

IL PROGETTO MULTIPACK: INSTALLAZIONE E MONITORAGGIO DI SISTEMI DI REFRIGERAZIONE COMMERCIALE INTEGRATI NELL'EUROPA MERIDIONALE

Silvia Minetto^{*(1)}, Giacomo Tosato⁽¹⁾, Armin Hafner⁽²⁾,

⁽¹⁾ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Padova (Italia) silvia.minetto@itc.cnr.it

⁽²⁾ Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, Trondheim (Norway)

INTRODUZIONE

Le soluzioni che operano con anidride carbonica come unico fluido frigorigeno, "alla CO₂", rappresentano attualmente delle possibilità concrete e sostenibili nella refrigerazione commerciale. Secondo De Oña et al, 2017, si prevede che queste unità saranno 25.000 nel 2020 e 55.000 nel 2025 in tutta Europa.

Negli ultimi anni, la sfida consisteva nel rendere le unità a compressione del vapore "alla CO₂" sostenibili in una prospettiva globale, includendo le regioni a clima caldo. Molte soluzioni tecniche, tra cui la compressione parallela e il recupero del lavoro di espansione mediante eiettori bifase, insieme al controllo degli evaporatori in modo da consentire la sovralimentazione, sono ora proposte con successo nel mercato.

Considerando l'elevata domanda specifica di energia nei negozi al dettaglio di alimenti, sono stati messi a disposizione sistemi integrati a CO₂ che forniscono refrigerazione, riscaldamento e raffreddamento dell'ambiente. Consentendo così l'uso di un solo sistema, basato su un unico fluido naturale. Questi sistemi si sono dimostrati competitivi in termini di costi e prestazioni, come dimostrato da Karampour e Sawalha (2018).

In termini generali, l'adozione e la gestione di nuovi sistemi in modo efficiente richiedono consapevolezza, conoscenza interdisciplinare e rafforzamento della fiducia, come ampiamente dimostrato dal progetto europeo SuperSmart.

Il progetto MultiPACK è iniziato nel 2016, con l'obiettivo di dimostrare la disponibilità, l'efficienza, la competitività, l'affidabilità dei sistemi integrati per i supermercati. In particolare, vengono proposti sistemi a CO₂ dotati di multieiettori per il recupero del lavoro di espansione, di compressori per la compressione parallela e con controllo in sovralimentazione degli evaporatori. Queste unità possono soddisfare l'intera domanda di energia dei negozi al dettaglio di generi alimentari, ovvero la refrigerazione, il riscaldamento e il raffreddamento degli spazi e la produzione di acqua calda sanitaria.

Tutti i sistemi MultiPACK sono dotati di strumenti di misurazione per pressione, temperatura, portata massica del refrigerante e potenza assorbita dai compressori, consentendo il monitoraggio delle operazioni e la misurazione delle prestazioni.

Nel seguito vengono introdotti due sistemi MultiPACK, commissionati in Italia centrale e Portogallo rispettivamente nell'estate e nell'inverno del 2018. I layout delle macchine sono illustrati e vengono presentati i dati complessivi di funzionamento e le prestazioni.

L'UNITA' MULTIPACK IN ITALIA CENTRALE

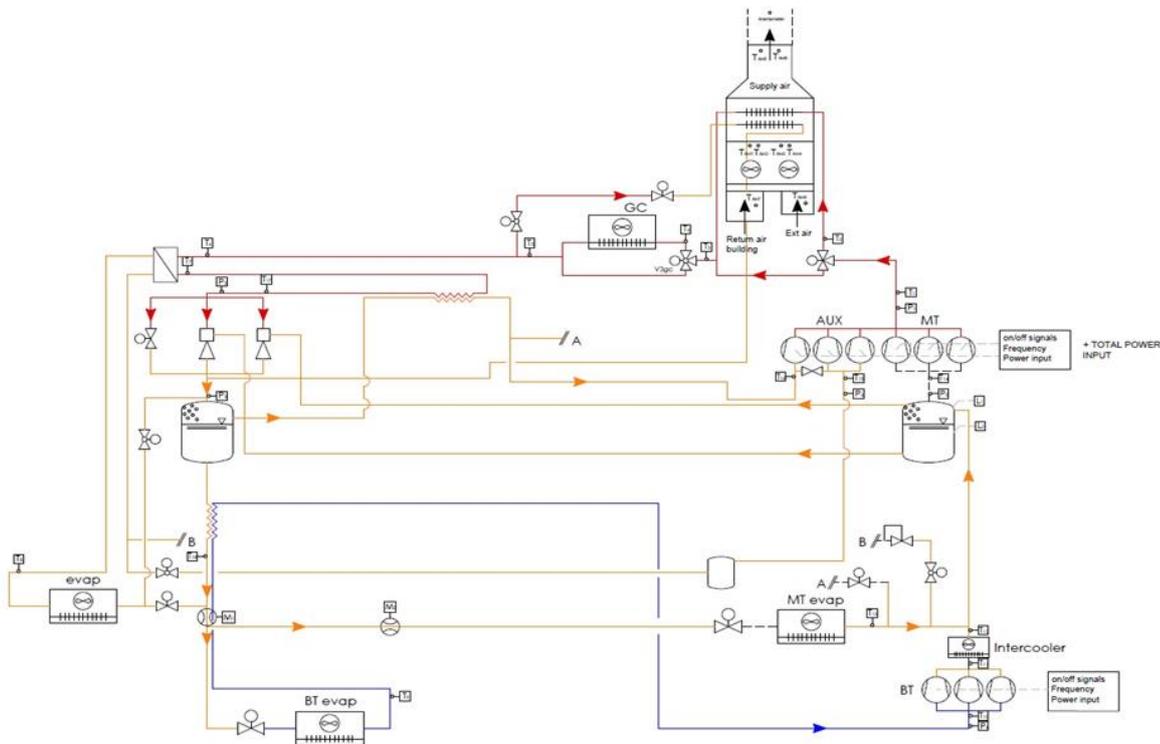


Fig. 1 Layout dell'unità MultiPACK – Italia centrale

La configurazione del sistema è presentata in Fig. 1. L'unità si basa su un concetto booster con compressione parallela e recupero del lavoro di espansione mediante eiettori, utilizzato sia per la pre-compressione del vapore che per il ricircolo del liquido. Sono installati compressori tre compressori semiermetici per ogni livello di pressione di aspirazione. Per ogni gruppo di aspirazione, uno dei tre compressori è azionato da inverter per favorire la modulazione della capacità. L'unità soddisfa la richiesta di riscaldamento e i carichi di raffreddamento del supermercato tramite un'unità di trattamento dell'aria AHU. La CO₂ circola direttamente nelle batterie di riscaldamento e raffreddamento della AHU. Nel periodo invernale, una valvola a tre vie devia l'anidride carbonica verso l'AHU se richiesto dal dispositivo di controllo della temperatura dell'edificio; in questo caso la pressione di mandata viene artificialmente. Se la richiesta di riscaldamento supera il calore recuperato dall'impianto di refrigerazione, viene attivata la modalità pompa di calore. In questo caso il liquido proveniente dal ricevitore fluisce verso l'evaporatore esterno. I compressori ausiliari dedicati che supportano la modalità pompa di calore possono funzionare indipendentemente dagli altri compressori ausiliari che mantengono il livello di pressione nel separatore, rimuovendo il vapore di flash generato dall'espansione e il vapore compresso tramite l'eiettore dal ricevitore MT.

In estate, la batteria di raffreddamento dell'AHU viene alimentata con fluido frigorifero bifase espanso attraverso la valvola di espansione elettronica, dotata di controllo termostatico. È previsto anche il post-riscaldamento dopo la deumidificazione tramite gas caldo.

Un separatore di liquido si trova a valle dei multieiettori, in grado di gestire le variazioni di carica nel circuito. In caso di funzionamento non surriscaldato di alcuni evaporatori MT, a causa del controllo EEV della valvola di espansione elettronica adottato, il liquido accumulato nel ricevitore del liquido di aspirazione viene pompato nel separatore mediante eiettori di liquido.

Per monitorare le condizioni operative vengono utilizzati sensori di tipo commerciale NTC da 10 k Ω e trasmettitori di pressione piezoresistivi. Per valutare la potenza elettrica totale in ingresso, i misuratori di potenza elettrica trifase sono posizionati prima di ogni rack di compressori, cioè i compressori a bassa temperatura (P_{LT}), a media temperatura (P_{MT}) e ausiliari (P_{AUX}). Vengono registrati anche lo stato di ogni singolo compressore e la frequenza dell'inverter. La potenza totale assorbita dal sistema, inclusi gli ausiliari (ventilatori, pompe, motori delle valvole) viene monitorata.

Due misuratori di portata massica di Coriolis (M) si trovano nelle linee del liquido, il primo ($M1$) misura le portate di massa totale di CO₂ sulla linea MT ed LT, il secondo ($M2$) è dedicato alle portate MT. Nell'unità di trattamento aria, sono installati otto sensori di temperatura e umidità relativa per misurare le differenze di entalpia prima e dopo le batterie, insieme all'aria di ritorno dell'edificio e alla temperatura e all'umidità dell'aria esterna. Un anemometro a filo caldo è posizionato sul condotto principale dell'aria, per misurare la velocità dell'aria dell'intero flusso di aria, quindi è possibile calcolare la capacità totale di raffreddamento e riscaldamento fornita dall'unità MultiPACK. I risultati complessivi ricavati dal sito sono riassunti nella Tabella 1; le condizioni invernali sono disponibili dal campo, con riscaldamento acceso, quando il negozio è aperto, e con riscaldamento spento durante la notte. Il COP ($COP_{tot, compr}$) è stato calcolato considerando solo la potenza assorbita dai compressori oppure la potenza totale immessa nell'unità (COP_{tot}), che include l'assorbimento degli ausiliari. Il rapporto di carico ($LR = \frac{Q_{MT}}{Q_{LT}}$) ($LR = Q_{MT} / Q_{LT}$) e il coefficiente di carico termico ($LR_H = \frac{Q_{heating}}{Q_{LT} + Q_{MT}}$) sono stati dettagliati, poiché sono necessari per interpretare e confrontare i risultati COP totali.

L'UNITA' MULTIPACK IN PORTOGALLO

Il layout complessivo del sistema è presentato in Fig. 2. Il sistema MultiPACK si basa su un concetto booster con compressione parallela e recupero del lavoro di espansione mediante eiettori, utilizzati sia per la precompressione del vapore che per il ricircolo del liquido.

Sono utilizzati tre compressori semiermetici per le sezioni di media temperatura MT e bassa temperatura e quattro compressori ausiliari. Per ogni gruppo di aspirazione, un compressore è azionato da inverter per migliorare la modulazione della capacità. L'unità sopperisce anche al fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento del supermercato tramite due unità di trattamento aria AHU. La CO₂ fluisce direttamente attraverso le batterie di riscaldamento e raffrescamento/deumidificazione dell'AHU. Se richiesto dal controllo della temperatura dell'edificio, nel periodo invernale una valvola a tre vie devia la CO₂ calda alle sezioni di riscaldamento, aumentando il livello di alta pressione. Se la richiesta di riscaldamento supera il calore recuperato dall'impianto di refrigerazione, viene attivata la modalità pompa di calore: il liquido proveniente dal separatore viene distribuito all'evaporatore esterno. I compressori ausiliari dedicati che supportano la modalità pompa di calore possono funzionare indipendentemente dal compressore ausiliario che rimuove il gas del flash, a causa dell'elettrovalvola integrata che separa il gruppo di aspirazione.

In estate, le batterie di raffreddamento dell'unità AHU possono essere alimentate in due modi diversi: il primo è uguale a quello adottato nell'installazione in Italia centrale, cioè il frigorigeno si espande dal lato dell'alta pressione direttamente nelle batterie. Nella seconda modalità, gli evaporatori possono essere alimentati prelevando il liquido direttamente dal ricevitore, grazie all'integrazione degli eiettori dedicati al condizionamento AC. In questo caso, l'eiettore rimette in circolo il liquido dal serbatoio recuperando l'energia dal gas espanso ad alta pressione. Quindi, è possibile lavorare in entrambi i modi e infine valutare il beneficio derivante dalla modalità eiettore AC. In estate è previsto il post-riscaldamento dopo la deumidificazione. L'unità MultiPACK fornisce acqua calda sanitaria quando richiesto dall'edificio. Lo scambiatore di calore DHW è posizionato a valle del collettore di scarico dei compressori MT e ausiliari. Una valvola a tre vie può indirizzare il gas caldo nel recuperatore di calore, cioè lo scambiatore di calore ACS, o semplicemente bypassarlo quando non è in funzione. Eiettori di vapore e liquido sono presenti per comprimere il vapore dal ricevitore del liquido di aspirazione al separatore di liquido e per ricircolare il liquido accumulato quando gli evaporatori dei banchi frigoriferi lavorano in modalità sovralimentata.

Tabella 1: risultati dai siti –Italia centrale e Portogallo

	<i>Italia centrale (Feb 2019) Riscald. on</i>	<i>Italia centrale (Feb 2019) Riscald. off</i>	<i>Portogallo (Marzo 2019) Riscald. on</i>	<i>Portogallo (Marzo 2019) Riscald. off</i>
Q_{MT} [kW]	29.2	22.6	24.9	35.7
Q_{LT} [kW]	13.4	10.9	6.1	9.8
$Q_{Heating}$ [kW]	25.5	-	24.3	-
$Q_{Cooling}$ [kW]	-	-	-	-
Q_{DHW} [kW]	-	-	0.4	-
$T_{ev MT}$ [°C]	-4.7	-5.0	-5.0	-5.0
$T_{ev LT}$ [°C]	-31.4	-31.1	-31.0	-31.0
HP [bar]	70.0	53.4	79.4	61.2
$COP_{tot, compr}$	3.4	3.9	4.3	3.4
COP_{tot}	3.1	3.2	3.5	2.9
LR	2.2	2.1	4.1	4.6
LR_H	0.6	-	0.8	-

Per il monitoraggio delle operazioni e delle prestazioni, ci sono 24 sensori di tipo commerciale NTC 10 kΩ. La pressione viene misurata con sette trasmettitori di pressione piezoresistivi. Per valutare la potenza elettrica totale immessa, i misuratori di energia elettrica trifase sono posizionati prima di ogni rack di compressori. Vengono registrati anche lo stato di ogni singolo compressore e la frequenza dell'inverter. La potenza totale assorbita dal sistema, inclusi gli ausiliari (ventilatori, pompe, motori delle valvole) viene monitorata.

Cinque misuratori della portata massica di Coriolis (M) sono posizionati sulle linee del liquido

Un misuratore di portata ($M6$) posto sul lato dell'acqua calda sanitaria, unitamente a due sonde NTC di temperatura posizionate prima e dopo lo scambiatore, consentono di valutare la potenza di riscaldamento dell'acqua calda sanitaria. I risultati complessivi dell'unità MultiPACK installata in Portogallo sono riassunti nella Tabella 1.

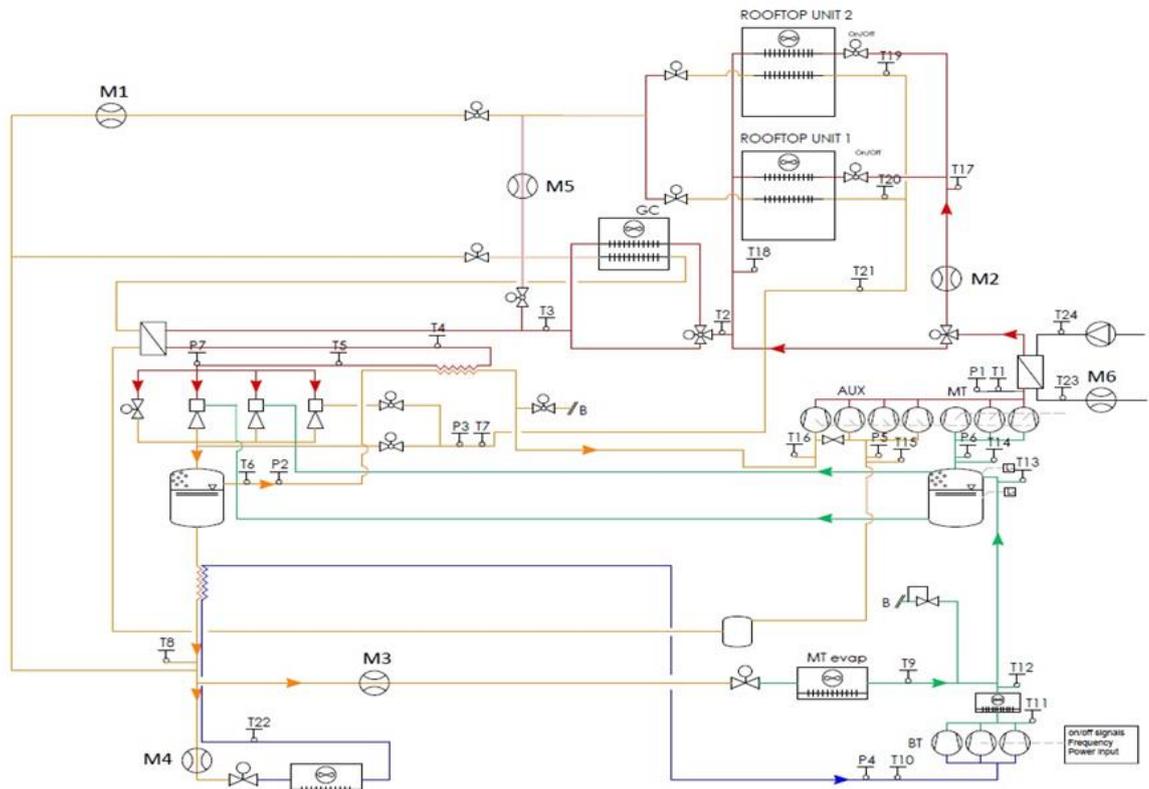


Fig. 2 Layout dell'unità MultiPACK - Portogallo

RINGRAZIAMENTI

L'attività descritta in questo articolo è stata svolta nell'ambito del progetto MultiPACK. MultiPACK è un progetto europeo finanziato dal programma Horizon 2020, con numero identificativo 723137.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- A. De Oña, A. Gkizelis, K. Skačanová, E. Boccabella (2017). Global market and policy trends for CO₂ and Ammonia as natural refrigerants. Ammonia and CO₂ Refrigeration Conference, Ohrid, Republic of Macedonia, IIR.
- Karampour M, Sawalha S., 2018. State-of-the-art integrated CO₂ refrigeration system for supermarkets: A comparative analysis, International Journal of Refrigeration 86: 239–257
- SuperSmart H2020 Innovation Framework Programme, project number 696076. <http://www.supersmart-supermarket.info> (last retrieved 1st February 2019).

