenza nelle loro molecole di atomi di cloro, sono stati sintetizzati e immessi nel mercato, a partire dagli anni '90, fluidi sintetici sostitutivi privi di atomi di cloro appartenenti alla seguente classe di composti degli idrofluorocarburi (HFC) in cui gli atomi di idrogeno dell'idrocarburo di partenza sono sostituiti solo parzialmente ed esclusivamente da atomi di fluoro.

Il problema però della sostituzione definitiva dei CFC e degli HCFC non è risolto completamente dall'introduzione degli HFC; infatti, sebbene la loro struttura chimica non presenta atomi di cloro, il che li rende innocui verso l'ozono stratosferico, essi contribuiscono in maniera significativa all'incremento dell'effetto serra essendo caratterizzati da un potenziale di riscaldamento globale (GWP) elevato. Il GWP (Global Warming Potential) rappresenta, per un certo orizzonte temporale, la massa in kg di anidride carbonica equivalente, in termini di effetto serra, ad 1 kg del refrigerante in questione. Per tale ragione, già sono state adottate misure atte a limitarne l'uso.

In conclusione possiamo affermare che i vantaggi e le buone proprietà legate ai CFC, agli HCFC e agli HFC come fluidi refrigeranti si scontrano con le conseguenze negative derivanti dal loro utilizzo (negli impianti di refrigerazione) nei confronti dell'ambiente rendendoli incompatibili sia perché assottigliano sempre di più la fascia di ozono stratosferico, sia perché contribuiscono all'incremento della temperatura del pianeta per effetto serra. La problematica della sostituzione dei fluidi refrigeranti clorurati negli impianti frigoriferi è dunque al centro dell'attenzione della comunità scientifica nazionale ed internazionale. Nel campo della refrigerazione si sta utilizzando sempre di più il fluido CO<sub>2</sub> (R744) come soluzione radicale per eliminare l'effetto serra causato da idrocarburi alogenati appartenenti alla categoria degli HFC. Il GWP della CO<sub>2</sub> è effettivamente molto basso se confrontato con gli HFC (1 su diverse migliaia); inoltre la CO<sub>2</sub> non presenta problemi di tossicità, infiammabilità o impatto sullo strato di ozono.

### 3. LE POMPE DI CALORE A CO<sub>2</sub> PER LA CLIMATIZZAZIONE E LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

Al fine di sfruttare l'alta temperatura di compressione e le condizioni di funzionamento transcritiche al gas-cooler, è conveniente utilizzare la CO<sub>2</sub> nelle pompe di calore per la produzione di acqua ad alta temperatura. Nell'esempio riportato in Figura 1, si osserva come, sfruttando il raffreddamento da 100 °C a 20°C, a 120 bar, subito dall'anidride carbonica nel gas cooler, è possibile riscaldare l'acqua sanitaria da 15 °C a 80 °C mediante uno scambiatore di calore in controcorrente in maniera molto efficiente. Se, infatti, per ottenere lo stesso obiettivo, a parità di superficie di scambio termico, si decidesse di utilizzare una pompa di calore ad R134a, si verrebbe ad avere la condensazione dell'R134a a 80 °C e, quindi, un coefficiente di scambio termico nettamente più modesto.



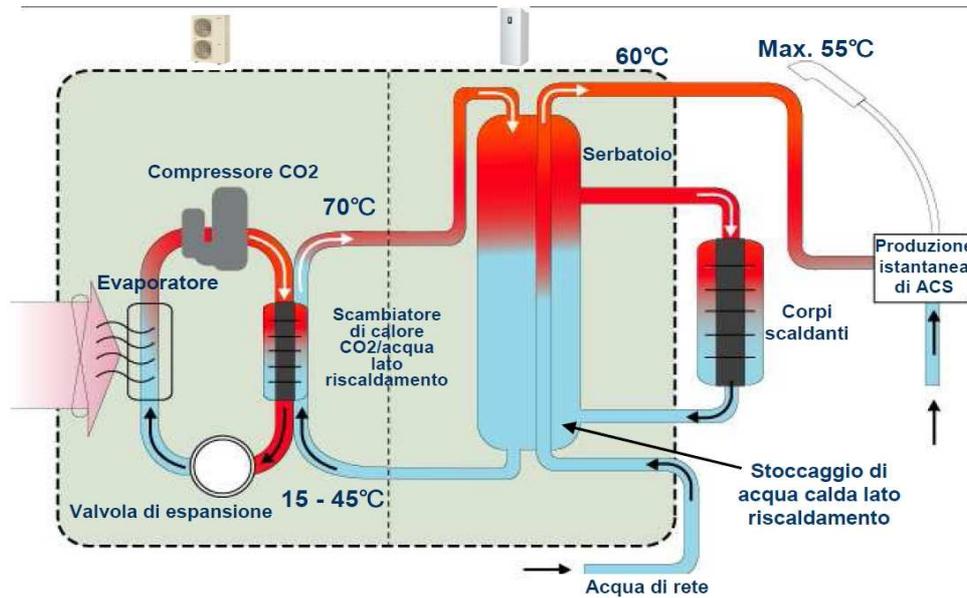
**Figura 1:** Riscaldamento dell'acqua sanitaria da 15 °C a 80 °C mediante una pompa di calore a CO<sub>2</sub>.

Il vantaggio di avere profili di temperatura bene accordati tra i due fluidi lungo lo scambiatore si traduce in minori perdite di exergia nello scambio termico, che sono da ritenersi approssimativamente proporzionali, a parità di calore scambiato, alla differenza di temperatura tra i due fluidi. La minore perdita exergetica può costituire un fattore decisivo per assicurare alla CO<sub>2</sub> rendimenti migliori rispetto a quelli realizzati da impianti operanti con fluidi tradizionali. Il COP del ciclo è inoltre scarsamente influenzato dalla temperatura di evaporazione, diminuendo molto poco anche con temperature esterne assai basse. In condizioni normali di funzionamento il ciclo sarà tarato al valore ottimale di pressione al gas-cooler, mentre in condizioni estreme si opererà un aumento di pressione incrementando la

resa termica ed evitando l'utilizzo di resistenze elettriche supplementari che penalizzano notevolmente l'impianto.

Da quanto visto si può capire come il ciclo transcritico ad anidride carbonica si adatti molto bene al riscaldamento dell'acqua sanitaria. Se confrontato con i riscaldatori elettrici, questo sistema può dare un risparmio energetico che raggiunge il 75%. L'elevata efficienza di questo sistema è da ascrivere essenzialmente all'ottimo adattamento delle caratteristiche del ciclo all'applicazione, all'efficiente processo di compressione ed alle buone caratteristiche di scambio termico.

Per mezzo delle pompe di calore ad anidride carbonica si può produrre acqua calda fino a 90°C ed oltre, temperature difficilmente raggiungibili con i sistemi tradizionali (pompe di calore con fluidi alogenati in ciclo subcritico). La macchina, per le caratteristiche proprie della CO<sub>2</sub>, risulta inoltre molto compatta. Poiché il 20% circa della richiesta di energia in ambito residenziale (impianti di piccola e grossa taglia) nei paesi industrializzati è dovuta proprio al riscaldamento di acqua sanitaria e poiché la domanda è in continuo aumento, l'utilizzo di pompe di calore a CO<sub>2</sub> si prospetta come una buonissima alternativa ai sistemi tradizionali. Sul mercato giapponese esistono già diversi prodotti di pompa di calore ad anidride carbonica. Un esempio è quello prodotto da Sanyo e la figura seguente mostra un suo schema di funzionamento: in questo caso, l'acqua calda, prodotta e stoccata in un serbatoio di accumulo, può essere successivamente utilizzata sia a fini di riscaldamento degli ambienti (per mezzo di corpi scaldanti ad elevata efficienza) che di produzione di acqua calda sanitaria.



**Figura 2:** schema di funzionamento pompa di calore a CO<sub>2</sub> della Sanyo

La Daikin ha invece proposto una pompa di calore caratterizzata da un particolare tipo di gas-cooler, progettato per incrementare significativamente lo scambio termico tra refrigerante e acqua, in particolare il coefficiente di adduzione lato acqua, aumentando la turbolenza del flusso (fig.3).

## Technologies

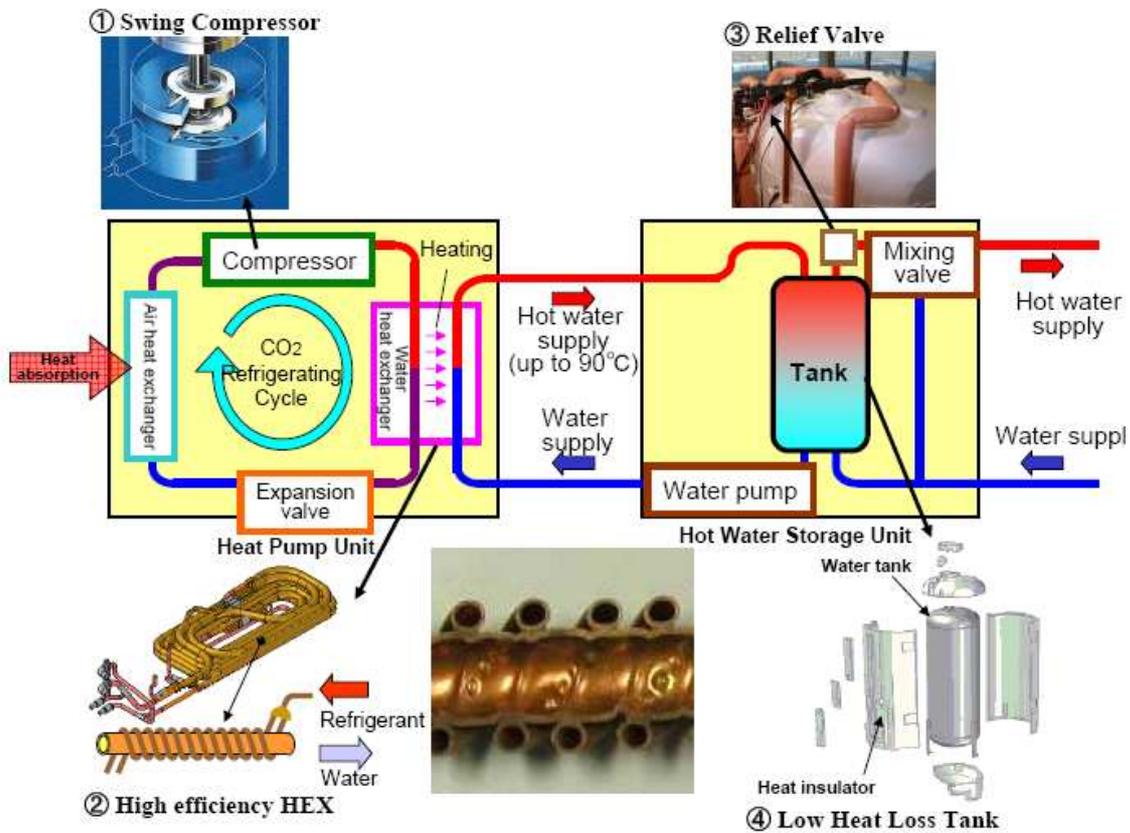


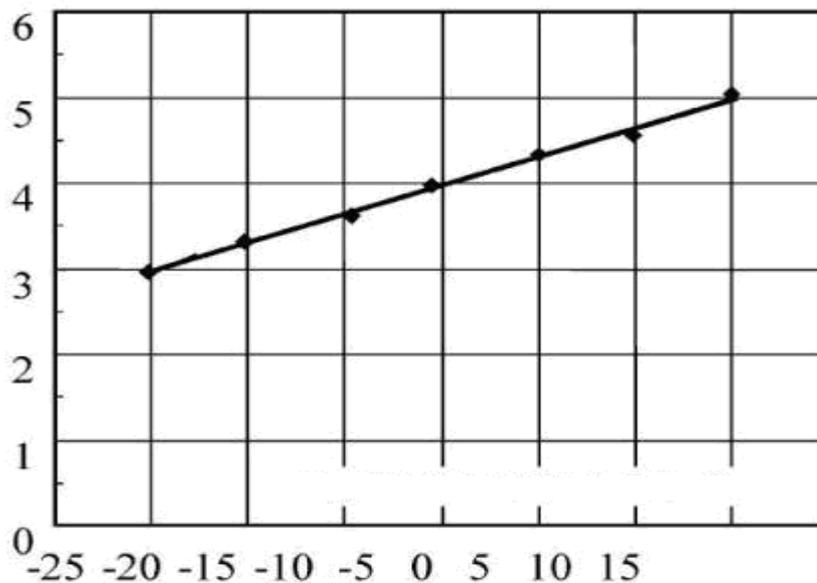
Figura 3: schema di funzionamento pompa di calore a CO<sub>2</sub> della Daikin

Studi sul riscaldamento dell'acqua sanitaria mediante pompe di calore a CO<sub>2</sub> furono in realtà già intrapresi dalla metà degli anni '80 al laboratorio SINTEF/NTNU e un prototipo di potenza pari a 50 kW fu completato nel 1996 (Figura 4). Tale sistema fu incluso nel progetto "COHEPS" dell'Unione Europea dal 1996 al 1998, dove gruppi di ricerca di importanti università in Austria (Graz University of Technology), Norvegia (laboratorio SINTEF/NTNU), Germania (University of Hanover, Essen University) e Belgio (Catholic University of Leuven) insieme con i loro soci industriali studiarono vari aspetti di numerose applicazioni delle pompe di calore a CO<sub>2</sub>.



**Figura 4:** Prototipo di pompa di calore a CO<sub>2</sub> da 50 kW

I risultati ottenuti su questo prototipo hanno evidenziato la possibilità di ottenere un COP maggiore di 4 anche per una temperatura di ingresso dell'acqua fredda di 10 °C e una temperatura di uscita dell'acqua calda di 60 °C (Figura 5).



**Figura 5:** COP in funzione della temperatura di evaporazione per una temperatura di ingresso acqua di 10 °C

Un altro impianto sperimentale da 25 kW è stato installato in una fabbrica di trattamento del cibo a Larvik (Norvegia) nel 1999, usando il calore recuperato da un impianto di refrigerazione

industriale ad ammoniaca come fonte calda. Le prestazioni ottenute hanno superato le aspettative e tale impianto si è dimostrato un proficuo investimento per la società. Numerose aziende giapponesi hanno immesso sul mercato pompe di calore a CO<sub>2</sub> negli anni 2001-2002. Tali macchine risultavano caratterizzate da valori della potenza di riscaldamento intorno a 4.5 e del COP di circa 3. Questi sistemi riscaldavano l'acqua nelle ore notturne (in cui l'energia elettrica è disponibile ad un costo minore rispetto al giorno) e immagazzinandola in grossi serbatoi per poterla poi utilizzare per le applicazioni diurne.

La figura 6 mostra una interessante possibilità di abbinamento delle pompe di calore ad un'altra tecnologia legata alle fonti rinnovabili: si tratta di un progetto di impianto di climatizzazione con pannelli fotovoltaici destinati alla produzione di energia per l'alimentazione elettrica della pompa di calore ad anidride carbonica.

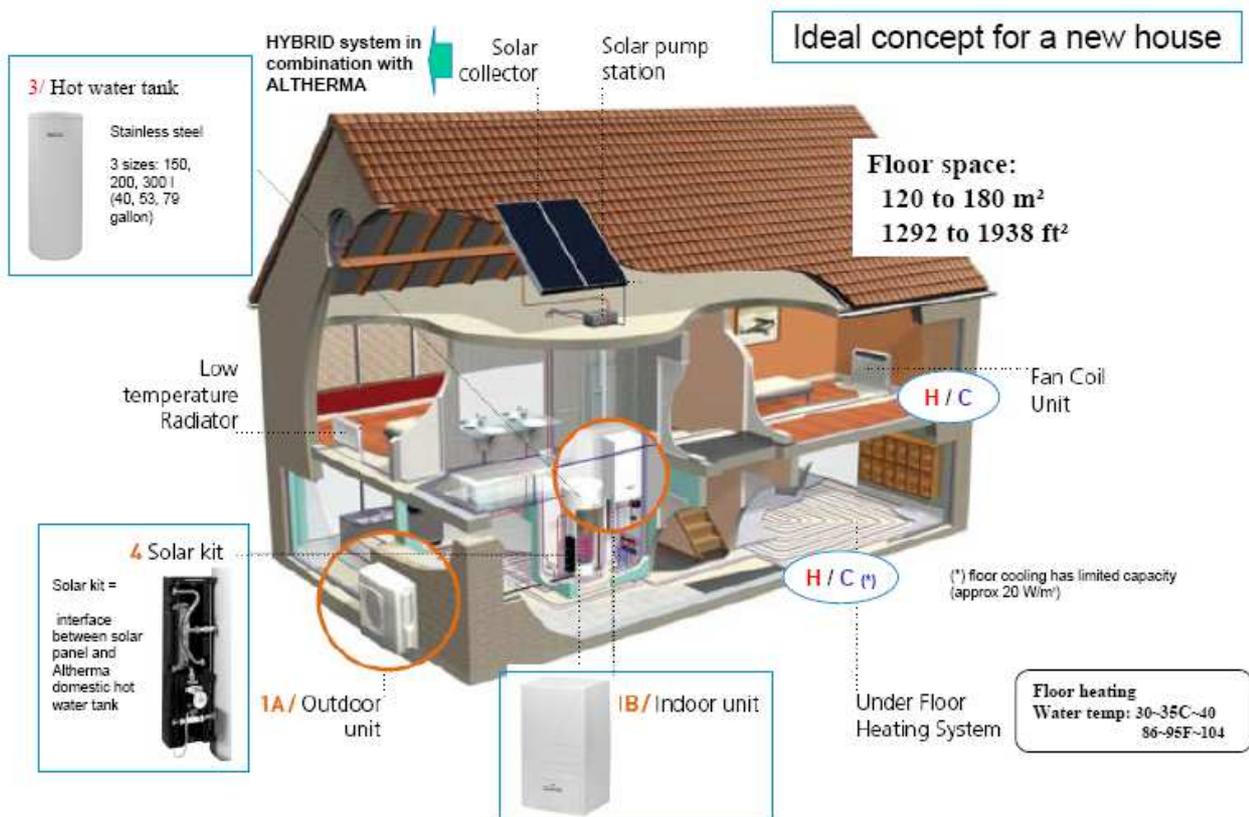


Figura 6: Pompa di calore a CO<sub>2</sub> alimentata da pannelli fotovoltaici in un'abitazione

#### 4. SISTEMI AVANZATI DI POMPE DI CALORE ACQUA-ACQUA A CO<sub>2</sub>

Sfruttando la naturale attitudine del ciclo transcritico alla produzione di acqua calda, Neksa nel 1992 propone lo schema di impianto riprodotto in fig. 7. A valle del compressore sono montati due scambiatori, che possono lavorare in serie e/o in parallelo per la produzione contemporanea di acqua calda sanitaria (accumulata in un serbatoio di stoccaggio) e per la climatizzazione di ambienti (sia attraverso radiatori, sia per mezzo di fan coils). L'obiettivo di questa soluzione impiantistica è di ridurre la temperatura di ritorno dell'acqua al gas cooler il più possibile, in modo da mantenere il rendimento della pompa di calore a livelli elevati. Dopo aver compiuto alcune verifiche sperimentali Neksa dichiarò che il sistema forniva buone prestazioni stagionali quando oltre il 30% della richiesta termica per il riscaldamento degli ambienti fosse fornita attraverso ventilconvettori. Poiché, nel caso di abitazioni efficientemente coibentate, la richiesta di calore per mezzo di ventilconvettori può raggiungere e superare il 50%, veniva confermato che la CO<sub>2</sub> poteva essere una promettente alternativa per le applicazioni di climatizzazione residenziale.

Notiamo che in questa proposta, non viene sfruttato in alcun modo il flusso termico "freddo" prodotto dall'evaporatore.

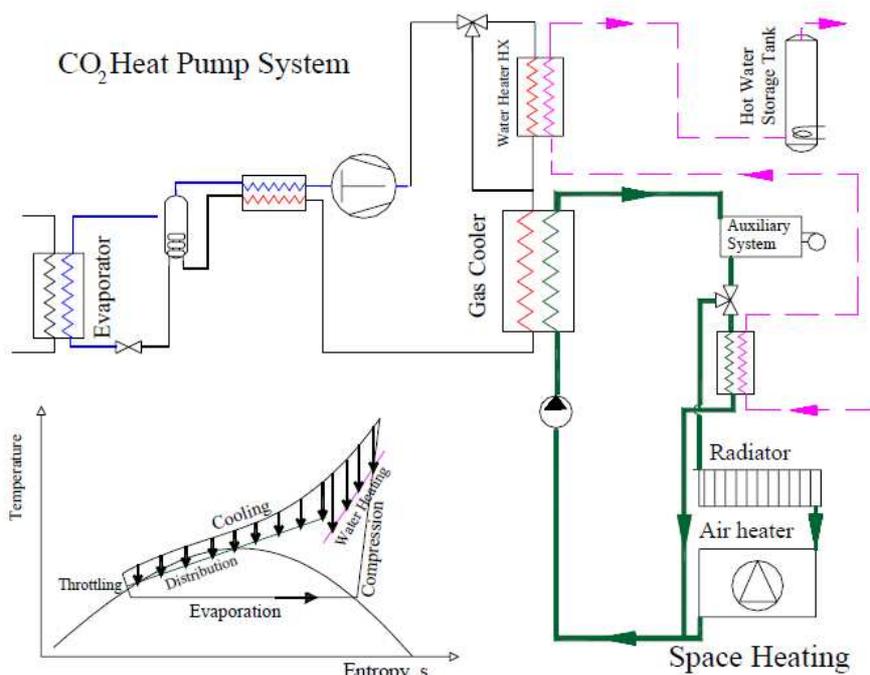


Figura 7: Schema d'impianto per produzione acqua calda e climatizzazione (Neksa, 1992)

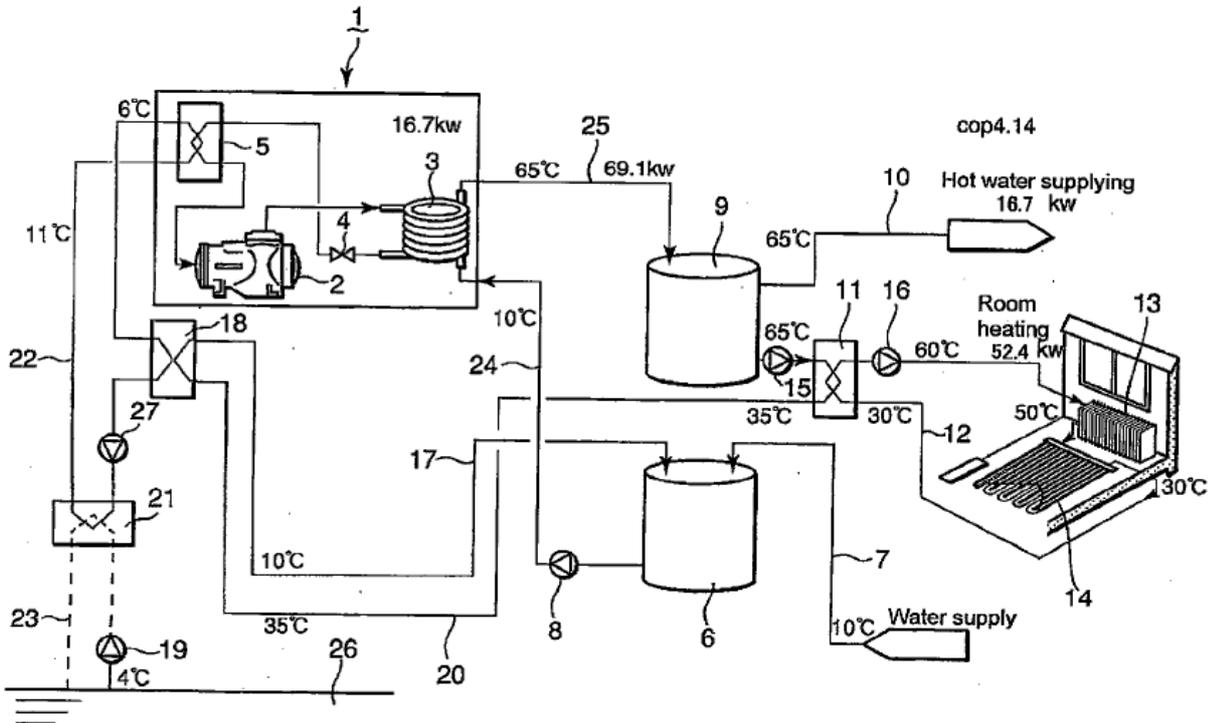
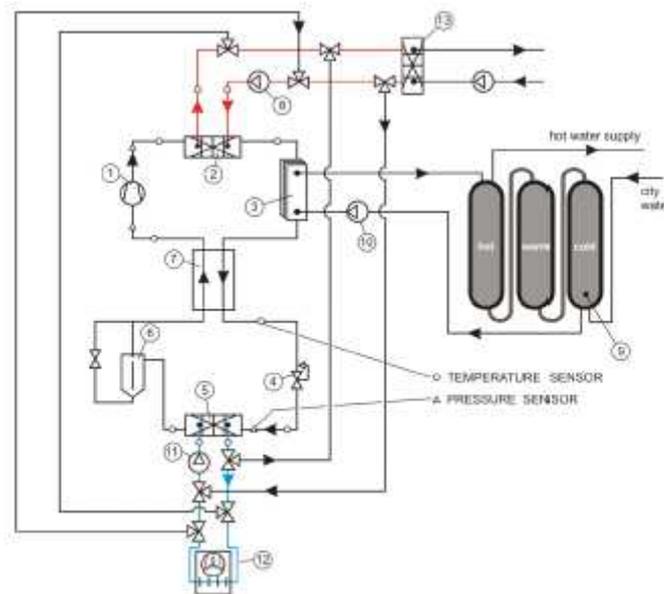


Figura 8: Impianto pdc a CO<sub>2</sub> proposto da Sato et al. (2009): climatizzazione e produzione acqua calda

Nel 2009, Sato et al. presentano uno schema d'impianto caratterizzato da due serbatoi di accumulo (uno per lo stoccaggio di acqua calda e l'altro per quello di acqua fredda) che si propone come obiettivo quello di fornire acqua calda e fredda nonché di provvedere alla climatizzazione di ambienti. Secondo l'ideatore, adottando lo schema di fig. 8, si riescono a mantenere le prestazioni della pompa di calore a livelli elevati in ogni condizione di funzionamento in quanto il gas cooler risulta sempre alimentato da acqua proveniente dal serbatoio di accumulo freddo, mentre l'evaporatore è alimentato da acqua mantenuta a temperatura sufficientemente elevata per l'ottimizzazione del rendimento. Non si conoscono comunque valutazioni sperimentali sull'efficienza effettiva di un siffatto sistema, che richiede tra l'altro la disponibilità di una sorgente fredda per l'ottimizzazione della temperatura dell'acqua di alimento dell'evaporatore.

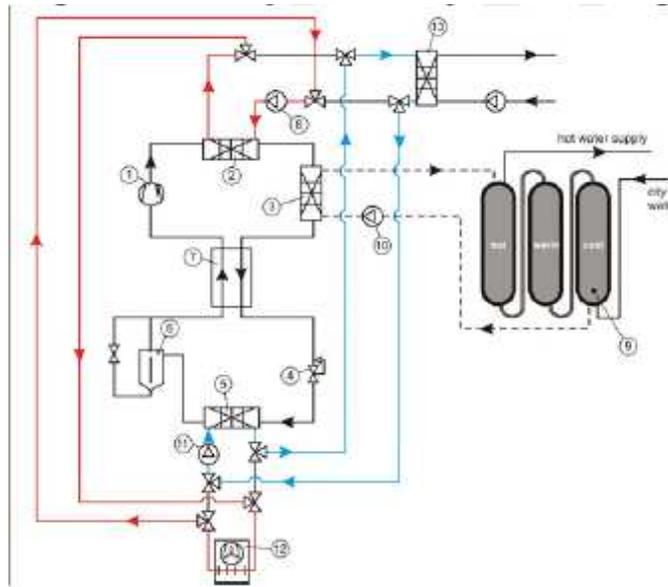


**Figura 9:** Schema di impianto pdc a CO<sub>2</sub> proposto da Brignoli et al. (2011) – conf. invernale

Recentemente i ricercatori del dipartimento di Fisica Tecnica dell'università di Padova hanno proposto un sistema molto avanzato per la climatizzazione estiva ed invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria. Il sistema prevede una pompa di calore a CO<sub>2</sub> costituita da due gas-coolers, un evaporatore ed uno scambiatore recuperatore. Il sistema proposto è dotato di un circuito secondario contenente una miscela glicolata che effettua gli scambi termici con il primo gas cooler e con l'evaporatore; il secondo gas cooler è invece collegato direttamente ad un sistema di accumulo di acqua calda, costituito da tre serbatoi connessi in serie. L'utilizzo dei tre serbatoi consente di alimentare il secondo gas-cooler sempre con acqua fredda e di evitare il mescolamento tra i due flussi caldo e freddo.

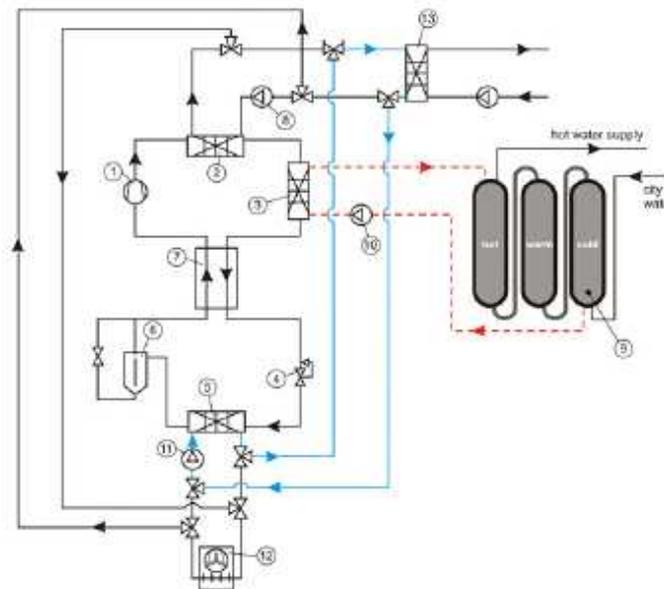
Nel funzionamento invernale (fig. 9), il sistema si comporta come una pompa di calore tradizionale (che preleva calore all'evaporatore, estraendolo dall'esterno e lo riversa al gas-cooler), salvo il fatto che gli scambi avvengono attraverso un fluido ausiliario; nel caso di richiesta di acqua calda, è estratto calore dal secondo gas-cooler. Con questo sistema non è possibile produrre contemporaneamente acqua calda e calore per la climatizzazione.

Nel funzionamento estivo, in caso di richiesta soltanto di condizionamento (fig. 10), si agisce sulle valvole a tre vie in modo da deviare il flusso uscente dall'evaporatore verso il ventilconvettore adibito al condizionamento dell'ambiente e si raffredda il fluido destinato al gas cooler nell'unità esterna.



**Figura 10:** Schema di impianto pdc a CO<sub>2</sub> proposto da Brignoli et al. (2011) – conf. Estiva:solo condizionamento

Se si ha necessità di produzione contemporanea di freddo per il condizionamento e di acqua calda si può operare secondo quanto indicato sia fig. 11. In questo caso, il calore è asportato dal gas cooler per mezzo dell'acqua proveniente dai serbatoi di accumulo.



**Figura 11:** Impianto pdc a CO<sub>2</sub> proposto da Brignoli et al. (2011) – conf. Estiva: condizionamento e acqua calda

Gli autori della ricerca, a seguito di un'intensa campagna sperimentale, dichiarano che le prestazioni di questa macchina sono peggiori rispetto a quelle operanti con R410A (in

particolare in termini di consumo di energia totale) soprattutto in inverno e in estate quando si richiede alla macchina di contribuire anche alle esigenze di climatizzazione, anziché fornire esclusivamente acqua calda.

## **5. PROGETTAZIONE E DESCRIZIONE FACILITY SPERIMENTALE ENEA**

Come già specificato, l'impianto installato presso l'area della casa intelligente del centro ricerche ENEA della Casaccia è stato progettato e realizzato con l'obiettivo di produrre acqua calda e acqua fredda da utilizzarsi per coprire i fabbisogni termici legati alla climatizzazione annuale di un locale di prova appositamente strumentato.

Naturalmente, data la grande versatilità che un tale sistema dovrà garantire (produzione diretta di acqua calda sanitaria, alimentazione di sistemi di riscaldamento a pavimento ad alta efficienza, abbinamento a pannelli fotovoltaici, ecc.), sono state previste varie predisposizioni da testare nella fase della sperimentazione. Di seguito, descriveremo il funzionamento dell'impianto nella configurazione attuale, rappresentato nello schema funzionale di figura 12. Nel funzionamento invernale, il sistema ha come obiettivo il raggiungimento di una temperatura di set di circa 55°C all'interno del serbatoio di accumulo dell'acqua calda SAC. L'acqua del serbatoio di accumulo caldo non scambia direttamente con la CO<sub>2</sub> nel condensatore della pompa di calore, perché tra i due fluidi è interposto un circuito ausiliario. Questo, contenente acqua, è costituito dalla pompa P02, che spinge il fluido dapprima nel gas-cooler, dove l'acqua raggiunge la temperatura di circa 55°C, e poi nello scambiatore SC01, dove l'acqua del circuito ausiliario cede calore (fino a raggiungere una temperatura di circa 40°C) a quella prelevata dalla pompa P01 dal serbatoio di accumulo: quest'ultima ritorna nel serbatoio dopo aver subito un aumento di temperatura di circa 15°C. Al raggiungimento della temperatura di set, il sistema di controllo e supervisione spegne la pompa di calore. Lo scambiatore SC01 ha, in questa configurazione d'impianto, il compito di separare l'acqua adibita allo scambio con l'utenza da quella di alimentazione del condensatore della pompa di calore: in tal modo, si prevencono anche eventuali svuotamenti del ramo acqua del condensatore a seguito di eventuali perdite d'acqua nel serbatoio di accumulo.

Mentre il gas-cooler fornisce calore, all'evaporatore della pompa di calore viene prodotto "freddo". Anche questo componente è collegato al serbatoio di accumulo freddo attraverso

un circuito ausiliario. Questo contiene una miscela di acqua e glicole che cede calore all'evaporatore (da 7.5°C a 4.5°C circa) e si riscalda nello scambiatore SC02, dove raffredda l'acqua di alimento del serbatoio di accumulo freddo SAF.

L'acqua calda stoccata nel serbatoio SAC e quella fredda in SAF vengono prelevate rispettivamente attraverso le pompe di circolazione P6 e P5 ed avviate ad un sistema di collettori. Da qui, agendo sulle valvole ivi collocate, viene inviato una parte del flusso caldo ai fan coils a servizio dell'ambiente da climatizzare, mentre l'altra parte del flusso caldo e tutto quello freddo vengono avviati alla UTA.

In inverno, il fluido freddo, viene riinviato al serbatoio di accumulo per mezzo di una valvola a tre vie deviatrice, mentre quello caldo contribuisce a mantenere l'aria trattata dalla UTA ad una temperatura di 20°C. Poiché l'acqua fredda ritorna al serbatoio ad una temperatura prossima a quella iniziale, per evitare un suo eccessivo raffreddamento, una volta raggiunta la temperatura di set "fredda" di 7°C, viene deviato il flusso di acqua-glicole del circuito ausiliario al Dry-cooler (che in questo caso si comporta da riscaldatore), invece che allo scambiatore SC02.

Nel funzionamento estivo, ferme restando le condizioni di funzionamento (temperature) della pompa di calore, la condizione di stacco della macchina si ha quando viene raggiunta una temperatura dell'acqua nel serbatoio di accumulo freddo di 7°C. E' possibile che la temperatura nell'accumulo caldo raggiunga più rapidamente il set point di 50°C: in tal caso, l'acqua del circuito ausiliario viene avviata al dry-cooler (che in tal si comporta da dissipatore). I fluidi "caldo" e "freddo" avviati ai collettori vengono gestiti in questo caso in maniera diversa: parte del fluido freddo è avviato ai fan coils dove si riscalda fino a 12 °C circa; il rimanente fluido "freddo" e quello caldo sono avviati verso la UTA dove contribuiscono a mantenere la temperatura dell'aria di ricambio a circa 26°C. Nel periodo estivo, l'aria della UTA viene investita anche da parte del fluido caldo (la maggior parte viene rinviata al serbatoio SAC attraverso la valvola a tre vie), per garantire il giusto grado di umificazione dell'aria in mandata della macchina.

Nel successivo paragrafo vedremo più in dettaglio le caratteristiche dei principali componenti dell'impianto e della strumentazione predisposta per il suo monitoraggio e controllo.



## 6. COMPONENTI PRINCIPALI DELL'IMPIANTO

I principali componenti impiegati nel progetto della facility di prova (fig. 12) sono:

- Pompa di calore acqua-acqua a CO<sub>2</sub>;
- Unità di trattamento aria (UTA);
- Pompe di circolazione;
- Valvole deviatrici a tre vie;
- Dry-cooler DRY1;
- Serbatoi inerziali SAC e SAF;
- Locale container asservito all'impianto di climatizzazione
- Collettori solari (predisposizione).

Di seguito sono brevemente descritti i componenti impiegati sull'impianto sperimentale realizzato presso il centro ricerche ENEA della Casaccia.

### 6.1. Pompa di calore acqua-acqua a CO<sub>2</sub>

La pompa di calore prodotta dall'ENEX costituisce il cuore dell'impianto sperimentale. La tabella 1 riporta alcuni dati relativi a una simulazione di funzionamento estivo e a due invernali.

Come già detto, nel funzionamento estivo, a regime, si vuole ottenere una temperatura dell'acqua, lato freddo di 7 °C. All'aumentare della temperatura dell'aria esterna tende ad aumentare la temperatura dell'accumulo caldo (temp. al gas-cooler) e quindi decresce il COP<sub>raff</sub> (definito come rapporto tra la capacità frigorifera e la potenza elettrica assorbita dal compressore), si riduce la capacità frigorifera ed aumenta la potenza elettrica assorbita.

Per il funzionamento invernale sono state condotte due simulazioni. Nella prima si è ipotizzata una temperatura esterna di 5 °C: impostando la temperatura dell'accumulo caldo a valori compresi tra 40 e 55°C, il COP<sub>risc</sub> (definito come rapporto tra la potenza termica smaltita al gas-cooler e la potenza elettrica assorbita dal compressore) passa da 4.3 a 2.7.

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

Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

Nella seconda simulazione si è ipotizzato che la temperatura esterna sia di 0°C. In questo caso, variando la temperatura dell'accumulo da 45 a 55 °C, il COP<sub>risc</sub> passa da 3.4 a 2.7.

ESTIVO			Tev=3°C				SCAMBIATORE C				
Acqua_in_C [°C]	Acqua_out_C [°C]	Aria_ext [°C]	Acqua_in_F [°C]	Acqua_out_F [°C]	Cap_frig [kW]	Pot_el_in [kW]	Pot_term [kW]	COP_raft	COP_risc	portata F kg/s	portata C kg/s
40	50	35	12	7	27,03	13,25	38,96	2,0	2,9	1,291	0,931
35	45	30	12	7	28,64	10,89	38,44	2,6	3,5	1,368	0,918
30	40	25	12	7	30,48	9,23	38,79	3,3	4,2	1,456	0,927
25	35	20	12	7	32,54	7,75	39,52	4,2	5,1	1,555	0,944
INVERNALE 1			Tev=-5°C				SCAMBIATORE C				
Acqua_in_C [°C]	Acqua_out_C [°C]	Aria_ext [°C]	Acqua_in_F [°C]	Acqua_out_F [°C]	Cap_frig [kW]	Pot_el_in [kW]	Pot_term [kW]	COP_raft	COP_risc	portata F kg/s	portata C kg/s
40	55	5	3	-1	20,20	11,13	30,21	1,8	2,7	1,206	0,481
35	50	5	3	-1	21,43	9,58	30,05	2,2	3,1	1,280	0,479
30	45	5	3	-1	22,87	8,38	30,41	2,7	3,6	1,366	0,484
25	40	5	3	-1	24,50	7,31	31,07	3,4	4,3	1,463	0,495
INVERNALE 2			Tev=-9°C				SCAMBIATORE C				
Acqua_in_C [°C]	Acqua_out_C [°C]	Aria_ext [°C]	Acqua_in_F [°C]	Acqua_out_F [°C]	Cap_frig [kW]	Pot_el_in [kW]	Pot_term [kW]	COP_raft	COP_risc	portata F kg/s	portata C kg/s
40	55	0	-2	-6	17,39	10,44	26,79	1,7	2,6	1,039	0,427
35	50	0	-2	-6	18,41	8,93	26,45	2,1	3,0	1,099	0,421
30	45	0	-2	-6	19,66	7,89	26,76	2,5	3,4	1,174	0,426

Tabella 1: simulazione condizioni di funzionamento della pompa di calore a CO<sub>2</sub>

La figura 13 riporta lo schema funzionale della pompa di calore prescelta per l'attività sperimentale. È costituita da tre compressori da 400V disposti in parallelo, da tre scambiatori di calore ad alta temperatura, di cui solo il primo scambia con l'acqua del circuito primario, da un organo di laminazione e da un evaporatore, che nel nostro caso scambia calore con la miscela di acqua e glicole.

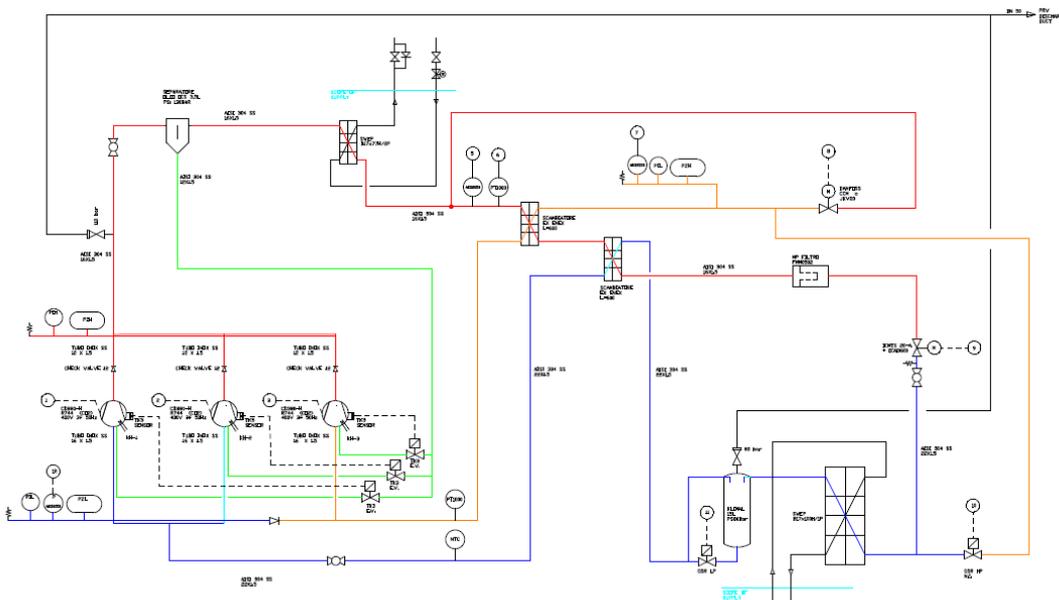
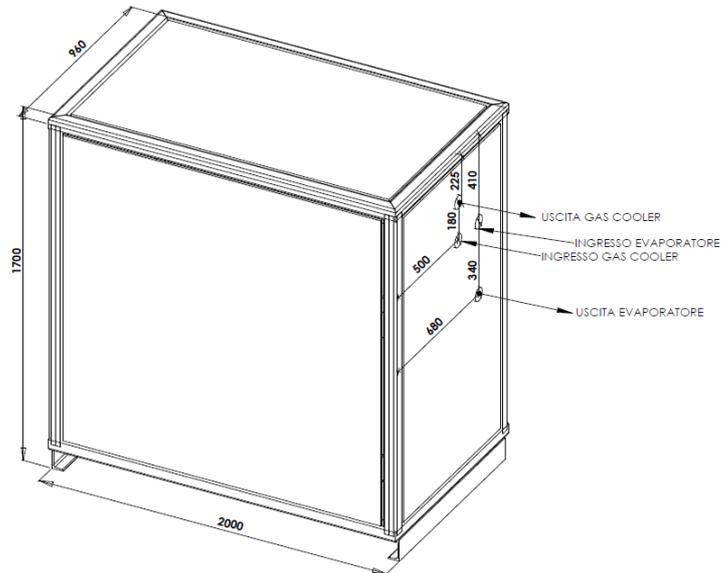


Figura 13: pompa di calore a CO<sub>2</sub> ENEX: schema funzionale

La figura 14 riporta le principali dimensioni della pompa acquistata e installata (fig. 15) presso l'area della casa intelligente.



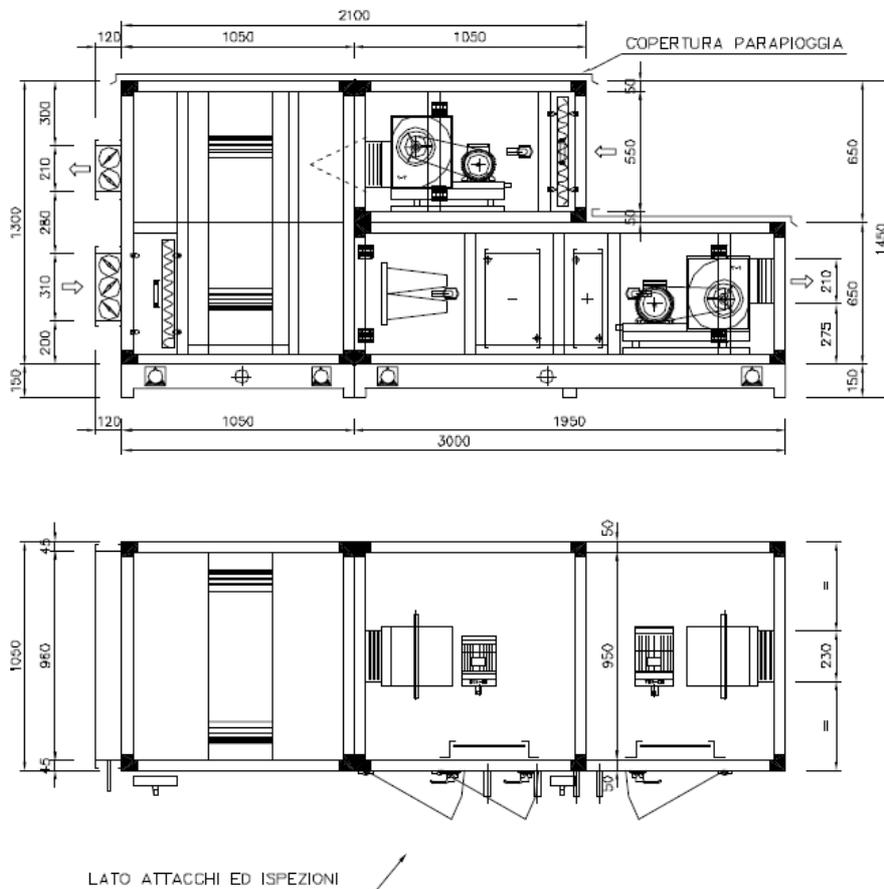
**Figura 14:** pompa di calore a CO<sub>2</sub> ENEX: principali dimensioni



**Figura 15:** pompa di calore a CO<sub>2</sub> ENEX installata presso il Centro Ricerche della Casaccia

## 6.2. UTA (Unità di trattamento aria)

L'unità di trattamento aria (UTA, in figura 16 rappresentata in sezione e in pianta) gestisce il ricambio d'aria dell'ambiente da climatizzare, garantendo anche il corretto valore di temperatura e di umidità dell'aria immessa nel locale da climatizzare.



**Figura 16:** vista in sezione e in pianta della UTA marca LORAN installata

Il riscaldamento dell'aria esterna, durante il periodo invernale, avviene in gran parte nel recuperatore rotativo (che lavora in ogni condizione con rendimento molto elevato, dell'ordine del 76%), a scapito dell'aria di ripresa dall'ambiente, e viene successivamente completato nella batteria calda (quella fredda in questo caso non lavora in quanto il flusso freddo è riinvio all'accumulo prima di arrivare alla batteria).

Anche durante il periodo invernale il recuperatore rotativo lavora con un rendimento molto elevato e raffredda l'aria da reintrodurre nell'ambiente: il flusso d'aria incontra poi la batteria fredda e quella calda (che assume in questo caso principalmente la funzione di regolazione dell'umidità e di stabilizzazione della temperatura), che portano l'aria alla temperatura di mandata di progetto. Di seguito un'immagine della UTA installata a servizio del container:



**Figura 17:** UTA LORAN: modalità di installazione

Le tabelle 2 e 3 indicano ulteriori caratteristiche di funzionamento del recuperatore rotativo e delle batterie di raffreddamento e riscaldamento.

**Progetto 3.4 "Utilizzo dell'energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva"**
**Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)**
**Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA**

n° pz.	Descrizione	Marca - Codice
1	TI AL 08 N v2 C K AT	RECUPERATOR
	<b>Aria Espulsa</b>	
	Temperatura aria espulsione in            20 °C    Umidità relativa espulsione in            40 %	
	Temperatura aria espulsione out        4.82 °C    Umidità relativa espulsione out        96.70 %	
	Portata aria di espulsione                2000 m <sup>3</sup> /h    Perdita carico lato espulsione            148 Pa	
	<b>Aria rinnovo</b>	
	Temperatura aria esterna in                0 °C        Umidità relativa esterna in                60 %	
	Temperatura aria esterna out            15.18 °C    Umidità relativa esterna out            27.25 %	
	Portata aria esterna                        2000 m <sup>3</sup> /h    Perdita carico lato esterna                148 Pa	
	<b>Potenzialità di recupero</b> 11.34    KW    Rendimento                                    75.9 %	
		Rapp. Temperature                        75.9 %
	Recuperatore in alluminio Azionamento a velocità costante Motore SPG40 (3x400V), 0.04 kW Giri al minuto: 10 rpm rotore igroscopico (idoneo al recupero di calore sensibile e latente) Bacinella in acciaio zincato	
	<b>Filtro su aria rinnovo</b>	
1	Filtro piano, a setto sintetico pieghettato, celle filtranti 48 mm, eff. EU4 - 90% 400x500x48 mm	
1	Filtro piano, a setto sintetico pieghettato, celle filtranti 48 mm, eff. EU4 - 90% 500x500x48 mm	
	<b>Serranda di espulsione</b>	
1	Serranda di regolazione, telaio in alluminio, alette in alluminio, dimensioni 960x210 mm.	PDR
	<b>Serranda di presa aria esterna</b>	
1	Serranda di regolazione, telaio in alluminio, alette in alluminio, dimensioni 960x310 mm.	PDR
	<b>Verifica Estiva</b>	
	<b>Aria Espulsa</b>	
	Temperatura aria espulsione in            26 °C        Umidità relativa espulsione in            50 %	
	Temperatura aria espulsione out        31.31 °C    Umidità relativa espulsione out        38 %	
	Portata aria di espulsione                2000 m <sup>3</sup> /h    Perdita carico lato espulsione            147 Pa	
	<b>Aria rinnovo</b>	
	Temperatura aria esterna in                33 °C        Umidità relativa esterna in                45 %	
	Temperatura aria esterna out            27.69 °C    Umidità relativa esterna out            59 %	
	Portata aria esterna                        2000 m <sup>3</sup> /h    Perdita carico lato esterna                147 Pa	
	<b>Potenzialità di recupero</b> 4.29    kW    Rendimento                                    75.9 %	
		Rapp. Temperature                        75.9 %

**Tabella 2: UTA LORAN: caratteristiche del recuperatore rotativo**

Codice		Batteria di raffreddamento
n° pz.	Descrizione	Marca - Codice
1	<p>BAF60x30 T7 L790 R8 C4 P2.5</p> <p>Materiale Rame x 0.4 mm - Alluminio 0.12 mm - 8 Ranghi - 4 Circuiti - Telaio in ferro zincato</p> <p>Portata aria 2000 [m<sup>3</sup>/h], Velocità aria 1.67 [m/s], Perdita di carico aria 92 [Pa]</p> <p>Aria entrante: TBS 27.7 [°C], TBU 21.6 [°C], UR 59 [%], entalpia 63.0 [kJ/kg]</p> <p>Aria uscente: TBS 12.8 [°C], TBU 12.8 [°C], UR 100 [%], entalpia 36.1 [kJ/kg]</p> <p>Tipo fluido:Acqua</p> <p>Fluido entrante: 7.0 [°C], Fluido uscente: 12.0 [°C]</p> <p>Portata Fluido: 3094 [dm<sup>3</sup>/h], Velocità Fluido: 1.1 [m/s], Perdite di carico: 23.4 [kPa]</p> <p>Potenza totale: 18.0 [kW]</p> <p>Potenza sensibile: 10.1 [kW]</p> <p>Diametro collettori: 1"</p> <p>Superficie di scambio 58.26 [m<sup>2</sup>]</p> <p>Volume interno (escluso collettore) 11.60 [l]</p> <p>Bacinella in acciaio zincato</p> <p><b>Dimensionata per condizioni umide</b></p>	—

Codice		Batteria di riscaldamento
n° pz.	Descrizione	Marca - Codice
1	<p>BAC60x30 T7 L790 R3 C5 P2.5</p> <p>Materiale Rame x 0.4 mm - Alluminio 0.12 mm - 3 Ranghi - 5 Circuiti - Telaio in ferro zincato</p> <p>Portata aria 2000 [m<sup>3</sup>/h], Velocità aria 1.67 [m/s], Perdita di carico aria 17 [Pa]</p> <p>Aria entrante: TBS -5.0 [°C], TBU -5.9 [°C], UR 80 [%], entalpia 0.1 [kJ/kg]</p> <p>Aria uscente: TBS 21.6 [°C], TBU 9.1 [°C], UR 13 [%], entalpia 27.0 [kJ/kg]</p> <p>Tipo fluido:Acqua</p> <p>Fluido entrante: 50.0 [°C], Fluido uscente: 45.0 [°C]</p> <p>Portata Fluido: 3123 [dm<sup>3</sup>/h], Velocità Fluido: 0.9 [m/s], Perdite di carico: 6.6 [kPa]</p> <p>Resa totale: 18.0 [kW]</p> <p>Diametro collettori: 3/4"</p> <p>Superficie di scambio 21.85 [m<sup>2</sup>]</p> <p>Volume interno (escluso collettore) 5.00 [l]</p>	—

**Tabella 3:** UTA LORAN: caratteristiche delle batterie di raffreddamento e riscaldamento

### 6.3. Pompe di circolazione

La tabella 4 indica la tipologia di circolatori selezionati per le varie esigenze d'impianto. In particolare, riferendosi allo schema d'impianto di fig.12, per le pompe P1, P4 e P5 sono stati selezionati i circolatore tipo Grundfos UPS 25-80 (fig. 18): si tratta di pompe a rotore bagnato a 3 velocità a bocchettoni, destinate alla circolazione di acqua all'interno di impianti di riscaldamento e piccoli impianti di condizionamento in edifici commerciali; il circolatore P6 del ramo compreso tra i collettori e la batteria calda della UTA è del tipo Grundfos UPS 25-70: in tabella 5 riportiamo le principali caratteristiche dei due tipi di circolatori (tra parentesi quelle del modello UPS 25-70).

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

Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

Q.tà nr.	Identificazione (Etichetta)	pot. Motore/impiego			Posizione	Note
		Tens. V-Ph_Hz	KW	Corrente massima funzionamento A		
	<b>ELETTROPOMPE</b>					
1	P1: Q=2,0 mc/h ; H=60 kPa	230-1-50		-	Esterno Container	UPS 25-80 V. 1X230
1	P2: Q=4,3 mc/h ; H=65 kPa	230-1-50		-	Esterno Container	Magna 25-100 V. 1X230: CON INVERTER A BORDO
1	P3: Q=5,6 mc/h ; H=60 kPa	230-1-50		-	Esterno Container	Magna 25-100 V. 1X230: CON INVERTER A BORDO
1	P4: Q=5,2 mc/h ; H=40 kPa	230-1-50		-	Esterno Container	UPS 25-80 V. 1X230
1	P5: Q=3,1 mc/h ; H=50 kPa	230-1-50		-	Esterno Container	UPS 25-80 V. 1X230
1	P6: Q=3,1 mc/h ; H=25 kPa	230-1-50		-	Esterno Container	UPS 25-70 V. 1X230
1	P7: Q=2,6 mc/h ; H=40 kPa	230-1-50		-	Esterno Container	Magna 25-60 V. 1X230: CON INVERTER A BORDO

**Tabella 4:** Caratteristiche delle pompe di circolazione previste sull'impianto



**Fig. 18** - Circolatore tipo Grundfos UPS 25 -80

Range Temperature esercizio	-25 °C (+2 °C)/+110 °C (+95 °C)
Grandezza attacchi	G. 1"1/2
Interasse pompa	180 mm
Tensione	1x230 V
Potenza assorbita 1-2-3 velocità	190 (140)-175 (120)-130 (95) W
Portata massima	9 (4.5)mc/h
Prevalenza massima	8 (7)mt

**Tabella 5:** Caratteristiche delle pompa di circolazione Grundfos UPS 25-80 (UPS 25-70)

Le pompe selezionate per i rami acqua raffreddamento gas-cooler e circuito glicolato (P2 e P3 in fig. 12) sono della Grundfos modello Magna 25-100 (fig. 19): si tratta di modelli dotati di inverter e aventi le caratteristiche indicate in tabella 6.



**Fig. 19** - Circolatore tipo Grundfos MAGNA 25-100

Il circolatore per la linea fan-coil, P7 in fig. 12, è della stessa famiglia del precedente (Grundfos modello Magna 25-60): le sue caratteristiche, laddove diverse dal modello precedente, sono indicate tra parentesi in tabella 6.

Range Temperature esercizio	+2 °C/+95 °C
Grandezza attacchi	G. 1"1/2
Interasse pompa	180 mm
Tensione	1x230 V
Range Potenza assorbita	25 (10)/450 (85) W
Range portate esercizio	4.5/11 (8.5)mc/h
Range prevalenze esercizio	1/10(6)mt

**Tabella 6:** Caratteristiche delle pompa di circolazione Grundfos Magna 25 - 100 (MAGNA 25-60)

#### 6.4. Valvole deviatrici a tre vie

Le valvole deviatrici installate sull'impianto, comandate opportunamente dal software di gestione consentono la regolazione fine dei flussi da avviare nei vari rami del circuito. In figura 20, viene mostrata una valvola a tre vie e relativo attuatore in fase di installazione.



*Fig. 20 - Valvola deviatrice BELIMO*

#### 6.5. Dry - Cooler

E' stato selezionato per l'installazione il modello AERMEC CSE 314 BM (fig. 21)



*Fig. 21 – Dry-Cooler modello AERMEC CSE 314 BM*

## 6.6. Serbatoi inerziali



*Fig. 22 – Serbatoi inerziali: lato SX accumulo caldo, lato DX accumulo freddo*

## 6.7. Locale container casa intelligente

Il locale allestito per la sperimentazione (superficie = 50 m<sup>2</sup>, volume=125 m<sup>3</sup>) è stato dotato di 5 ventilconvettori da 2,5 [kW] ciascuno e di bocchette per il trattamento dell'aria da parte della UTA. La fig. 23 mostra la disposizione dei principali componenti dell'impianto all'interno e nelle zone circostanti il container.



## **6.8. Collettori solari (sola predisposizione)**

La figura 12 mostra una possibile implementazione del sistema ausiliario di pannelli solari a servizio del sistema di climatizzazione. Nel caso rappresentato, il campo solare è collegato direttamente al serbatoio caldo che è dotato di uno scambiatore di calore interno (non estraibile) idoneo per applicazioni solari. In questa configurazione, utilizzabile nel periodo invernale, quando non vi è necessità di produzione di acqua fredda, si potrà produrre acqua calda sfruttando direttamente l'energia solare, tenendo la pompa di calore spenta.

## **7. STRUMENTAZIONE E SISTEMA ACQUISIZIONE DATI, CONTROLLO E GESTIONE IMPIANTO**

Le tabelle seguenti riportano l'elenco dei materiali e della strumentazione prevista per la realizzazione dell'impianto di supervisione e controllo del sistema di climatizzazione utilizzando la pompa di calore a CO<sub>2</sub>.

La tabella 7 riporta l'elenco punti controllati dal sistema di supervisione dell'impianto sperimentale. In particolare, sono acquisite le temperature su tutte le canalizzazioni e sugli accumuli caldo e freddo, le temperature di mandata e di ripresa della pompa di calore, della UTA e dei collettori. Sono stati inoltre previsti sensori per la misura dell'umidità esterna, misuratori di portata alla pompa di calore lato caldo e freddo e un sensore per la misura della concentrazione di CO<sub>2</sub> presente nell'aria della sala riunioni. I dati provenienti da quest'ultimo sensore sono utilizzati dal sistema di gestione per regolare le modalità di ricircolo dell'aria.

Per il controllo in campo dei parametri di funzionamento è prevista inoltre l'installazione di manometri e termometri nei punti in corrispondenza dei condotti di mandata e di ripresa della pompa di calore. I componenti in campo montati (schede, sensori, software) appartengono al gruppo Emerson Electric Spa, mentre gli attuatori e valvole sono del gruppo Belimo.

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

Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

Descrizione	AI			AO	DO	Materiale in campo				
	Ala	Alp	DI			Q.ta'	Codice 1	Q.ta'	Codice 2	
<b>Periferica</b>										
<b>Elenco cavi</b>										
INGRESSI ANALOGICI CAVI SCHERMATI										sezio
Analisi assorbimento elettrico PDC	1					1	TM8			Anal
Analisi assorbimento elettrico UTA	1					1	TM8			
Analisi assorbimento elettrico UtENZE elettriche	1					1	TM8			Dry-i
Temperatura esterna		1				1	TE-706-B-12			
Umidità esterna	1					1	HU-224-3-VDC			
Luminosità esterna	1					1	PD5-			
Temperatura accumulo caldo		1				1	TE-704-A-12			tec
Temperatura uscita PDC produzione caldo		1				1	TE-704-A-12+G			
Temperatura ingresso PDC produzione caldo		1				1	TE-704-A-12+G			
Misuratore magnetico di portata PDC lato caldo		1				1	MagFluxDn025	1	MagFlux Display	
Temperatura uscita PDC produzione freddo		1				1	TE-704-A-12+G			
Temperatura ingresso PDC produzione freddo		1				1	TE-704-A-12+G			
Misuratore magnetico di portata PDC lato freddo		1				1	MagFluxDn025	1	MagFlux Display	
Temperatura accumulo freddo		1				1	TE-704-A-12			tcf
Temperatura ambiente sala riunioni piccola		1				1	TE-205-EU-12			
Temperatura ambiente sala riunioni grande zona 1		1				1	TE-205-EU-12			
CO2 ambiente sala riunioni grande zona 1	1					1	GMW115			
Temperatura mandata UTA		1				1	TE-702-A-12-D			
Temperatura ripresa UTA		1				1	TE-702-A-12-D			
Temperatura miscela serrande UTA		1				1	TE-707-A-12-A2			
Temperatura ingresso collettore freddo		1				1	TE-704-A-12+G			

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

 Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

## Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

Descrizione	AI			AO	DO	Materiale in campo			
	Ala	Alp	DI			Q.ta'	Codice 1	Q.ta'	Codice 2
Temperatura uscita collettore freddo		1				1	TE-704-A-12+G		
Temperatura ingresso collettore caldo		1				1	TE-704-A-12+G		
Temperatura uscita collettore caldo		1				1	TE-704-A-12+G		
Temperatura uscita DRY COOLER		1				1	TE-704-A-12+G		
Temperatura uscita scambiatore accumulo caldo		1				1	TE-704-A-12+G		
Ingresso disponibile		1							
Ingresso disponibile		1							
INGRESSI DIGITALI CAVI NORMALI STATO <span style="float: right;">sezi</span>									
Stato pompa P1 accumulo caldo			1						
Stato pompa P3 primario freddo			1						
Stato pompa P4 scambiatore accumulo freddo			1						
Stato pompa P6a circuito freddo UTA			1						
Stato pompa P6b circuito freddo UTA			1						
Stato pompa P7a circuito caldo/freddo FAN-COILS			1						
Stato pompa P7b circuito caldo/freddo FAN-COILS			1						
Stato pompa P8a circuito caldo UTA			1						
Stato pompa P8b circuito caldo UTA			1						
Stato ventilatore ripresa UTA			1						
Stato ventilatore mandata UTA			1						
Stato alimentazione fan-coils sala riunioni piccol			1						
Stato alimentazione fan-coils sala riunioni grande			1						
Stato alimentazione luci sala riunioni piccola			1						
Stato alimentazione luci sala riunioni grande			1						
Stato Compressore 01 PDC			1						

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

 Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

## Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

Descrizione	AI			AO	DO	Materiale in campo			
	Ala	Alp	DI			Q.ta'	Codice 1	Q.ta'	Codice 2
Stato Compressore 02 PDC			1						
Stato conteggio persone sala riunioni ingresso 1			1			1	IRC3020		
Stato conteggio persone sala riunioni ingresso 1			1						
Stato conteggio persone sala riunioni ingresso 2			1			1	IRC3020		
Stato conteggio persone sala riunioni ingresso 2			1						
Stato funzionamento DRY COOLER			1						
Stato posizione valvole E/I lato caldo			1			2	S2A		
Stato posizione valvole E/I lato freddo			1			2	S2A		
Ingresso disponibile			1						
Ingresso disponibile			1						
Stato relè E/I			1						
INGRESSI DIGITALI CAVI NORMALI ALLARMI									
Blocco PDC			1						
Allarme antigelo UTA			1			1	TF30		
Allarme filtri UTA			1			1	DBL-106+DBZ-06		
Allarme pompa P1 accumulo caldo			1						
Allarme pompa P3 primario freddo			1						
Allarme pompa P4 scambiatore accumulo freddo			1						
Allarme pompa P6a circuito freddo UTA			1						
Allarme pompa P6b circuito freddo UTA			1						
Allarme pompa P7a circuito caldo/freddo FAN-COILS			1						
Allarme pompa P7b circuito caldo/freddo FAN-COILS			1						
Allarme pompa P8a circuito caldo UTA			1						
Allarme pompa P8b circuito caldo UTA			1						

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

Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

Descrizione	AI			AO	DO	Materiale in campo			
	Ala	Alp	DI			Q.ta'	Codice 1	Q.ta'	Codice 2
Allarme ventilatore ripresa UTA			1						
Allarme ventilatore mandata UTA			1						
Allarme funzionamento DRY COOLER			1						
Allarme blocco inverter UTA			1						
Ingresso disponibile			1						
USCITE DIGITALI CAVI NORMALI									sezic
Comando PDC					1				
Comando Compressore 01 PDC					1				
Comando Compressore 02 PDC					1				
Comando ventilatore ripresa UTA					1				
Comando ventilatore mandata UTA					1				
Comando pompa P1 accumulo caldo					1				
Comando pompa P3 primario freddo					1				
Comando pompa P4 scambiatore accumulo freddo					1				
Comando pompa P6a circuito freddo UTA					1				
Comando pompa P6b circuito freddo UTA					1				
Comando pompa P7a circuito caldo/freddo FAN-COILS					1				
Comando pompa P7b circuito caldo/freddo FAN-COILS					1				
Comando pompa P8a circuito caldo UTA					1				
Comando pompa P8b circuito caldo UTA					1				
Comando fan-coils sala riunioni piccola					1				
Comando fan-coils sala riunioni grande					1				
Comando luci sala riunioni piccola					1				
Comando luci sala riunioni grande					1				

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

Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)

Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

Descrizione	AI			AO	DO	Materiale in campo			
	Ala	Alp	DI			Q.ta'	Codice 1	Q.ta'	Codice 2
Comando commutazione E/I collettore lato caldo					1	2	R225	2	LR24A
Comando commutazione E/I collettore lato freddo					1	2	R225	2	LR24A
Comando serranda aria esterna UTA					1	1	AF24		
Comando serranda By-pass recuperatore UTA					1	1	AF24		
Comando Inverter UTA					1				
Comando commutazione E/I					1				
USCITE ANALOGICHE CAVI SCHERMATI									sezi
Segnale 0-10 Vcc valvola caldo UTA				1		1	H520B+ZH4520+NV24MF		
Segnale 0-10 Vcc valvola freddo UTA				1		1	H525B+ZH4525+NV24MF		
Segnale 0-10 Vcc valvola segnale caldo/freddo F/C				1		1	M7410E1002	1	V5833C1041
Segnale 0-10 Vcc set point PDC				1		1	PS200	1	Loop Converter
Segnale 0-10 Vcc commutazione primario freddo				1		2	R325+SR24A-MF+ZR232		
Segnale 0-10 Vcc commutazione primario caldo				1		2	R325+SR24A-MF+ZR232		
Segnale 0-10 Vcc inverter UTA				1		1	Loop Converter		
Segnale 0-10 Vcc recuperatore UTA				1		1	Loop Converter		
SCHUDE PREVISTE						2	Multiflex168AO	2	Multiflex Prestazioni
SCHUDE PREVISTE						1	Multiflex168	1	Multiflex Prestazioni
SCHUDE PREVISTE						1	Multiflex16AI	1	Multiflex Prestazioni
SCHUDE PREVISTE						1	8RO-FC	1	Multiflex Prestazioni
EINSTEIN						1	E2 BX300	1	E2 BX Prestazioni
<b>Totale</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>44</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>Totale punti:</b>		<b>104</b>	

Tabella 7 – Elenco punti controllati

### 7.1 Software di regolazione e gestione digitale EINSTEIN

Il sistema prescelto per la gestione e la regolazione digitale dell'impianto descritto in questo documento è il nuovo software BX EINSTEIN prodotto dall'azienda CTZ.T srl facente parte della divisione specialistica che si occupa di efficienza energetica del gruppo EMERSON Electric spa.

Il software installato permette di:

- seguire istantaneamente da display o da postazione remota il funzionamento meccanico ed elettrico dell'impianto;
- gestire gli orari di funzionamento delle macchine per il condizionamento;
- consente il monitoraggio dello stato di funzionamento di tutte le apparecchiature;
- controllare lo stato degli allarmi implementati;
- controllare i valori delle grandezze misurate (temperature, portate, ecc.);

- variare, tramite semplici slitte, i SETPOINTS (temperatura locale di prova, temperature degli accumuli caldo e freddo);
- veder visualizzata sul monitor il relativo andamento grafico (Log) di tutte le grandezze monitorate quali Temperature, portate ecc. (fig.24).

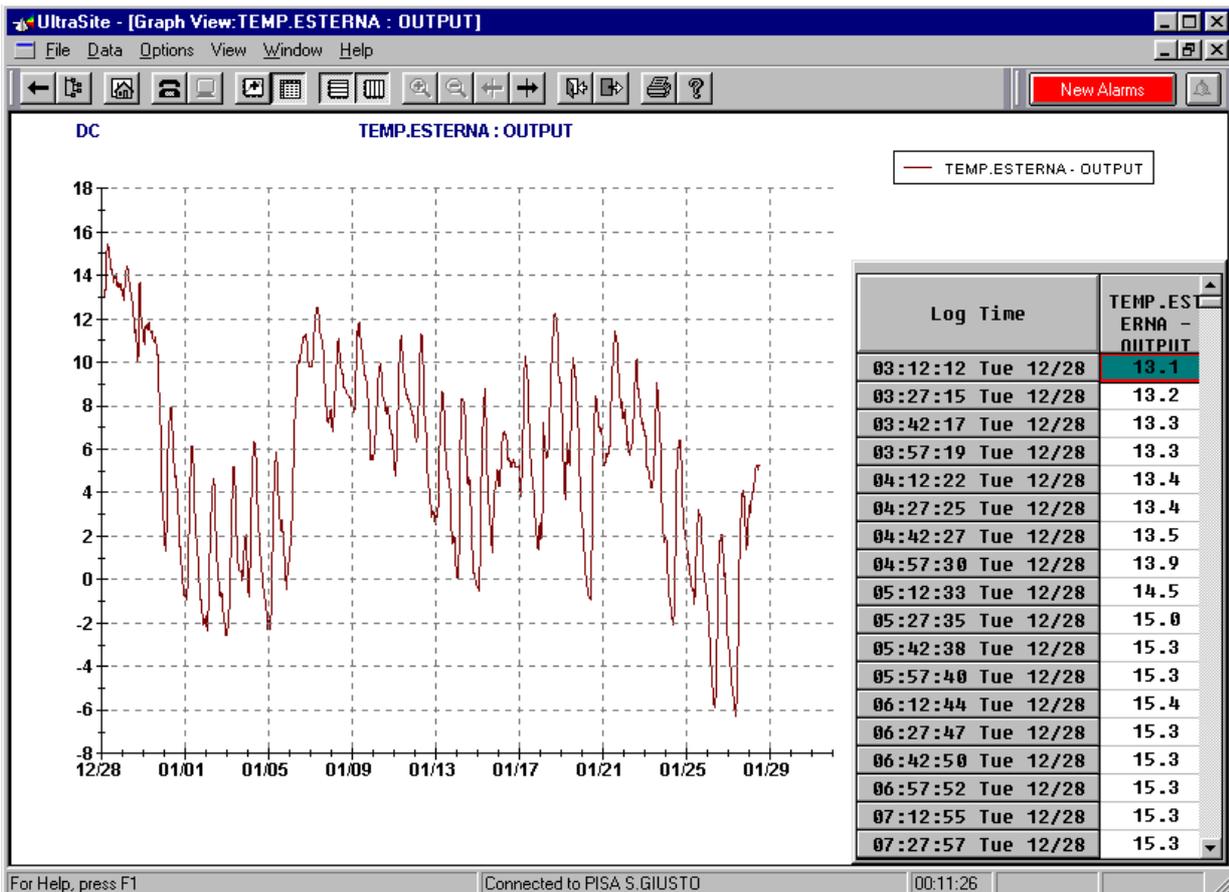


Fig. 24 – Esempio di visualizzazione dell'andamento grafico delle grandezze misurate

Il sistema EINSTEIN accomuna la funzione di controlli precisi e flessibili sulle regolazioni alla funzione di ottimizzazione dei consumi energetici. Il sistema BX si integra alla perfezione con la pianificazione del consumo energetico.

Il software consente la funzione di gestione intelligente delle accensioni e spegnimenti degli impianti di climatizzazione tramite il programma di optimum start \ stop. Il programma basandosi sulle condizioni termoigrometriche rilevate negli ambienti climatizzati e sulle condizioni termoigrometriche esterne il sistema, basandosi su un proprio archivio statistico ad

autoapprendimento calcola il più idoneo tempo di preaccensione degli impianti e di prespegnimento degli stessi cercando di ridurre il più possibile il funzionamento.

In ogni fase di preaccensione o prespegnimento, il programma calcola il tempo necessario per portare gli ambienti e mantenerli al livello di comfort richiesto. Questi calcoli vengono salvati in un'apposita memoria e vengono usati per ricalcolare continuamente i tempi più idonei per l'ambiente gestito. L'utente ha la possibilità di programmare una zona di comfort accettabile al range di preaccensione e prespegnimento. E' inoltre possibile impostare un tempo massimo consentito di preaccensione e prespegnimento.

I vari loop di regolazione utilizzano più tipologie di sensori quali input delle regolazioni:

- Temperatura ambiente
- UR% ambiente
- Temperatura esterna
- UR% esterna
- Temperatura mandata
- valori calcolati da moduli matematici (temperature medie, minime, massime, apparenti, entalpie, ecc.)

Tutti i loop di regolazione utilizzano un modulo **P.I.D.** in cui l'utente può personalizzare i valori di banda proporzionali \ tempo integrale \ tempo di derivativa ,differenziandoli tra curva riscaldamento \ curva serrande freecooling \ curva raffreddamento \ curva umidificazione \ curva deumidificazione.

E' possibile impostare differenti valori di set point, ad esempio :

- set point acqua mandata pdc nel periodo invernale ed estivo
- set point temperatura ambiente sala riunioni periodo invernale e d estivo
- tutti i set point possono differenziarsi tra set point diurni e notturni

Tutti i punti hardware \ software relativi al sistema sono abbinati ad un apposito archivio trends. L'utente ha la possibilità di impostare svariati parametri relativi a ciascun punto :

- tempo di archiviazione tra un punto ed il successivo
- valore da archiviare (min.\media\max) nel periodo di riferimento
- archiviazione solo dei cambi di stato (on-off) o delle variazioni analogiche entro una soglia prefissata.

Gli archivi trends possono essere visualizzati localmente direttamente sul display, o remotamente tramite Personal Computer.

I vari archivi trends possono essere visualizzati sia in formato alfanumerico sia in formato grafico.

Il modulo di gestione è dotato di un apposito archivio allarmi in cui sono storicizzati tutti gli interventi di allarme, malfunzionamento, ecc. Ogni intervento viene archiviato con la data \ ora di intervento e di ritorno al normale.

In un apposito archivio vengono registrati tutti gli interventi di override effettuati sulle varie utenze e sui vari punti di programma.

In un apposito archivio vengono registrate tutte le operazioni effettuate dai vari operatori abilitati sui vari programmi del sistema.

In particolare viene registrata la data \ ora ingresso dell'operatore, la data \ ora di uscita dell'operatore ed i programmi su cui detto operatore è intervenuto. Ogni operatore può registrare messaggi (che potranno essere letti da altri operatori localmente direttamente sul display o remotamente tramite Personal Computer) attraverso la funzione Notepad.

I vari punti configurati con soglie di allarme \ segnalazione hanno livelli di priorità diversi. A seconda delle priorità gli allarmi vengono inviati :

- direttamente sul display
- direttamente sul PC locale
- direttamente sul PC remoto
- su un digital programs
- direttamente su un fax remoto

E' possibile impostare più numeri telefonici di siti remoti per la trasmissione degli allarmi e configurare in quali siti gli allarmi devono essere inviati nelle ore notturne, diverse o nei vari giorni della settimana.

I vari punti configurati come allarme possono essere di tipo digitale o analogico.

I punti di tipo digitale sono configurati come on-off in caso di allarme ed hanno tempi di ritardo assegnati.

I punti di tipo analogico possono essere configurati come soglie di minima\ massima o di variazione graduale della soglia, possono inoltre essere configurati come valori di scostamento dal set point. A ciascun punto inoltre viene abbinato un tempo di ritardo.

Le principali caratteristiche hardware sono di seguito riportate:

- *CPU*

Processore Pentium di ultima generazione con elevata capacità di processare dati.

- *MEMORIA*

elevatissima capacità di memoria che permette al sistema di storicizzare un elevato numero di dati nei vari archivi logs, energetici, override ed allarmi.

- *DISPLAY*

Display a colori tipo TFT dotato di interfacce grafiche, che permettono all'utente di navigare facilmente tra i vari programmi.

- *. TASTIERA*

tastiera dotata di tasti di accesso rapido e diretto ai vari programmi

- *. SCHEDE I/O*

Sono state installate le seguenti tipologie di schede I/O per soddisfare tutte le necessità di monitoraggio e gestione dell'impianto:

- Multiflex 168AO : scheda universale completa di 16 ingressi universali, 8 uscite digitali e 4 uscite analogiche
- Multiflex 168 : scheda universale completa di 16 ingressi universali, 8 uscite digitali
- 16AI : scheda universale completa di 16 ingressi universali

## **8. CONCLUSIONI**

In questo documento sono state riassunte le fasi di progettazione, di scelta dei componenti (meccanici, elettrici e del software di gestione) e di installazione di un impianto sperimentale utilizzando una pompa di calore a CO<sub>2</sub> per il condizionamento di un locale di prova. Ultimato il montaggio di tutti i componenti si procederà ad avviare la fase di sperimentazione vera e propria, che dovrà fornire indicazioni sulle potenzialità del sistema nel condizionamento estivo ed invernale. A seguito di questa fase, si potranno testare ulteriori schemi impiantistici

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

*Attività A.6 – Pompa di calore a CO<sub>2</sub> (R744)*

**Rapporto: RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA**

---

utilizzanti ad esempio un abbinamento con collettori solari per verificare la fattibilità di un sistema completamente integrato che, oltre alle necessità della climatizzazione nell'arco dell'intero anno solare, possa anche garantire la fornitura di acqua calda sanitaria.