

## MASSIMIZZAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DI UN FREEZER VERTICALE CON VETRI

**E. Venturi – Tecfrigo (Technical Department)**  
**M. Bassi – Embraco (Key Account Advisor)**

Per soddisfare i requisiti dei regolamenti europei, la progettazione degli apparecchi frigoriferi plug and play per uso professionale già da qualche anno si è orientata verso il gas refrigerante R290, idrocarburo con GWP pari a 3. La necessità di una maggiore sostenibilità ambientale dei frigoriferi è un argomento sempre più sentito dagli utilizzatori finali e che offre importanti opportunità di riduzione del consumo energetico: ciò significa un ulteriore abbattimento della CO2 equivalente e dell'impatto ambientale durante il lifecycle, con un risparmio tangibile nei costi della fornitura elettrica.

In questo lavoro si è presa in esame una vetrina congelatore verticale, modello Marilyn 450 BTQ, operante con gas R404A, progettata per assolvere alle funzioni di esposizione, vendita e servizio assistito di prodotti di gelateria.

Due gli obiettivi posti:

1. Reingegnerizzare il circuito frigorifero di tale vetrina per il funzionamento ad R290, perseguendo la massima efficienza energetica possibile, sfruttando lo stato dell'arte della tecnologia e, in particolare, un compressore ermetico a velocità variabile con inverter.
2. Acquisire una termodinamica R290 scalabile e fruibile, con opportune semplificazioni, in altri progetti con compressori a velocità fissa, oltre che i componenti e il necessario know-how.

### Il prodotto – Tecfrigo Marilyn 450 BTQ inverter



<b>Applicazione</b>	Vetrina verticale a temperatura negativa per esposizione, vendita e servizio assistito di prodotti di gelateria non confezionati
<b>Volume</b>	450 L
<b>Temperatura</b>	-5 / -21 °C
<b>Alimentazione</b>	230 V, 1, 50 Hz
<b>Refrigerante e carica</b>	R290, 85 g
<b>Tipo di refrigerazione</b>	Ventilazione forzata
<b>Sbrinamento</b>	A gas caldo
<b>Equipaggiamento di serie</b>	5 ripiani in vetro
<b>Etichetta energetica</b>	Non applicabile

La vetrina congelatore verticale riprogettata ad R290 mantiene tutte le caratteristiche costruttive della precedente vetrina ad R404A: in particolare, non si sono apportate variazioni ai componenti che determinano lo scambio termico tra ambiente e vano refrigerato (vetrocamere, isolamenti), in quanto già ottimizzati anche su tale vetrina. Nello specifico, l'applicazione si presenta come un freezer da 450 litri ventilato, dotato di 5

ripiani in vetro di serie, operante a temperatura compresa tra -5 e -21 °C, i cui quattro lati sono costituiti da vetrocamere doppie, riempite con gas argon e trattate con processo magnetronico, per garantire una bassa emissività. L'alimentazione elettrica è 230 V – 50 Hz monofase e lo sbrinamento è a gas caldo. A causa delle numerose funzioni e della modalità di utilizzo prevista, la vetrina non rientra negli attuali regolamenti per l'etichettatura energetica.

Si è dunque lavorato sui componenti del circuito frigorifero, in particolare ci si è focalizzati sul compressore, componente con assorbimento elettrico più elevato. La vetrina iniziale ad R404A è dotata di compressore a velocità fissa, sovradimensionato per assicurare il mantenimento delle performance anche in situazioni gravose. Ai fini dell'ottenimento della massima efficienza è stato selezionato un compressore Embraco VNEU213U a velocità variabile con inverter, per le sue caratteristiche prestazionali (efficienza, basso rumore e vibrazioni, possibilità di controllo in drop-in, frequenza, seriale) scegliendo un'interfaccia seriale per la connessione ad un controllore parametrico, dotato di connettività Wi-Fi e cloud. È stato inoltre individuato un compressore R290, con cilindrata identica ma velocità fissa, per allestire una terza vetrina, da comparare sia con quella iniziale ad R404A sia con quella R290 equipaggiata con il compressore a giri variabili.

## Benefits of Embraco's Fullmotion



Su entrambe le vetrine con compressore a velocità fissa si ha l'espansione del refrigerante a capillare, mentre per la versione inverter è stata scelta una valvola elettronica con motore stepper e driver di controllo PID dedicato, che consente sia una regolazione continua nel campo di portata del compressore sia il mantenimento del corretto surriscaldamento. Al fine di minimizzare la carica di refrigerante e le perdite di carico lato aria, sono stati scelti scambiatori a tubo rigato ad alta efficienza, riducendo quanto possibile il diametro dei tubi e il numero dei ranghi, pur mantenendo un sovradimensionamento del 30%. In particolare, il condensatore a 5 ranghi con tubi da 12 mm usato per l'R404A, è stato sostituito da una batteria alettata con pari area frontale ma con soli 2 ranghi di tubi da 5 mm rigati. Infine, i motoventilatori shaded pole della vetrina R404A sono stati sostituiti da motori brushless: per la vetrina R290 essi sono a velocità fissa, mentre per la vetrina R290 inverter sono a velocità variabile con range 600-1400 rpm, al fine di ottimizzare lo scambio termico nelle diverse condizioni di esercizio.

Le tre vetrine sono state testate in camera climatica in condizione 4 (30°C, RH 55%): tramite wattmetro e termocoppie, sono stati registrati i dati della potenza istantanea assorbita dalla rete e le temperature sui ripiani superiore, intermedio ed inferiore, nelle

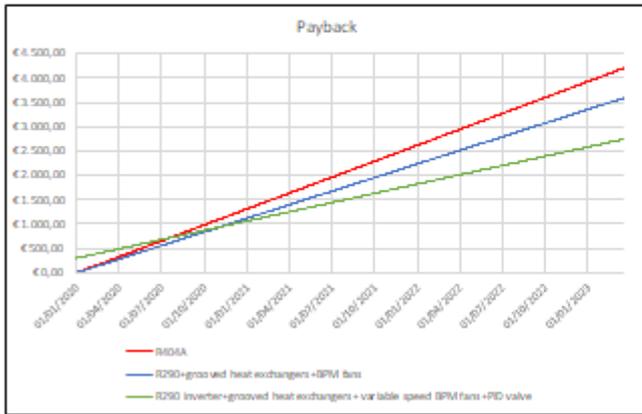
condizioni di regime, transitorio di avviamento e sbrinamento. In assenza di una norma specifica, si sono adottati i principi della EN 23953-2, seppur con alcune deviazioni, volte a rispecchiare maggiormente l'uso previsto: non sono stati utilizzati i pacchi prova in quanto la vetrina è tipicamente usata per esporre poche torte, l'entalpia degli alimenti può quindi ritenersi trascurabile. Inoltre, considerando il servizio assistito, si è considerata un'apertura porta all'ora.

La possibilità di variare la velocità di rotazione tra 1800 e 4500 rpm consente di unire sia i benefici del sovradimensionamento che del sottodimensionamento di un compressore a velocità fissa, ottenendo alta potenza, prontezza di risposta e bassi consumi. Dalle analisi sui dati raccolti, si evince come a regime, nel dimensionamento adottato, il compressore a velocità variabile può funzionare ininterrottamente a circa 2600 rpm, Ciò consente, in combinazione con un controllo PI o PID, l'inseguimento costante della temperatura di set point. Per conseguenza, in condizione climatica 4, non si ha più un off-cycle, con conseguente isteresi di temperatura nel vano refrigerato, solitamente pari a 3-4 °C per le applicazioni on-off: la temperatura è mantenuta in un intorno del set point di circa  $\pm 0,15$  °C, a vantaggio della conservazione degli alimenti.

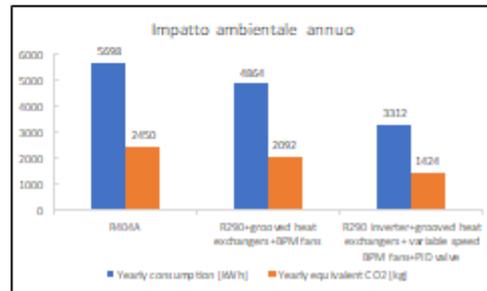
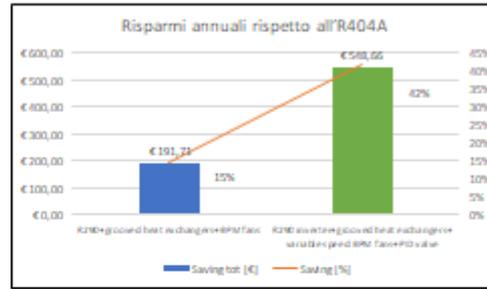
Durante il transitorio di avviamento della vetrina, è possibile ridurre il tempo di pull down, incrementando la velocità di rotazione del compressore fino a 4500 rpm, aumentando quindi la portata massica di refrigerante e quindi la potenza frigorifera. I test sulla vetrina hanno mostrato una riduzione del 36% del tempo necessario per un pull down da 20 a -18 °C rispetto alla vetrina R290 con compressore on-off, che passa da 124 a 80 minuti. Inoltre, il consumo energetico per tale fase si riduce del 29%, da 970 a 690 Wh. Il pull down ha un forte impatto nella ripresa della temperatura dopo le aperture porta, pertanto il suo controllo permette di ridurre notevolmente il consumo giornaliero dell'applicazione.

Sulla base dei rispettivi consumi e del costo dell'energia si è elaborato un quadro economico della messa in esercizio dei tre tipi di applicazione. Rispetto alla vetrina iniziale ad R404A, la vetrina R290 con compressore a velocità fissa ha mostrato una riduzione dei consumi del 15%, la vetrina R290 con compressore a velocità variabile una riduzione del 42%. Considerando che queste riduzioni si traducono in un risparmio pari rispettivamente a 192 €/anno e 549 €/anno rispetto all'applicazione a R404A, si ottiene che in entrambi i casi la vetrina con compressore a giri variabili ha il payback del costo differenziale (dovuto alla componentistica aggiuntiva) entro un anno dalla messa in esercizio. Da un punto di vista ambientale si ha altresì un abbattimento della CO2 equivalente per l'energia elettrica utilizzata, che passa da 2450 per l'R404A a 2092 per l'R290 a 1424 kg/anno per la vetrina più efficiente con compressore inverter.

# Consumo energetico



*Il costo dell'energia stimato è 0,23 €/kWh*



Un altro importante vantaggio emerso nei test è la riduzione del 33% a 3000 rpm della fase di ripresa dopo lo sbrinamento nella vetrina R290 inverter rispetto all'equivalente R290 con compressore a velocità fissa. In più, in combinazione con il ventilatore a velocità variabile, la temperatura del vano refrigerato si mantiene in media 1,5 °C inferiore, a tutto vantaggio della conservazione degli alimenti. Analogamente alla fase di apertura porta, dopo lo sbrinamento è possibile settare il pull down del compressore, velocizzando ancor più il raggiungimento del set point.

La vetrina con il compressore a velocità variabile, presenta una diminuzione del rumore emesso di circa 5 dB. Questa caratteristica è molto apprezzata dai clienti delle vetrine verticali, in quanto queste applicazioni spesso vengono impiegate in ambienti silenziosi quali ristoranti, sale da tè, lounge. Per di più, si è rilevato che, rispetto ad una vetrina con compressore on-off, l'umidità relativa è mantenuta stabile, riducendo così l'effetto di asciugatura a cui sono sensibili taluni prodotti di gelateria artigianale.

La scelta dell'interfaccia seriale permette di sviluppare una logica di funzionamento proprietaria e bidirezionale, in quanto il compressore con inverter è abilitato a mandare al controllore feedback quali misurazioni ed avvertimenti. Questi dati sono utilizzati sia per creare interfacce cliente sia per aiutare i tecnici che curano l'assistenza: sono infatti segnalate molte delle comuni anomalie quali carica non corretta di refrigerante, temperatura eccessiva del compressore, assenza di comunicazione tra inverter e controllore. Nella vetrina è stata installata una connessione al cloud tramite Wi-Fi, che permette di leggere i dati e gli allarmi, consentendo così di dare assistenza remota post-vendita, risparmiare tempo nella diagnosi ed evitare interventi tecnici in loco non necessari.