

Impianti di refrigerazione alimentare: una verifica sul campo dei consumi

I risultati di un confronto delle prestazioni e dei consumi reali di alcuni impianti per la frigoconservazione alimentare

*di F. Della Guerra, L. Lunghi, R. Alamanni**

NEL MONDO della Grande Distribuzione Organizzata l'impianto dedicato alla frigoconservazione alimentare è una voce di costo rilevante, in termini sia di installazione che di esercizio: in un supermercato il consumo legato alla catena del frigo alimentare si attesta normalmente tra il 40 e il 50% di quello complessivo, per cui la scelta della tipologia di impianto diviene fondamentale dal punto di vista del contenimento dei costi energetici.

Un aiuto al progettista viene dalla possibilità di effettuare simulazioni termoenergetiche di natura dinamica, basate su algoritmi più o meno complessi anche se, per quanto sia possibile perfezionare progressivamente i modelli alla base di queste simulazioni, ad esempio confrontandoli e tarandoli con il funzionamento reale degli impianti, rimane sempre un certo grado di approssimazione, per cui, considerate le grandezze in gioco, un errore di pochi punti percentuali può portare a conclusioni, e quindi a scelte impiantistiche, discutibili. È quindi utile adottare le simulazioni matematiche

come strumento di confronto tra le varie soluzioni impiantistiche legate alla produzione del freddo, in modo da poter fare delle importanti valutazioni quantitative iniziali, ma è altrettanto importante avere un riscontro sul campo del comportamento degli impianti e dei loro consumi; solo quest'ultimo passaggio potrà, banalmente, confermare la bontà delle scelte progettuali adottate.

Gli impianti confrontati

Gli impianti di frigoconservazione basati su sistemi con CO₂ che lavorano per periodi significativi dell'anno in campo transcritico, che per brevità saranno di seguito chiamati a CO₂ transcritica, sono stati negli ultimi anni oggetto di grande interesse e di una continua evoluzione tecnologica. Un'importante spinta in questo senso è arrivata dal Regolamento UE 517/2014 sugli F-Gas, che pone dei limiti temporali all'utilizzo di gas refrigeranti con GWP sopra determinate soglie. Le scadenze introdotte da questa normativa, ormai imminenti, coinvolgono refrigeranti normalmente utilizzati per

questo tipo di impianti (tra i quali è sicuramente da citare, per diffusione sul territorio nazionale, l'R404A) e hanno forzatamente portato il mercato alla ricerca di alternative.

La soluzione a CO₂ transcritica è sempre stata molto appetibile da un punto di vista ambientalista in quanto impiega un gas naturale e non infiammabile, ma è sempre stata anche accompagnata da timori su eventuali extra-consumi che potessero essere riscontrati sul territorio italiano rispetto a sistemi più consolidati.

Per dare un contributo alla discussione su questo tema, qui di seguito sono riportati i risultati di un confronto in campo tra le prestazioni di alcuni impianti a CO₂ transcritici, tradizionali e dotati di tecnologie atte a incrementarne le prestazioni, quali sistemi di sottoraffreddamento

meccanico e compressione parallela, riportate in Figura 1, e quelle di impianti a R134a con CO₂ in cascata, in Figura 2. La scelta di quest'ultima tipologia come termine di paragone è legata alle ottime performance di questa soluzione impiantistica che al momento è ancora normativamente applicabile. In Tabella 1 sono riportate alcune caratteristiche degli impianti considerati.

Metodo di analisi

Il confronto è stato effettuato sulla base di dati reali relativi a supermercati aperti al pubblico nel loro normale funzionamento; l'attenzione è stata focalizzata sul consumo elettrico dell'impianto, cioè è stata considerata solo l'energia elettrica relativa al consumo delle centrali frigorifere, che include i consumi per il funzionamento dei compressori e del condensatore ma esclude tutti i consumi relativi alle utenze quali luci, sbrinamenti e ventilazione.

Le variabili considerate ai fini del confronto sono quelle che influenzano maggiormente i consumi di un impianto di refrigerazione, il cui dettaglio è riportato nel Box 1:

- valore medio giornaliero della temperatura esterna;
- temperatura dell'aria nell'area vendita;
- set point di funzionamento del valore di mandata della temperatura dell'aria che raffredda i prodotti;
- potenza frigorifera installata nella sezione di impianto dedicata alle utenze che sono a temperatura compresa tra 0 °C e 4 °C, TN, e nella sezione di impianto dedicata alle utenze a temperatura compresa tra -18 °C e -25 °C, BT;
- rapporto tra potenza frigorifera installata in TN e in BT;
- orario di apertura del punto vendita;
- carico di merce presente nel banco o nella cella;

I punti vendita sono stati selezionati e poi paragonati tra di loro secondo precisi accoppiamenti (3 vs 6, 1 vs 7, 2 vs 8, 4 vs 5) in modo da avere le medesime caratteristiche per quanto riguarda la temperatura dell'aria in ambiente, il rapporto tra potenza TN e BT e gli orari di apertura. In particolare, per quanto riguarda la potenza frigorifera installata, il confronto è stato effettuato considerando un consumo energetico specifico, riferito alla potenza ed espresso in [kWh/kW].

In merito ai set-point di funzionamento, prima del confronto è stato verificato che non vi fossero anomalie che potessero falsare i risultati; sono stati lasciati i parametri di normale funzionamento

Tabella 1 – Tipologia degli impianti frigoriferi confrontati

n.	Punto vendita	Impianto	Tipologia
1	Provincia di Bologna, AV = 800 m ²	CO ₂ transcritica	Booster
2	Provincia di Genova, AV = 5300 m ²	CO ₂ transcritica	Booster con sottoraffreddamento meccanico e compressore parallelo
3	Provincia di Firenze, AV = 1000 m ²	CO ₂ transcritica	Booster con sottoraffreddamento meccanico
4	Provincia di Milano, AV = 1400 m ²	R134a + CO ₂	Impianto in cascata con CO ₂ pompata
5	Provincia di Pavia, AV = 2200 m ²	R134a + CO ₂	Impianto in cascata a espansione diretta
6	Provincia di Firenze, AV = 1800 m ²	R134a + CO ₂	Impianto in cascata a espansione diretta
7	Provincia di Bologna, AV = 800 m ²	R134a + CO ₂	Impianto in cascata a espansione diretta
8	Provincia di Genova, AV = 6500 m ²	R134a + CO ₂	Impianto in cascata a espansione diretta

Figura 1 – Impianto a CO₂ transcritica con compressione parallela. TN: sezione di impianto dedicata alle utenze che sono a temperatura compresa tra 0 °C e 4 °C; BT: sezione di impianto dedicata alle utenze a temperatura compresa tra -18 °C e -25 °C

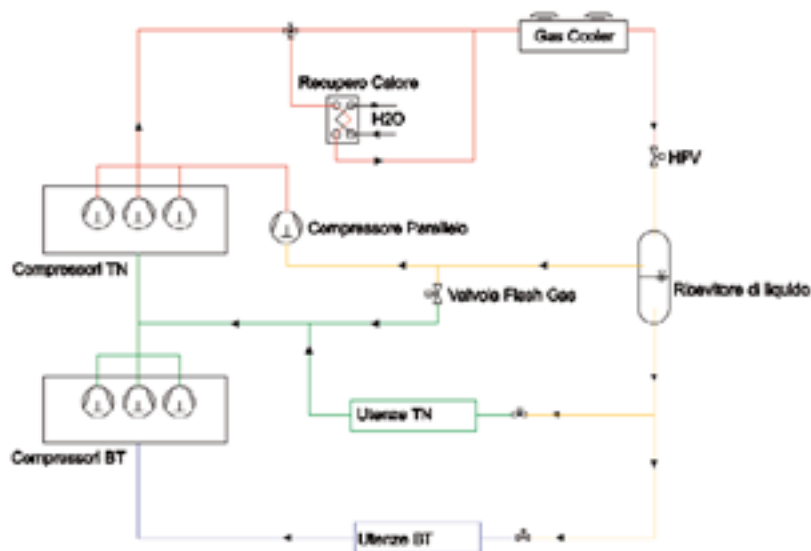
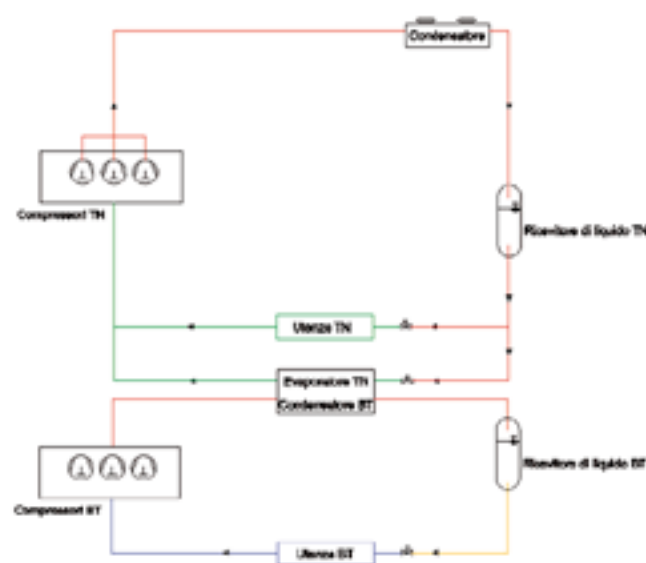


Figura 2 – Impianto con sezione TN a R134a e sezione BT a CO₂ in cascata



REFRIGERATION IN SUPERMARKET: A COMPARISON BETWEEN REAL PLANTS

In the design phase, the use of software tools can help to simulate the way a refrigeration plant will act, but, in real life, performances may be different from theoretical expected results. During the past few years, the research focused on natural refrigerant to contain emissions in atmosphere with significant benefits for the environment. Use of energy saving solutions makes CO₂ competitive compared to subcritical cycles also in warm climates. After getting performance data from several refrigeration plants in supermarket in Italy, we compared some of them using R744 with others using conventional R134a/R744 cascade. Different installation have different characteristics like cooling loads, geographic location, technology; we tried to choose the right stores to "normalize" all those differences and, after data analysis, evaluate which of them can help final customers to save energy and money.

Keywords: refrigeration, supermarket

senza cercare ottimizzazioni energetiche "limite". Il ricambio di merce presente nel banco o nella cella non è stato normalizzato per le caratteristiche intrinseche di questa variabile. Per normalizzare il consumo energetico è possibile considerare vari parametri, quali la superficie di area vendita, la lunghezza lineare dei banchi installati, il volume delle celle e il fabbisogno frigorifero; quello individuato come migliore è il fabbisogno frigorifero, cioè la potenza frigorifera installata (TN+BT), che soddisfa tutte le utenze con piena contemporaneità nelle condizioni nominali pari a $t = 25\text{ °C}$ e $UR = 50\%$. Si specifica inoltre che il fabbisogno è privo del margine di sicurezza e dell'eventuale potenza di condensazione. Dove presente, il consumo del chiller per il sottoraffreddamento delle centrali è stato contabilizzato insieme al consumo delle centrali.

Risultati

In Figura 3 è riportato, a titolo di esempio, l'andamento del consumo energetico specifico in funzione della temperatura esterna media giornaliera per uno dei punti vendita presi in considerazione, dal quale si ricava che, come prevedibile, il primo aumenta con la seconda. Si sottolinea che in ascissa vengono riportate le temperature medie giornaliere e non i valori puntuali delle temperature. Considerato che le prestazioni degli impianti a CO_2 transcritica dipendono in maniera sostanziale dal valore di temperatura esterna, si sottolinea che nei casi analizzati la temperatura media giornaliera è stata inferiore ai 30 °C , per cui le considerazioni che seguono devono tenere conto di questo limite.

Dalle correlazioni tra temperatura media giornaliera e consumo specifico abbiamo potuto ricavare dei polinomi interpolanti, che sono stati calcolati per tutte le coppie di punti vendita così come stabilite.

Nelle Figure da 4 a 7 si riportano i punti che sono stati utilizzati per calcolare i polinomi.

Dalla Figura 4 si nota che, nel caso degli impianti 3 e 6 di Tabella 1, l'impianto transcritico ha un consumo marcatamente migliore dell'impianto in cascata. È necessario comunque sottolineare nuovamente che si tratta di casi di impianti realmente funzionanti per i quali non sono state impostate tarature estreme da un punto di vista energetico; in questo caso specifico, mentre l'impianto a CO_2 transcritica era ottimamente settato, i parametri di quello a R134a con CO_2 in cascata potevano presentare ancora un leggero margine di miglioramento.

Il confronto riportato in Figura 5 è invece rappresentativo di due impianti correttamente eserciti e mostra che l'impianto in cascata risulta avere prestazioni leggermente migliori dell'altro.

In Figura 6 è riportato il confronto tra gli impianti in 1 e 7, utilizzati anche per la produzione dell'acqua calda destinata al riscaldamento

Tabella 4 – Consumo specifico annuale degli impianti considerati collocati in 3 città italiane

Punto vendita	Impianto	Torino [kWh/kW]	Firenze [kWh/kW]	Roma [kWh/kW]
1	CO_2 transcritica	2270	2473	2514
2	CO_2 transcritica	2038	2273	2301
3	CO_2 transcritica	1710	1957	2011
4	R134a + CO_2	2257	2388	2387
5	R134a + CO_2	2055	2227	2256
6	R134a + CO_2	2216	2411	2435
8	R134a + CO_2	1697	1917	1952

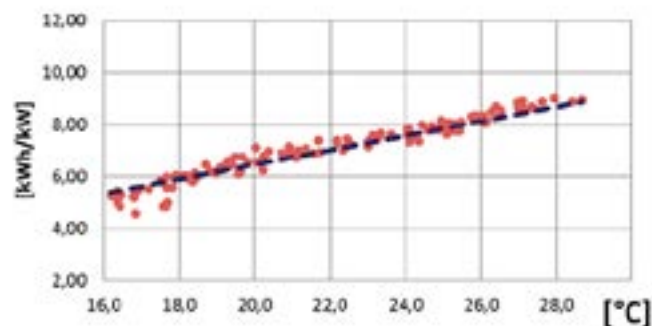


Figura 3 – Relazione tra temperatura media giornaliera e consumo giornaliero

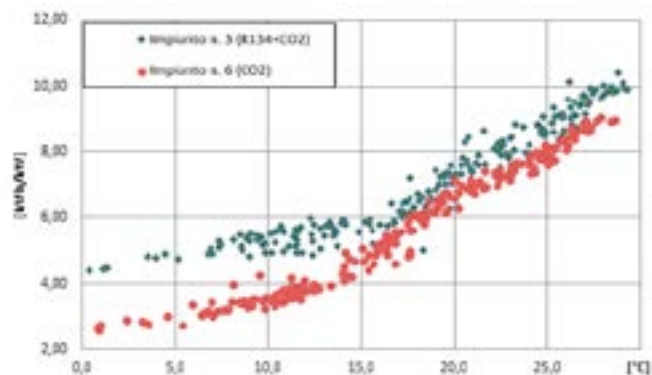


Figura 4 – Confronto tra i consumi specifici degli impianti n. 3 e n. 6

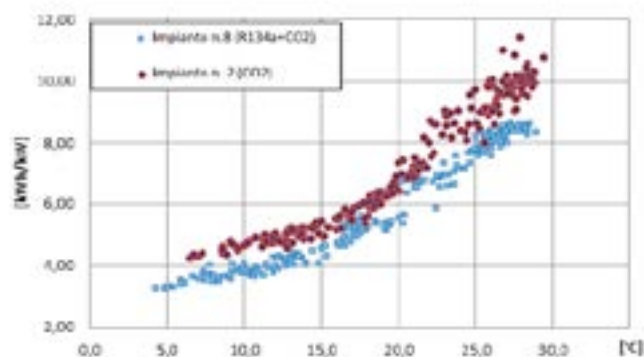


Figura 5 – Confronto tra i consumi specifici degli impianti n. 8 e n. 2

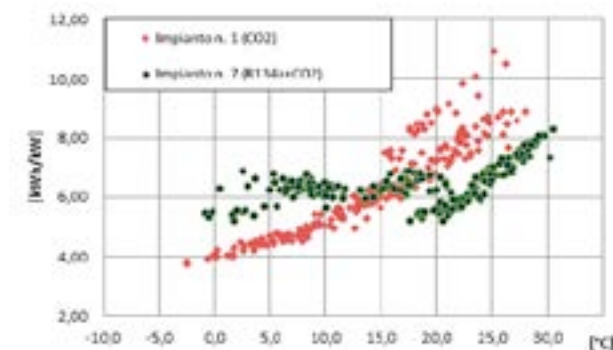
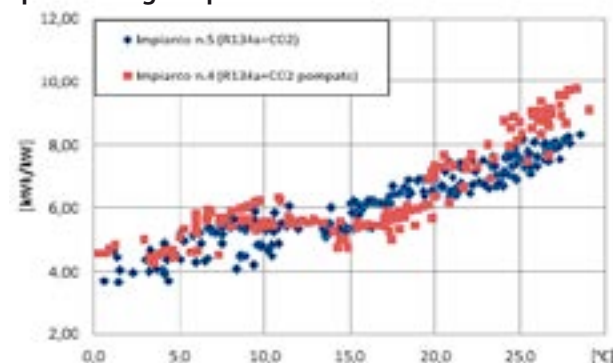


Figura 6 – Confronto tra i consumi specifici degli impianti n. 1 e n. 7

Figura 7 – Confronto tra i consumi specifici degli impianti n. 5 e n. 4



invernale del punto vendita, con conseguente aumento del consumo elettrico associato. In questo caso l'apparente maggiore consumo assoluto del frigo alimentare dovrebbe essere considerato al netto del consumo imputabile al riscaldamento, operazione che non è stata possibile effettuare per mancanza dei relativi dati.

Nel confronto mostrato in Figura 7, l'impianto in

cascata a espansione diretta mostra un consumo paragonabile rispetto a un impianto in cascata con CO₂ pompata.

Per passare a un confronto quantitativo, sono stati utilizzati i polinomi ricavati in precedenza e i dati relativi all'anno climatico tipo forniti dal CTI; gli impianti sono stati così virtualmente collocati in tre città italiane (Torino,

Firenze e Roma) per valutare il consumo specifico che ciascun impianto avrebbe avuto nelle stesse condizioni di temperatura esterna delle tre città indicate. È stato escluso l'impianto n. 7 perché la produzione dei fluidi caldi destinati al riscaldamento ambiente avrebbe dato dei risultati scarsamente significativi. I risultati sono riassunti nella Tabella 4, dalla quale si può notare che non c'è una sostanziale differenza nei consumi delle varie tipologie impiantistiche.

BOX 1

I PARAMETRI CHE INFLUENZANO I CONSUMI

- **Temperatura esterna:** influenza direttamente il rendimento sia degli impianti a CO₂ transcritica, modificando la pressione e la temperatura di uscita dal gas cooler, che di quelli a R134a con CO₂ in cascata, modificando la temperatura di condensazione.
- **Temperatura dell'aria nell'area vendita:** per esigenze legate all'utenza, nella stagione invernale è mantenuta intorno a 20 °C, mentre in estate varia tra 23 °C e 26 °C (nel periodo estivo il set point viene fatto variare dal sistema di gestione dell'impianto di condizionamento in funzione della temperatura esterna). Il confronto è stato fatto a parità di valori di set point estivi e invernali di questa temperatura, che ha un'influenza diretta sulla richiesta frigorifera dei banchi.
- **Set point di funzionamento:** a titolo di esempio, in Tabella A sono riportati alcuni valori tipici di taratura dei parametri principali degli impianti a R134a e CO₂ in cascata e in Tabella B quelli di un impianto a CO₂ transcritica. Va tenuto presente che gli impianti frigoriferi installati nei supermercati dispongono di varie regolazioni che permettono di ottenere lo stesso effetto utile, ovvero di mantenere una certa temperatura di mandata dell'aria che raffredda i prodotti, con un'infinita possibilità di stati di funzionamento dell'impianto.
- **Potenza frigorifera installata TN e BT:** il numero di utenze da servire e la loro potenza variano da punto vendita a punto vendita; queste grandezze influenzano direttamente la quantità di energia frigorifera prodotta e quindi il consumo dell'impianto.
- **Rapporto potenza frigorifera installata tra TN e BT:** tipicamente il fabbisogno frigorifero da fornire in BT è inferiore rispetto al fabbisogno in TN e può variare tra 10% e 30% del totale (TN+BT). Il costo energetico varia tra le utenze TN e quelle BT, in quanto la produzione di freddo a temperature più basse è energeticamente più onerosa.
- **Orario di apertura dei punti vendita:** il consumo di energia dell'impianto è maggiore durante l'orario di apertura, a causa del continuo ricambio di aria e di merce nei banchi e nelle celle.
- **Carico di merce presente nel banco o nella cella:** determina le eventuali fluttuazioni giornaliere della potenza frigorifera richiesta da un banco o da una cella, che sono caratteristiche di ciascun punto vendita per cui risulta estremamente complesso quantificarne l'influenza.

Tabella A – Valori tipici di taratura per gli impianti a R134a e CO₂ in cascata

	Pressione di aspirazione	Temperatura di evaporazione	Pressione di condensazione	Temperatura di condensazione
TN	0,84 ÷ 0,99 bar	-12 ÷ -10 °C	5,25 ÷ 7,85 bar	23 ÷ 35 °C
BT	11 ÷ 13,25 bar	-35 ÷ -30 °C	29,47 ÷ 27,83 bar	-5 ÷ -7 °C

Tabella B – Valori tipici di taratura per gli impianti a CO₂ transcritica

	Pressione di aspirazione	Temperatura di evaporazione	Pressione di lavoro del gas cooler	Temperatura di uscita dal gas cooler
TN	26,5 ÷ 29 bar	-8,7 ÷ -5,6 °C	Ottimizzata in funzione del valore della temperatura esterna	+ 2 °C rispetto al valore della temperatura esterna
BT	11 ÷ 13,25 bar	-35 ÷ -30 °C	-	-

Conclusioni

La variabilità dei consumi dipende sia dalla tipologia di impianto che dalle condizioni di funzionamento. Scegliendo opportunamente i punti vendita da confrontare ed effettuando delle normalizzazioni è possibile arrivare a un confronto dei consumi che, benché affetto da incertezze, permette di trarre interessanti osservazioni.

Con le premesse considerate e per gli impianti analizzati, è emerso che gli impianti a CO₂ mostrano risultati interessanti in termini di consumo, sostanzialmente sovrapponibili con quelli delle altre tipologie di impianto.

Negli ultimi due anni questa tipologia di impianto è stata oggetto di un'evoluzione tecnologica volta a migliorarne le prestazioni; numerosi sono, ad esempio, gli impianti installati dotati di eiettori, sottoraffreddatori adiabatici o del sistema FTE. Appena lo storico dei dati raccolti sarà significativo, sarà interessante procedere a una comparazione sul campo dei consumi di queste nuove soluzioni.

* Fortunato Della Guerra,
Luca Lunghi, Ruggero
Alamanni, INRES

BOX 2

INRES ISTITUTO NAZIONALE CONSULENZA, PROGETTAZIONE, INGEGNERIA

È il consorzio nazionale che progetta le strutture di vendita COOP, ne segue la realizzazione e offre consulenza e assistenza per l'adozione di nuove tecnologie, intervenendo dallo studio di fattibilità, alla progettazione urbanistica, amministrativa, architettonica e impiantistica sino all'allestimento del punto vendita con tutte le sue tecnologie.

Attivo nel settore della sostenibilità ambientale e del risparmio energetico, affianca tutte le Cooperative socie nella scelta e nella applicazione delle tecnologie per la riduzione dei consumi di energia e per l'efficienza energetica.