

L'EFFICIENZA ENERGETICA NELLA CATENA DEL FREDDO ALIMENTARE

Lorenzo Tuzzolo FIRF

termine catena del freddo indica l'insieme di tutti i processi di produzione. lavorazione, conservazione, distribuzione e vendita "a temperatura" controllata dei beni deperibili di varia natura. Si possono individuare diverse tipologie di queste catene in relazione al settore e al tipo di prodotto che si va a considerare: ad esempio, si può caratterizzare quella dei farmaci oppure quella alimentare e, scendendo più nel particolare, quella dei vaccini, della frutta, dei surgelati, etc.

La catena del freddo alimentare suscita un interesse particolare, in quanto questo settore rappresenta un tassello fondamentale della società in cui viviamo. Guardando solo al nostro Paese, con i suoi circa 18 TWh di energia elettrica consumata, il comparto del food & beverage risulta essere uno dei più "energivori" nel panorama industriale italiano (11% del totale, secondo le stime di Eurostat del 2016): intervenire in questo ambito può risultare determinante anche per il raggiungimento degli obiettivi di efficienza e decarbonizzazione sia nazionali che europei.

Inoltre, a dimostrazione del suo ruolo fondamentale, nei mesi in cui il lockdown causato dall'emergenza sanitaria da Covid-19 era ai massimi livelli, il settore alimentare

OCUS

è stato uno dei meno colpiti dalla crisi che ne è scaturita e, mentre il 90% delle attività è stata costretta a chiudere per cercare di bloccare l'avanzata del virus, i supermercati sono stati letteralmente presi d'assalto, fisicamente e on-line, e di conseguenza anche tutte le imprese della catena hanno continuato più o meno a lavorare.

La catena del freddo alimentare costituisce solo una parte di tutto il comparto, ma le attività che vi rientrano sono molteplici e coinvolgono moltissime imprese, a partire da quelle agricole, di pesca e allevamento, fino a quelle che portano il cibo direttamente sulla tavola dei consumatori finali: non a caso, l'insieme di tutti questi processi viene spesso descritto con l'evocativa locuzione anglosassone "from farm to fork", dalla fattoria alla tavola.

Il bisogno di freddo alimentare è particolarmente elevato, in quanto necessario per assicurare la conservazione del cibo e fornire ai consumatori prodotti buoni e, soprattutto, non nocivi per la salute. L'International Institute for Refrigeration (IIR) stima che, ad esempio, nei supermercati di tutto il mondo, tra il 30% e il 60% dell'energia elettrica consumata serva ad alimentare le unità di refrigerazione delle vetrine frigo e dei magazzini. Sempre l'IIR stima (al 2018) che a livello globale siano in funzione 120 milioni di attrezzature commerciali per la refrigerazione, vengano utilizzati circa 5 milioni di veicoli refrigerati tra van, camion, etc. e che vi siano circa 2 miliardi tra frigoriferi e freezer domestici.

Numeri importanti e auspicabilmente destinati a crescere, considerando che nei paesi in via di sviluppo la catena del freddo alimentare non è ancora del tutto matura: solo in India, ad esempio, la percentuale di penetrazione della "logistica fredda" raggiunge i livelli del 34% per i prodotti animali e di solo il 22% per quelli vegetali, molto al di sotto della media del 95% di Europa e Stati Uniti. Il potenziamento della catena del freddo a livello mondiale, inoltre, così come indicato dalla FAO nel booklet "The future of food and agriculture - Alternative pathways to 2050" del 2018, può fornire un significativo contributo alla lotta alla fame l'obiettivo numero 2 degli SDG dell'O-NU - in quanto potrebbe permettere di conservare e distribuire il cibo nei paesi dove oggi viene fatto solo in maniera marginale.

Rendere più efficiente questo settore risulterà sempre più necessario, soprattutto in vista dell'incremento prospettato nei paesi emergenti che provocherà, a livello mondiale, una richiesta sempre maggiore di freddo alimentare e, conseguentemente, di energia.

Proprio per cercare di minimizzare gli sprechi e aumentare l'efficienza dell'intera filiera è nato, sul finire dello scorso anno, il progetto ICCEE (Improving Cold Chain Energy Efficency – www.iccee.eu), finanziato dal programma Horizon2020, che si rivolge in particolare alle piccole e medie impre-

focus - Efficienza energetica nella catena del freddo



se europee della catena del freddo. L'obiettivo generale è quello di ridurre il consumo energetico e le emissioni climalteranti del settore alimentare e fornire ai diversi operatori strumenti utili per poter raggiungere benefici non solo a livello energetico: verrà, infatti, data particolare rilevanza anche e soprattutto ai cosiddetti NEB - non-energy benefits o benefici non energetici - legati agli interventi di efficientamento energetico, utilizzando anche i risultati di un altro progetto europeo, entrato ormai nella sua fase conclusiva, M-Benefits (www. mbenefits.eu). Con M-Benefits si è infatti visto che gli interventi volti a migliorare l'efficienza energetica, solitamente, producono anche altri vantaggi quali, ad esempio, un maggiore comfort per dipendenti e clienti o minori costi di manutenzione, che offrono significativi benefici, in alcuni casi anche maggiori rispetto alla sola riduzione dei consumi, ai quali è possibile dare un valore economico e incidere, così, positivamente sulla decisione dell'investimento.

Il carattere innovativo di ICCEE - FIRE è partner di progetto - risiede soprattutto nella volontà di affrontare le varie tematiche utilizzando un approccio olistico, ovvero analizzando la catena del freddo alimentare come un unicum e non come la semplice somma dei diversi anelli che la compongono. In questo modo sarà possibile spostare i confini di analisi sull'intero processo e non soffermarsi solo sulle possibilità di miglioramento delle singole imprese, pur sempre importanti e da tenere in considerazione. Si cercherà di creare sinergie tra i diversi attori, attraverso la condivisione di asset o il riutilizzo degli scarti per creare valore aggiunto riducendo il consumo energetico. Per raggiungere questi obiettivi verrà realizzata una piattaforma online per stimolare la discussione tra i vari stakeholder e verrà sviluppato un tool per aiutare le imprese a stimare i costi e i benefici potenziali derivanti dall'implementazione di azioni di miglioramento dell'efficienza energetica, considerando anche le barriere esistenti e che solitamente ne impediscono l'attuazione.

In quest'ottica di sviluppo, ICCEE costituirà un elemento innovativo e senza precedenti, che potrà essere di supporto alla crescita sostenibile dell'intera filiera, apportando un vantaggio reale per tutti gli attori coinvolti in termini di minori consumi, maggiore qualità dei prodotti e aumento del valore aggiunto.

PASSI E SFIDE DELLA CATENA DEL FREDDO

Marco Buoni. Presidente AREA



La refrigerazione è un settore chiave per il mantenimento della qualità della vita.

I primi mesi del 2020 hanno evidenziato senza ombra di dubbio quanto sia di primaria importanza il ruolo della Catena del Freddo, dalla conservazione (e il trasporto) dei generi alimentari e medici per arrivare al mantenimento dei data center.

La refrigerazione affronta ogni giorno numerose sfide, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, ove la sua diffusione è dieci volte inferiore a quella dei paesi di sviluppati, elemento che si traduce in uno spreco alimentare del 19% (a). Volendo dare alcuni dati abbiamo che:

- Il 50% delle medicine deve essere conservato e trasportato a temperatura controllata.
- Il 40% dei vaccini è inutilizzabile a causa di una carente catena del freddo.
- 800 milioni di persone sono malnutrite.
- Il 50% del cibo deve essere raffreddato, e attualmente solo il 25% lo è.
- La quantità di cibo sprecato potrebbe sfamare 950 milioni di persone (b).

L'IIR (International Institute of Refrigeration) ha suddiviso la catena del freddo in cinque fasi, analizzabili singolarmente.



1. Produzione e trasformazione alimentare

La refrigerazione industriale presenta alcune specificità:

- Ridotto tasso di perdita (5-12% annuo).
- Elevate capacità di refrigerazione per unità¹.
- Costi annui piuttosto elevati (Sono comuni 800 MWh-4 GWh all'anno, con spese tra i 60.000 e i 350.000 € all'anno).

La prestazione energetica degli impianti è una delle principali preoccupazioni, soprattutto se consideriamo l'architettura del circuito di refrigerazione e la scelta del refrigerante.

I fattori che influenzano l'architettura delle apparecchiature sono numerosi, ed esiste una varietà di configurazioni talmente ampia da rendere impossibile generalizzare:

- Temperatura richiesta (raffreddamento o congelamento)
- Natura del prodotto trasformato²
- Dimensione del sito industriale (pochi Kg o diverse tonnellate).

Le sfide da affrontare sono molte: spaziano dallo sviluppo di architetture ad alte prestazioni energetiche (la refrigerazione industriale, in fase di produzione e lavorazione degli alimenti, è ad alta intensità energetica: questo comporta che il consumo energetico deve essere una delle maggiori preoccupazioni, e che occorre lavorare su cicli intelligenti³) alla necessità di imparare a gestire le nuove miscele a basso GWP, soprattuto per gli impianti piccoli, senza dimenticare che occorre dare fiducia ai nuovi

refrigeranti naturali, rispettosi dell'ambiente, anche per le grandi strutture, in particolar modo l'ammoniaca.

Da ultimo, è necessario mantenere una mentalità aperta e osservare la reingegnerizzazione delle "vecchie" soluzioni, che hanno mostrato vantaggi e limiti, oltre allo sviluppo di nuove tecnologie (raffreddamento magnetico, del campo elettrico, termoelastico e così via), anche se è probabile che il loro impiego in ambito alimentare non avverrà in tempi brevi.

A oggi, i sistemi di espansione a compressione con refrigeranti a cambiamento di fase continueranno a essere usati ancora a lungo, mentre per le piccole unità industriali potrebbero essere implementati HFC o HFC-HFO a basso GWP, e probabilmente HC, per cariche di refrigerante molto basse (sotto gli 1,5 kg). Gli HFO sono in fase di studio, a causa dell'infiammabilità e dell'impatto ambientale a lungo termine. L'ammoniaca rimane invece la scelta migliore per i grandi impianti, anche se va maneggiata con attenzione. Promettente l'uso della CO2.

2. Trasporto refrigerato

I veicoli refrigerati si dividono in furgoni, camion e semirimorchi, ma esistono numerose altre opzioni (aerei, container, treni e mezzi navali). Il trasporto deve tenere conto di fattori estremamente variegati tra loro: esistono vincoli speciali per i container, che viaggiano per mesi e mesi in mare, per i pescherecci, che devono rispettare normative particolari, bisogna tenere conto del fatto che sono stati fatti ancora pochi investimenti

¹ Piccole unità: 15-20 kWref | Unità standard: 200-500 kWref | Grandi impianti: 1-5 MWref

² Frutta e verdura, prodotti a base di carne, uova e latticini, materie prime e alimenti trasformati

³ Desurriscaldatori, pressioni variabili, cascata, lavori di ampliamento, recupero di calore...

sull'industria aerospaziale, sono da considerare costi e sicurezza, la scarsa diffusione di CO2 e Propano, le leggi nazionali e interazionali. In ogni caso, è possibile individuare una serie di opzioni comuni per i refrigeranti scelti nel trasporto refrigerato:

Tipi di trasporto	Refrigeranti correnti GWP superiore (GWP kg CO2)	Refrigeranti alternativi GWP inferiore (GWP kg CO2)
Contenitori refrigerati, trasporto stradale, treni	HFC-134a (1360) HFC-404A (3920) HCFC-22 (1810)	R-744 (1) HFC-452A (1950) HFC-513A (573) HC-290 (5) R-717 (0)

3. Applicazioni per i pescherecci

L'uso di R-22 ed R-404A può essere evitato nella maggior parte dei nuovi sistemi, e quelli centralizzati si basano soprattutto sull'uso di CO2 ed ammoniaca. Occorre investire sulla formazione: esistono soluzioni tecniche applicabili, ma prima di poter implementare CO2 ed ammoniaca è fondamentale che i Tecnici sappiano maneggiarli in sicurezza.

Per le conversioni da R-22/404A, spesso esistono miscele adatte con glide per i piccoli sistemi ad espansione diretta, ma non esiste una soluzione chiara per i sistemi di grandi dimensioni, e il retrofit può portare a un calo delle prestazioni: l'intero sistema andrebbe revisionato o sostituito.

4. Magazzino refrigerato

Per quanto riguarda le emissioni dirette, i refrigeranti nei grandi impianti sono spesso a basso GWP, come l'ammoniaca. Le perdite di refrigerante sono intorno all'8% all'anno creando problemi di sicurezza.

Le principali problematiche riguardano i consumi energetici ed è plausibile raggiungere un risparmio energetico intorno al 30-40% con i giusti accorgimenti.

Nei prossimi anni sarà fondamentale sfruttare le molte opzioni che possono contribuire a ridurre le emissioni: Co e tri-generazione, migliorare il recupero di calore, che vada a integrare l'utilizzo di risorse energetiche rinnovabili.

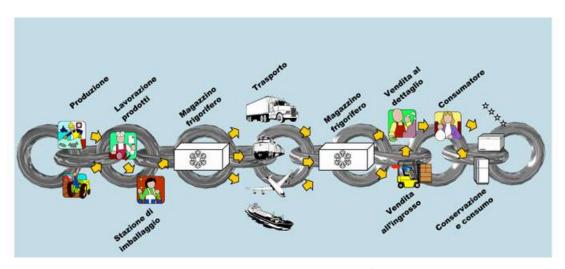


Figure 1 - La Catena del Freddo. Fonte Giovanni Panno, Università di Palermo.

5. Refrigerazione commerciale, professionale e domestica

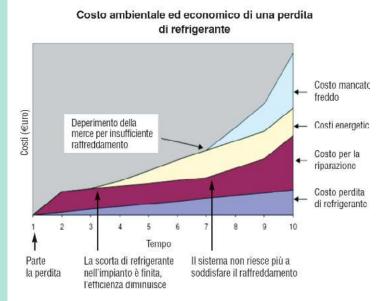
Occorre migliorare la qualità della catena del freddo, soprattutto a livello dei consumatori.

Per la salvaguardia ambientale occorre ridurre il consumo di energia: sebbene esistano molte opzioni, sono spesso ostacolate da fattori quali i costi elevati (ignorando i benefici a lungo termine), e le inefficienze dovute alle vendite (es. porte degli armadi, banchi frigo nei supermercati). Fondamentale è l'etichettatura energetica, che ha dimezzato il consumo nei frigoriferi di casa. Le opportunità per ridurre le emissioni dirette passano invece dall'aumento dell'uso in sicurezza dei refrigeranti idrocarburi e A2L, e sono in sviluppo numerosi nuovi sistemi (magnetocalorici, elettrocalorici, acustici) prossimi alla commercializzazione, che ben si adattano alle unità plug-in.

Conclusione

Esistono numerose soluzioni con potenziale di riscaldamento globale inferiore all'attuale. È quindi difficile consigliare una soluzione semplice, ma occorre tenere a mente che:

- il problema energetico prevale su quello dei refrigeranti per l'impatto generale sul cambiamento climatico.
- il controllo della temperatura è ancora un problema, con danni alla salute e ampio spreco alimentare
- Spesso, anche le perdite più importanti di refrigerante possono essere evitate, riducendo le emissioni di gas serra;
- Anche se compaiono sul mercato tecnologie alternative, i sistemi a compressione del vapore (con refrigerante) saranno ancora predominanti a lungo,
- L'informazione e la formazione ha un ruolo chiave, per garantire la conoscenza e la consapevolezza sulle nuove tecnologie e rispettare i parametri di sicurezza necessaria quanto mai nel settore.



Bibliografia:

(a) Da PASSI E SFIDE DELLA CATENA DEL FREDDO |Didier Coulomb - IIR 18th European Conference: Latest technologies in refrigeration and air conditioning Politecnico di Milano, De Donato Room - 6 e 7 Giugno 2019 (b) Segreteria World Refrigeration Day giugno 2020



L'applicazione di refrigeranti a basso GWP

nel settore della refrigerazione commerciale

Marco Masoero,

Professore Dipartimento Energia Politecnico di Torino



Il regolamento UE 517/2014 intende limitare la produzione e l'immissione sul mercato europeo di specifici fluidi refrigeranti a effetto serra. Il regolamento vieta dal 2020 l'uso degli HFC con Global Warming Potential GWP ≥2500 nelle nuove apparecchiature per la refrigerazione e anche per l'assistenza e la manutenzione degli impianti di refrigerazione con carica pari o superiore a 40 t CO2 equivalente (circa 10 kg di R-404A / R-507A). Dal 2022, gli HFC con GWP ≥150 saranno vietati in tutti i nuovi impianti commerciali di refrigerazione centralizzati multipack di potenza ≥40 kW, tranne che per alcuni tipi di impianti a cascata, e nei frigoriferi e congelatori commerciali di tipo stand-alone. Pur con vincoli normativi meno stringenti, la tendenza a sostituire i refrigeranti a elevato GWP ha investito anche il settore dei trasporti refrigerati, che rappresenta un anello fondamentale nella catena del freddo.

La scelta di un refrigerante dipende da diversi fattori, alcuni legati alla natura della sostanza, altri all'accoppiamento refrigerante/sistema, altri ad aspetti tecnico-economici. L'impatto ambientale (lesività per lo strato di ozono troposferico ed effetto serra), la tossicità, l'infiammabilità e la corrosività (da cui dipende la compatibilità del refrigerante con i materiali delle apparecchiature) sono tutte caratteristiche legate alla natura del refrigerante, che dovrà possedere specifiche proprietà termodinamiche atte a garantire adeguati livelli di efficienza energetica dei sistemi. Altri fattori condizionanti sono la disponibilità commerciale e il prezzo del refrigerante, e il costo della tecnologia associata. Alcuni refrigeranti possono essere sostituiti da altri senza alcun intervento (operazione di drop-in), altri richiedono modifiche delle apparecchiature di grado variabile, che possono andare da semplici interventi sul sistema o su parti di esso (retrofit delle apparecchiature esistenti), al cambiamento radicale della tipologia di sistema e quindi alla sua sostituzione.

Sono presentati in questo articolo i principali risultati del progetto biennale di ricerca Green Gas, finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito del POR FESR 2014/2020. Il progetto ha coinvolto tre aziende del distretto industriale di Casale Monferrato - SandenVendo Europe, Heegen e Cold Car – che producono, rispettivamente, distributori automatica di bevande, vetrine refrigerate espositive, e sistemi di refrigerazione passiva per trasporto di merci deperibili.

I fluidi utilizzati nei dispositivi attualmente in produzione sono in prevalenza R-134a, R-404A e R-507. A seguito di un'attenta analisi dei vincoli tecnico-produttivi e delle opportunità connesse con l'innovazione, sono stati individuati come fluidi sostitutivi R-290 (propano) per il distributore di bevande e R-452A (miscela zeotropica di HFO, R-1234yf, e HFC, R-32 e R-125) sia per le vetrine, sia per il trasporto refrigerato. Le caratteristiche principali dei vari fluidi sono riportate in Tab. 1.

	Fluidi attuali		Fluidi sostitutivi		
Refrigerante	R-134a	R-404A	R-507	R-452A	R-290
GWP	1430	3900	3800	1945	20
Classe di sicurezza	A1	A1	A1	A1	A3
T critica (°C)	101,06	72,05	70,62	75,10	96,74
P critica (bar)	40,67	37,29	37,05	40,10	42,36

Tab. 1 – Caratteristiche dei fluidi refrigeranti attuali (GWP elevato) e sostitutivi (GWP ridotto)

Nel caso del distributore di bevande è stato scelto l'R-290, refrigerante naturale con basso GWP e proprietà termodinamiche confrontabili con quelle dell'R-134a. E' una sostanza di moderata tossicità, ma altamente infiammabile (Classe di sicurezza A3). Tale caratteristica richiede particolare attenzione, per la presenza di componenti che potrebbero generare archi elettrici. Si è pertanto escluso l'impiego dell'R-290 negli impianti esistenti, anche per la difficoltà di reperire a costi contenuti componenti idonei a lavorare in

atmosfere potenzialmente infiammabili. E' stato quindi progettato un sistema che non permette la propagazione di R-290 all'interno del distributore. L'impianto refrigerante prevede due circuiti accoppiati con uno scambiatore a piastre intermedio: un circuito primario a R-290, posizionato in una zona sicura e ventilata dell'apparecchio, e un circuito secondario ad acqua glicolata che controlla la temperatura dei prodotti all'interno del distributore. In Fig. 1 sono riportate alcune immagini della soluzione adottata.



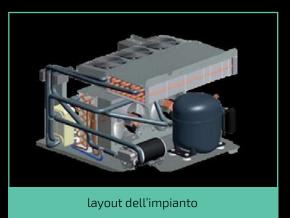






Fig. 1 – Immagini del distributore di bevande.

La progettazione del circuito primario a R-290 si è basata su componenti già impiegati negli impianti a R-404A. Le modifiche principali riguardano la tipologia di evaporatore (scambiatore a piastre anziché a pacco alettato) e il ridotto diametro delle tubazioni, per limitare la carica di refrigerante e rispettare i limiti imposti da normativa. Il prototipo è stato testato in camera climatica a 32,5°C - 65% R.H., condizioni richieste dal cliente finale per la validazione del prodotto. Le prove sono state eseguite su un modello con impianto a R-404A e sul prototipo a R-290. Nel test di pull-down a pieno carico (504 lattine) sono state raggiunte le condizioni di progetto (temperatura interna media di 2°C) rispettivamente dopo 16h 27' e dopo 16h 16'. A differenza di quanto ci si potesse aspettare, l'integrazione del circuito secondario ha determinato un leggero miglioramento delle prestazioni energetiche dell'impianto: l'impianto a R-404A ha fatto registrare un consumo elettrico sulle 24 h pari a 8,51 kWh mentre quello a R-290 di 8,41 kWh.

Per quanto riguarda le vetrine refrigerate, per le quali la soluzione di medio termine saranno gli idrocarburi, è stato scelto nell'immediato un retrofit plug-in, anche per venire incontro alla richiesta di alcuni clienti di non utilizzare fluidi altamente infiammabili. Si è pertanto deciso di sostituire l'attuale refrigerante (R-404A) con l'R-452A (miscela azeotropica di HFO e HFC); tale fluido appartiene alla medesima classe di scurezza (A1), ha proprietà termodinamiche simili, ma GWP pari a circa metà di quello attualmente impiegato. I test eseguiti sulle vetrine di produzione, confrontando apparecchi con R-452A e R-404A, hanno dato risultati soddisfacenti incrementando del 5% la carica di refrigerante.

Anche per le carrozzerie refrigerate, le minori restrizioni normative hanno suggerito di sostituire l'attuale fluido R-507 con un retrofit a R-452A. Verificato il corretto funzionamento con tale fluido, si è passati a valutare le prestazioni mediante prove comparative in camera climatica su una carrozzeria di dimensioni esterne 3600 x 2040 x 1550h e coefficiente globale di scambio termico 0,22 W/m2K.

L'impianto comprende due valvole di espansione termostatiche e un evaporatore accoppiato con cinque piastre contenenti soluzione eutettica per l'accumulo del freddo nel comparto refrigerato, con cambiamento di stato liquido a -33°C. L'unità condensatrice (motocompressore semi-ermetico e condensatore raffreddato ad aria) è ubicata sotto il pavimento della carrozzeria e lavora solamente durante la sosta dell'automezzo a fine servizio, con alimentazione da rete. Il circuito è dotato di dispositivi di controllo di alta bassa pressione; la temperatura interna è regolata tramite un termostato tarato -42°C con differenziale di 5°C e con sonda NTC a contatto con l'ultima piastra eutettica del circuito.

La prima prova è stata realizzata attenendosi a quanto previsto dalla normativa ATP: camera di prova isolata con temperatura ambiente Text = +30°C costante e con un apporto termico pari a 120 W posto all'interno della carrozzeria durante la fase che fa seguito al periodo di carica dell'impianto eutettico. La prova ha evidenziato un andamento molto simile dei valori riscontrati sia nelle prime 24 h della fase di carica che nelle successive 12 h di mantenimento della carrozzeria con l'impianto frigorifero spento. La temperatura interna, risultante dalla media delle temperature delle sonde posizionate all'interno della cella, ha un andamento simile sia per R-507 che per R-452A come si vede nel grafico di Figura 2.

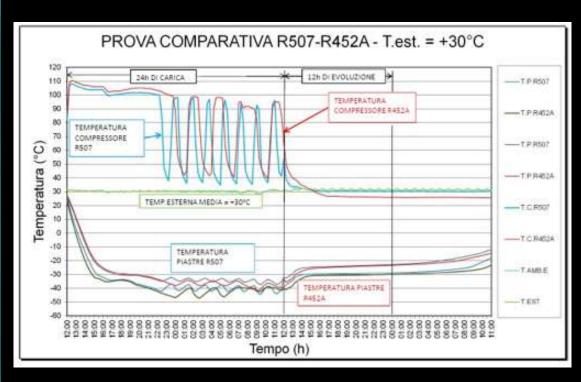
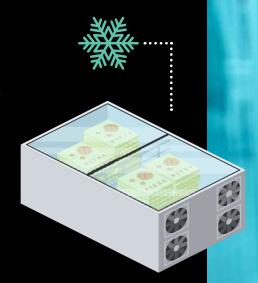


Figura 2 - Andamento temperature prova comparativa ($T_{ovt} = 30$ °C).

Si può notare che per le sonde poste sulle piastre eutettiche le temperature raggiunte con R-452A sono leggermente più basse di quelle ottenute con R-507. Questa tendenza determina, soprattutto nella fase di ON-OFF del termostato, un maggior assorbimento del compressore: i consumi nelle 24 h sono 41,1 kWh per l'impianto a R-452A e 40,2 kWh per quello a R-507 e (+2,24%). Nella fase di ricarica dopo il servizio sono stati rilevati i valori di bassa ed alta pressione: si è evidenziato un maggior rapporto di compressione del nuovo fluido rispetto a quello tradizionale, il che giustifica il maggior consumo rilevato.



Dopo la prova comparativa in condizioni standard si è proceduto a un confronto in condizioni ambiente estreme ($Text = 40^{\circ}C$) senza modificare l'impianto frigorifero (Fig. 3). Come è naturale, il compressore utilizza più potenza per un tempo maggiore per portare le piastre in temperatura: il periodo di carica passa a 15h per R-507 (nella prova precedente erano 10,30h) e a 15,45h per R-452A (in precedenza erano 12h). Nella prova si è registrato un andamento simile delle temperature poste sulle piastre e un incremento delle temperature del compressore, un comportamento quest'ultimo prevedibile visto l'aumento delle condizioni ambiente esterne, ma che riconferma l'interscambiabilità dei due gas confron-

tati senza dover ricorrere ad alcuna modifica a livello impiantistico. Contrariamente alla prova con Text = 30°C, nella prova con Text = 40°C il consumo totale nelle 24h è minore con il nuovo fluido: 49,8 kWh per R-452A e 51 kWh con R-507.

Il risparmio ottenuto di 1,2 kWh, che deriva da un minor rapporto di compressione rilevato durante l'intero ciclo di 24 h, corrisponde al 2,35% del consumo totale con R-507. Tale risultato è apprezzabile, visto che le carrozzerie esaminate sono in uso anche in paesi con condizioni di temperatura simili a quelle della prova a 40°C e che il consumo di energia primaria è il principale fattori di impatto della carrozzeria, valutato sull'intero ciclo di vita del prodotto.

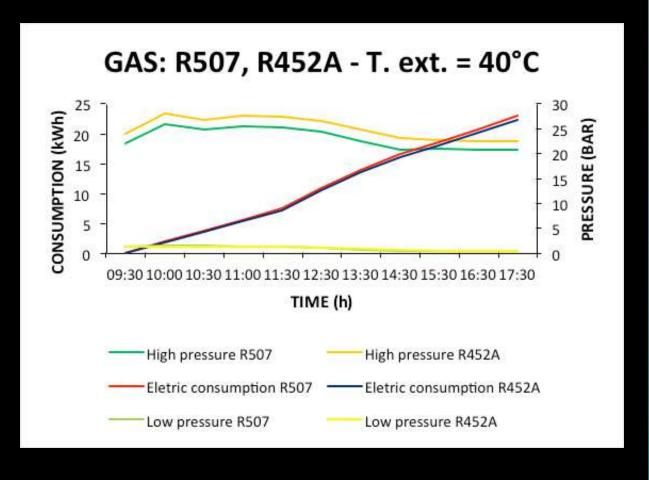


Fig. 3 - Consumi energetici prova comparativa ($T_{ext} = 40$ °C).

Quando i consumi nella refrigerazione fanno risparmiare energia

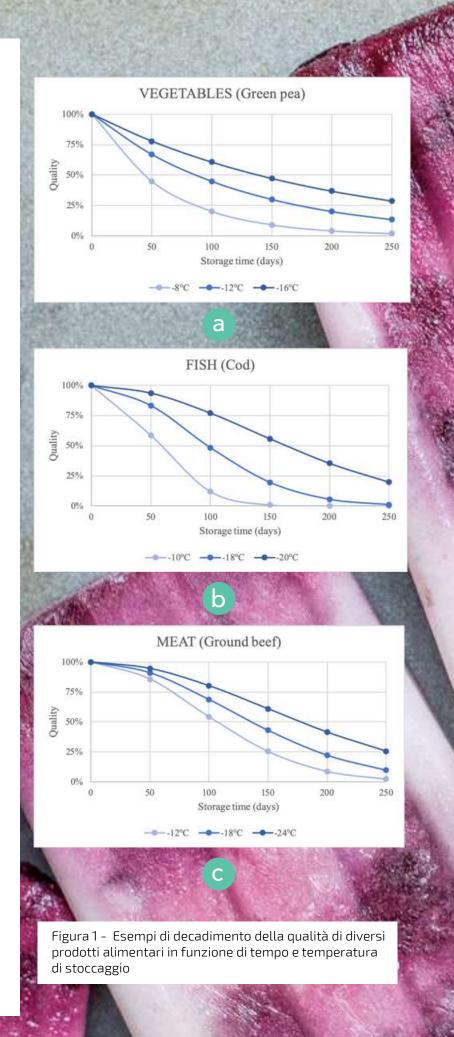
Simone Zanoni, Beatrice Marchi Università degli Studi di Brescia

L'industria alimentare rappresenta circa un quarto delle emissioni totali globali di gas a effetto serra. Ouasi il 24% di queste emissioni proviene da rifiuti alimentari, il che significa che lo spreco alimentare è responsabile di circa il 6% delle emissioni totali che contribuiscono pesantemente ai cambiamenti climatici. Gli sprechi alimentari possono verificarsi sia lungo la catena di approvvigionamento risultante principalmente dalla mancanza di un'appropriata refrigerazione che porta ad un deterioramento durante il trasporto, lo stoccaggio e il processo produttivo (responsabile di circa del 15% delle emissioni legate allo spreco alimentare), sia da parte di rivenditori e consumatori per il cibo che viene scartato (circa il 9% delle emissioni legate ai rifiuti alimentari). Per produrre questo cibo che non verrà mangiato, vengono sfruttate e consumate diverse risorse (acqua, energia e fertilizzanti). In aggiunta al cibo scartato, vi è una notevole quantità di perdita di qualità legata alla riduzione dell'apporto nutrizionale. Ad esempio, negli spinaci confezionati si può ritrovare solo il 53% della vitamina B9 dopo 8 giorni, 6 giorni e 4 giorni a 4 ° C, 10 ° C e 20 ° C, rispettivamente (Pandrangi & LaBorde, 2004). Oltre alla produzione di gas a effetto serra durante il degrado degli alimenti (come ad esempio etilene e metano), un impatto ambientale rilevante dei rifiuti alimentari è legato alla perdita di tutta l'energia spesa per la lavorazione e lo stoccaggio degli alimenti lungo la catena di approvvigionamento.



Le catene del freddo sono catene logistiche controllate a livello ambientale che mirano a preservare la qualità delle merci deperibili (ad esempio alimenti refrigerati e congelati), collegando le attività di lavorazione, stoccaggio e distribuzione dall'azienda agricola alla tavola. Il prodotto alimentare, il mercato di riferimento e la struttura logistica della filiera incidono sul tempo totale trascorso per percorrere la filiera. Alcune catene del freddo possono durare alcune ore, come nel caso del latte fresco, e altre alcuni mesi o fino ad alcuni anni, come ad esempio per i prodotti alimentari congelati.

Questa particolare categoria di prodotti presenta una tipicamente un'alta sensibilità all'ambiente esterno (Figura 1): in particolare, la temperatura è uno dei parametri che più ne influenza la qualità, in termini di riduzione di nutrienti (e.g., vitamina C). Pertanto, devono essere refrigerati in ogni fase della catena di approvvigionamento per mantenere le condizioni ambientali prescritte che rallentano il deterioramento al fine di consegnare ai consumatori finali prodotti che soddisfano i requisiti di sicurezza e qualità. Le diverse temperature impostate durante le fasi di stoccaggio e trasporto comportano un diverso degrado della qualità ma anche diversi consumi energetici, il che significa diversi costi e impatti ambientali.



Tre sono i principali contributi alle emissioni complessive legate all'industria alimentare: emissioni da energia (principalmente a scopo di refrigerazione), emissioni da perdite di refrigerante ed emissioni da rifiuti. La Figura 2 mostra le emissioni equivalenti di CO2 delle catene refrigerate e congelate per un tipico pasto composto da pollo, piselli, carote e patate arrosto, per quattro persone (Evans, 2012).

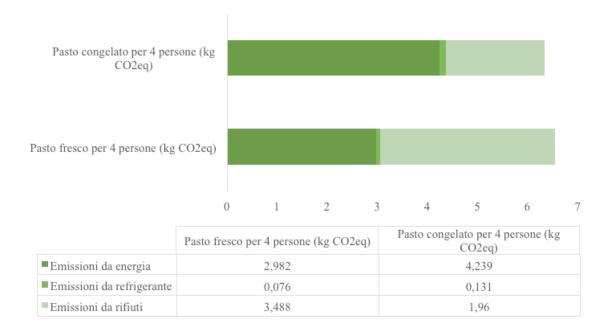


Figura - 2 Emissione da un pasto per 4 persone da catene refrigerate e congelate (Evans, 2012).



Un problema significativo nella gestione della catena del freddo è rappresentato dai diversi requisiti (e.g., intervalli di temperatura ottimali) di diverse categorie di prodotti alimentari deperibili per massimizzare la durata di conservazione e il potenziale commerciale. La sfida principale consiste nel mantenere la temperatura di ciascun alimento nell'intervallo desiderato lungo l'intera catena del freddo. Garantire l'integrità della catena del freddo per i prodotti alimentari sensibili alla temperatura richiede esigenze supplementari connesse al mantenimento di un livello di temperatura adeguato, al confezionamento e al monitoraggio continuo delle condizioni.

Le industrie e i consumatori stanno diventando sempre più consapevoli delle preoccupazioni ambientali della refrigerazione e dei rifiuti alimentari. Per questo motivo e per via delle rigide normative imposte dai governi, gli attori della catena del freddo sono tenuti a controllare e mantenere le temperature appropriate, dal momento che la relazione tempo-temperatura di un prodotto, dalla sua produzione fino al consumo finale, influenza profondamente la qualità organolettica e sanitaria. Anche se grazie alle nuove tecnologie, questo tema ha registrato notevoli progressi, la storia termica di un prodotto alimentare refrigerato o congelato rimane solo parzialmente nota.

La refrigerazione è, pertanto, di vitale importanza per la conservazione della qualità degli alimenti. Una refrigerazione insufficiente porta a un fallimento nel mantenere gli alimenti deperibili nell'intervallo di temperatura richiesto, il che rende il prodotto non commestibile a causa della crescita di agenti patogeni e di microrganismi deterioranti o comunque a una rapida riduzione dei componenti nutrizionali. Attualmente, solo il 10% degli alimenti prodotti viene correttamente refrigerato e fino al 30% viene perso prima che raggiunga il frigorifero domestico, il che significa sostanziali questioni economiche, ambientali ed etiche. Variazioni di temperatura che escono dall'intervallo di tolleranza dei prodotti in ogni fase della catena del freddo incidono significativamente sulla qualità finale del cibo che porta allo spreco finale. I rifiuti alimentari si riferiscono a un livello inaccettabile di qualità o ad alimenti scartati dai rivenditori o dai consumatori a causa di decadimento microbico, malattie o danni provocati da insetti. Nella catena del freddo possono verificarsi in diverse fasi: i) stoccaggio; ii) imballaggio e lavorazione; iii) distribuzione e trasporto; e iv) stoccaggio refrigerato nella filiera logistica e nei display dei punti vendita. Molte cause possono essere identificate, come l'utilizzo di imballaggi non appropriati o scadenti, una cattiva gestione post-raccolta,



lo stoccaggio di prodotti con requisiti di temperatura e tassi di decadimento diversi nello stesso magazzino o contenitore, interruzioni della catena del freddo (e.g., arresto della refrigerazione nel trasporto dovuta allo spegnimento del motore), mancanza di infrastrutture e strutture adeguate per la refrigerazione, consegne dell'ultimo miglio senza refrigerazione e formazione insufficiente degli operatori della catena del freddo. Misurazioni della relazione tempotemperatura di diversi prodotti mostrano come il trasporto (comprese le attività di carico e scarico) e lo stoccaggio, in particolare negli scaffali dei rivenditori, siano tra le attività più problematiche nella catena del freddo, a causa dei frequenti aumenti di temperatura superiori ai requisiti dei prodotti alimentari. Ad esempio, poiché i rivenditori sono, in genere, più preoccupati per l'attrattiva di un prodotto che per la sua conservazione, tendono a sovraccaricare la parte anteriore degli espositori o a posizionare i prodotti sulle mensole al livello più alto al quale corrispondono temperature più elevate di quelle impostate.

Tutto quando indicato ci deve quindi far riflettere sui consumi nella refrigerazione, non sempre solo pensando alla riduzione degli stessi ma come a in determinati casi anche come l'aumento di sforzi di refrigerazione potrebbe portare in un'ottica sistemica a un risparmio di energia.

Riferimenti

- 1. Evans, J., 2012. Carbon emissions from chilled and frozen cold chains for a typical UK Sunday roast chicken meal. Langford, North Somerset.
- 2. Pandrangi, S., & LaBorde, L. F. (2004). Retention of folate, carotenoids, and other quality characteristics in commercially packaged fresh spinach. Journal of Food Science, 69(9), C702-C707.
- 3. http://bfff.co.uk/wp-content/uploads/2013/06/Carbon-Emissions-from-Chilled-Frozen-Report-Sept-12.pdf
- 4. Zanoni, S., Zavanella, L. (2012) Chilled or frozen? Decision strategies for sustainable food supply chains. International Journal of Production Economics, 140 (2), pp. 731-736.



Comparazione di tecnologie per la refrigerazione nei piccoli supermercati

Dimitry Renesto
HVAC/R Applications Specialist - CAREL

Molte volte ci si chiede quali siano le prestazioni reali di un'unità una volta installata in campo. Spesso lo scopo è di fare dei confronti tra diverse unità o tecnologie, per capire quale sia quella più efficiente o almeno quella più conveniente per l'utilizzatore finale in termini di costi/benefici.

Si tratta di una delle valutazioni più complesse da eseguire con simulazioni e modelli puramente teorici; spesso si ricorre a modelli ricavati o tarati su una ampia base di dati reale che confermi il modello stesso. Si deve infatti tener conto di una molteplicità di fattori interconnessi tra loro e a volte addirittura difficilmente misurabili.

Tali valutazioni risultano ovviamente più semplici in ambiti in cui ci siano unità che funzionano h24, praticamente quasi a carico costante, ad esempio per il trattamento di fluidi di processo industriale o, in altri casi, con unità con variazione delle condizioni operative molto limitate.

Pensiamo invece a un impianto di refrigerazione di un negozio di generi alimentari, costituito da banchi frigo connessi all'unità condensante esterna. Vorremmo fare il confronto tra due supermercati che montano unità con tecnologia diversa, per capire quale sia più efficiente e poter quindi scegliere in maniera oculata per le installazioni future.

Il comportamento di questo sistema composto da banchi e unità condensante è influenzato da molti fattori:

- la tipologia/tecnologia di unità condensante e di banchi frigo (evaporatori) installati
- la quantità stessa di banchi frigo installati (in caso di due diversi supermercati)
- l'energia frigorifera richiesta da questi banchi nella realtà durante il loro funzionamento (non la potenza di targa)
- il comportamento del banco frigo, diverso se carico o scarico di merce o se appena caricato per rifornirlo
- il tempo di apertura e chiusura delle porte e quindi quanto il banco sia utilizzato dai consumatori nei diversi giorni di apertura del negozio
- le diverse tipologie di regolazione sia per l'unità condensante esterna sia per i banchi frigo per ottenere temperature più o meno stabili e continue
- l'influenza delle condizioni climatiche esterne e anche interne dell'ambiente del negozio che influenzano il sistema
- i fattori come la carica di refrigerante ed il dimensionamento delle unità che influiscono sulle prestazioni





Infine, se si vogliono confrontare dei sistemi con delle misure reali, la bontà della strumentazione e del metodo di misura che si usano per il confrontoincidono sul grado di precisione che si vuole ottenere nelle misurazioni stesse.

Per ottenere un confronto significativo e realistico grazie a un metodo il più possibile "scientifico" bisogna tener conto di tutti questi fattori, e anche di quali assunzioni fare e di come ottenere delle misure "significative" e "confrontabili".



È quello che come CAREL abbiamo provato a fare, quando ci siamo chiesti quanto fosse efficiente il sistema High Efficiency Condensing Unit (Hecu) con inverter DC e valvola elettronica rispetto ad altri sistemi.

Coadiuvati dall'esperienza e dal supporto dell'istituto Fraunhofer ISE che ha realizzato la raccolta e l'analisi dati in modo indipendente e grazie alla disponibilità di un negozio reale in Nord Italia, abbiamo realizzato un sistema di 5 banchi frigo di media temperatura gestiti da un'unità condensante esterna e funzionante con refrigerante R448A.

Lo scopo dell'analisi è stato il confronto tra 4 combinazioni diverse di tecnologia e regolazione sia lato condensante che banchi frigo e nello specifico:

- Compressore con inverter DC e valvola elettronica sui banchi (Soluzione Hecu proposta da Carel)
- Compressore con inverter DC e valvola termostatica meccanica sui banchi
- Compressore con modulazione PWM e valvola termostatica meccanica sui banchi
- Compressore on-off e valvola termostatica meccanica sui banchi

Abbiamo progettato e realizzato l'unità condensante con tre tipologie di compressori al suo interno che condividevano lo stesso condensatore per mantenere la stessa lunghezza tubi ai banchi per tutte le configurazioni. Ciascun banco frigo è dotato sia di valvola elettronica che di valvola meccanica installate in parallelo nello stesso punto.

Abbiamo scelto di far funzionare le diverse configurazioni con rotazione giornaliera, passando ogni 24h alla configurazione successiva. La raccolta dati è durata un intero anno permettendo così di avere un campionamento sufficientemente ampio, sia per uniformare i diversi giorni di funzionamento del negozio, sia in termini di profilo climatico del sito di installazione. Si è potuto così pesare in modo uniforme sia il diverso afflusso di persone e di merce nel negozio in diversi giorni, sia la stagionalità del clima esterno poiché tutte le soluzioni hanno lavorato ciclicamente per l'intero anno.

Al fine di realizzare un'analisi imparziale basata sulla produzione reale di capacità frigorifera del sistema, e non semplicemente sul consumo energetico, è stato installato un misuratore di portata del refrigerante sulla linea comune del liquido ai banchi. Così è stato calcolato un coefficiente di prestazione che pesasse il consumo elettrico in funzione della reale produzione di freddo generata dall'unità nel tempo.

La regolazione delle singole soluzioni è stata fatta con soluzioni standard di controllo presenti nel mercato per valutare l'applicazione reale mentre l'acquisizione dei dati di temperatura e pressione è stata realizzata con sonde a maggiore precisione rispetto a quelle industriali di regolazione. Per tutto l'anno si è realizzata l'acquisizione dei dati con una frequenza di campionamento di 1 minuto per avere maggiore sensibilità sulle differenze di regolazione del sistema.

Un sistema "multi-configurazione" come questo è facilmente gestibile in laboratorio per test, ma essendo istallato in un negozio reale si sono dovute affrontare anche altre sfide. L'unità è stata certificata secondo le normative necessarie di sicurezza e affidabilità per poter garantire l'installazione in campo. Inoltre, è stata garantita l'affidabilità e la ridondanza necessarie per assicurare la capacità frigorifera ai banchi frigo del negozio indipendentemente dalle esigenze di test delle configurazioni. Per questo è stato realizzato un sistema di supervisione e controllo remoto in grado di gestire tutti i singoli controllori delle diverse configurazioni. Tale sistema si occupa della gestione del cambio soluzioni ogni 24h, sia lato centrale sia lato banchi, eseguendo specifiche procedure di recupero olio e attivazione valvole e compressori. Inoltre, per garantire la massima affidabilità al negozio, sono stati monitorati e gestiti tutti gli allarmi delle singole soluzioni. Anche in caso di blocco di una di queste, il sistema passava automaticamente alla successiva per garantire il freddo agli alimenti del negozio, inviando contemporaneamente mail e messaggi di allarme per poter pianificare eventuali interventi.

Se vi state chiedendo quali siano i risultati di tutto questo lavoro...vi posso dire che la soluzione Hecu di Carel con compressore inverter DC e valvola modulante ExV, permette un incremento di efficienza anche superiore al 20% rispetto alle altre soluzioni.

La modulazione continua consente di lavorare con un'evaporazione più alta e di fornire continuamente solo il freddo necessario senza sprechi o accensioni e spegnimenti che destabilizzano il sistema. Ciò si riflette anche su un'ottimale controllo della temperatura del banco frigo (e quindi del prodotto) che risulta estremamente stabile (+/-0,3°C in media) rispetto al setpoint impostato.

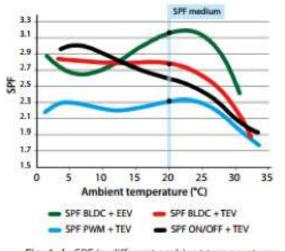


Fig. 1.d - SPF in different ambient temperatures

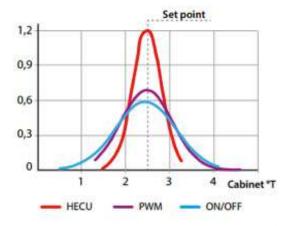


Fig. 1.c - Cabinet temperature distribution (6 h period between two defrost cycles)

L'applicazione di un metodo quanto più possibile scientifico in campo non è per nulla banale. Richiede numerosi sforzi e accorgimenti per cercare di mediare le condizioni operative e diminuire al minimo le assunzioni da accettare per realizzare un confronto quanto più possibile significativo e veritiero.

Il semplice confronto tra supermercati diversi, magari in località con profili climatici e affluenza molto diversi, e basandosi solo sulla "bolletta elettrica" mensile, non è poi così significativo.

È stato un lavoro complesso e sfidante che mi ha permesso di approfondire molti temi sulla costruzione di un'unità. le normative di certificazione necessarie per poterla installare in campo, l'acquisizione e l'analisi dati. Inoltre, grazie a questa esperienza, mi è stato possibile capire più approfonditamente come si comporta la dinamica di un sistema reale, con tutte le varianti e gli imprevisti di un sistema di refrigerazione alimentare funzionante in un negozio vero.

Soluzioni refrigerate portatili per il trasporto a collettame

Simone Zanoni, Beatrice Marchi Università degli Studi di Brescia

Matteo Ruggieri Euroengel srl



I sistemi di refrigerazione ricoprono un ruolo chiave nel trasporto a temperatura controllata di prodotti deperibili, come alimenti freschi e congelati. Il trasporto refrigerato è fondamentale non solo per quanto riguarda il mantenimento della qualità dei prodotti, ma anche in termini di impatto ambientale legato a consumi energetici, emissioni di gas serra e di particolato. Il trasporto refrigerato genera più emissioni del trasporto a temperatura ambiente a causa dei requisiti supplementari di carburante per il raffreddamento e delle perdite di refrigerante. Ridurre l'impatto ambientale complessivo dei sistemi di trasporto refrigerati, che contribuisce fortemente al riscaldamento globale e ai cambiamenti climatici, e sviluppare progetti sostenibili sono indispensabili per l'industria della catena del freddo.

Le unità refrigerate portatili (PRU) rappresentano una nuova soluzione che può essere utilizzata dalle aziende logistiche per offrire ai propri clienti un servizio di



trasporto refrigerato per piccoli e medi volumi di merci deperibili a bordo dei loro veicoli standard, anche a fianco di unità di carico tradizionali senza la necessità di investimenti in veicoli e infrastrutture speciali. Per le brevi distanze sono disponibili unità con piastre eutettiche ma per le medie-lunghe distanza oltre alle soluzioni di trasporto refrigerate tradizionali sono poche le alternative. In tale contesto sono stati sviluppati dall'azienda Euroengel srl i prodotti Coldtainer che, con le loro dimensioni compatibili con gli standard del settore (pallet EUR/UK/US), sono progettati principalmente per il trasporto da punto a punto a media-lunga distanza. L'uso di questa particolare soluzione può portare a rilevanti vantaggi economici e ambientali rispetto al trasporto refrigerato tradizionale che di solito è azionato a cinghia dal motore del veicolo con il diesel come fonte di carburante. Inoltre, tale soluzione permette di essere utilizzata anche in modo stazionario semplicemente collegata ad una presa monofase a 230 V.

L'uso di contenitori refrigerati attivi semplifica le diverse fasi della catena del freddo con un'evidente riduzione dei costi diretti e indiretti, un significativo miglioramento dei tempi di consegna e anche una riduzione del rischio di contaminazione degli alimenti e rotture nella catena stessa. Ciò comporta vantaggi ambientali in termini di riduzione del consumo di energia e delle emissioni di CO2. In particolare, questa tecnologia semplifica il trasporto e lo stoccaggio di merci refrigerate. Dal punto di vista dello stoccaggio, i contenitori possono essere collocati in magazzini tradizionali non refrigerati e utilizzati come spazio refrigerato locale semplicemente collegandoli all'alimentazione (Figura 1). Ciò consente di non creare specifici magazzini refrigerati evitando gli elevati investimenti. Dal punto di vista del trasporto, questi contenitori possono essere caricati direttamente con un carrello elevatore su un camion non refrigerato (alimentato dalla batteria 12V/24V del veicolo o con una batteria integrata per un funzionamento autonomo) per la consegna diretta alla destinazione finale. Questo sistema quindi elimina la necessità di veicoli refrigerati specializzati.



Figura 1 - Modello di contenitore refrigerato attivo per lo stoccaggio

Le PRU consentono anche la consegna e lo stoccaggio congiunti di merci refrigerate e non refrigerate, poiché consentono di impostare temperature diverse per ogni unità evitando il deterioramento dei prodotti. In particolare, nella filiera alimentare, in cui la temperatura, l'umidità relativa, le condizioni igieniche e talvolta anche la composizione dell'aria devono essere rigorosamente controllate e monitorate per rallentare il processo di invecchiamento del prodotto (atmosfere controllate). Le PRU consentono inoltre di evitare la suddivisione del magazzino in celle più piccole per la conservazione di merci con caratteristiche simili.

Al fine di confrontare il trasporto refrigerato tradizionale e la soluzione basata sull'uso di unità refrigerate portatili, è stata condotta un'analisi economica e ambientale. Il caso di studio condotto, in collaborazione tra Euroengel e il Dipartimento di Ingegneria Meccanica

e Industriale dell'Università degli Studi di Brescia, si concentra sulla distribuzione di prodotti alimentari, in cui le spedizioni refrigerate vengono utilizzate per rifornire negozi, comunità e consegne a domicilio. In questo tipo di spedizioni, la capacità di carico dei veicoli di trasporto è generalmente molto più elevata del necessario, risultando in basse prestazioni economiche e ambientali. In particolare, nei piani di consegna multi-drop, si hanno spedizioni con molte destinazioni diverse con quantità di merci limitate da consegnare, il che significa diverse e frequenti aperture delle porte. Due sistemi di refrigerazione (i.e., uno tradizionale e uno basato su PRU), due tipologie di prodotti alimentari (i.e., uno refrigerato e uno congelato) e due piani di consegna (i.e., lunga distanza e multi-drop) sono stati studiati.



Figura 2 - Sistemi di trasporto utilizzati nei diversi scenari per il trasporto di prodotti congelati davanti all'ingresso dell'area di Ingegneria dell'Università degli Studi di Brescia

L'uso del PRU, rispetto alla soluzione tradizionale, consente un risparmio sui costi di circa il 45% in ciascun piano di consegna (i.e., consegna a lunga distanza e multi-drop) e per entrambe categorie di prodotti (i.e., refrigerato e congelato). In particolare, questo rilevante risparmio è dovuto principalmente alle minori spese iniziali necessarie per la coibentazione del mezzo di trasporto e l'installazione delle unità di compressione, alla riduzione del consumo di carburante e refrigerante, alla manutenzione trascurabile richiesta e alla migliore conservazione della qualità del prodotto. Inoltre, il veicolo ha un valore residuo più elevato poiché non è dotato di un sistema di isolamento e di refrigerazione irreversibile e con durata inferiore alla vita del veicolo stesso (circa il 70% contro il 50% del veicolo dotato del tradizionale sistema di refrigerazione).

Non essendoci raccordi a tenuta con guarnizioni come invece nell'allestimento aftersale del veicolo tradizionale, la soluzione PRU limita notevolmente le perdite di refrigerante, che sono caratterizzate da un fattore di emissione molto elevato. Le minori emissioni (praticamente nulle) sono anche dovute al minor peso lordo del veicolo, il che si traduce in un minore consumo di carburante.

Complessivamente, dai risultati delle analisi condotte dal punto di vista delle emissioni di CO2, la soluzione Coldtainer consente di ottenere un risparmio compreso tra il 33-34% e il 37-38% a seconda della categoria del prodotto (fresco e surgelato rispettivamente) e della pianificazione delle consegne, corrispondenti a una riduzione di circa 8,4 e 14 kg/viaggio.



Riferimenti

- 1. Zanoni, S., Mazzoldi, L., Ferretti, I. (2019) Eco-efficient cold chain networks design. International Journal of Sustainable Engineering, 12 (5), pp. 349-364.
- 2. Ferretti, I., Mazzoldi, L., Zanoni, S. (2018) Environmental impacts of cold chain distribution operations: A novel portable refrigerated unit. International Journal of Logistics Systems and Management, 31 (2), pp. 267-297.

