

ANALISI DELLE CONSEGUENZE TECNICO ED ECONOMICHE DERIVANTI DALL'IMPIEGO DI AEROEVAPORATORI E AEROCONDENSATORI AVENTI PRESTAZIONI INFERIORI A QUELLE NOMINALI

Umberto Merlo
Laboratorio R&S, LU-VE S.p.A.
2 Dicembre 2008

1. Introduzione

L'installazione di una apparecchiatura, sia essa un aeroevaporatore o un aerocondensatore, in un impianto frigorifero con potenzialità inferiori a quelle dichiarate a catalogo (nominali), altera le condizioni di funzionamento dello stesso.

L'impianto frigorifero raggiunge, in questi casi, una condizione di equilibrio su valori di temperatura di evaporazione e di condensazione, rispettivamente più bassi e più alti.

In questa condizione anomala, il compressore dovrà funzionare per un tempo maggiore e con COP inferiore, per garantire la temperatura stabilita a progetto della cella (pozzo freddo).

In questa memoria verranno analizzati due casi di funzionamento, uno relativo ad una cella a bassa temperatura e uno relativo ad una cella di alta temperatura; in entrambi i casi vengono calcolati i costi di esercizio utilizzando apparecchi con potenze certificate e con apparecchi "non certificati", aventi prestazioni inferiori a quelle nominali di catalogo.

2. Procedimento logico

Nel laboratorio R&S è stato sviluppato un modello di calcolo - frutto di numerose prove sperimentali - delle condizioni di funzionamento di un ciclo frigorifero durante i transitori di funzionamento; in particolare, si calcolano - oltre i parametri termodinamici dell'evaporatore (potenza, portata aria, spessore di brina, energia frigorifera utile, COP, tempi e rendimenti di sbrinamento, ecc.) - i costi di esercizio per le tre voci fondamentali: compressore, ventilazione (aerocondensatore ed aeroevaporatore) ed eventualmente, sbrinamento.

Le principali ipotesi adottate nel modello di calcolo sono le seguenti :

- temperatura costante pozzo freddo (cella frigorifera)
- temperatura costante pozzo caldo (ambiente esterno alla cella)
- potenze assorbite dai ventilatori costanti nel tempo.

Gli errori tra i valori sperimentali e quelli di simulazione sono i seguenti:

- Potenza frigorifera a fine ciclo di brinatura : $\pm 3,3\%$
- Portata d'aria a fine periodo di brinatura : $\pm 6,1\%$
- Rapporto tra potenza frigorifera a fine brinatura e iniziale : $\pm 1,7\%$
- Massa finale di brina : $\pm 5,0\%$.

Il grafico di figura 1 indica l'andamento della potenza frigorifera e di quest'ultima rapportata al DT1 (cioè la differenza tra la temperatura di cella e la temperatura di evaporazione), in funzione del tempo di brinatura. Il grafico di figura 2 invece, rappresenta l'andamento dello spessore di brina accumulato sulle alette e le perdite di carico del pacco alettato (lato aria - incrociando la curva caratteristica del ventilatore accoppiato) in funzione del tempo di brinatura.

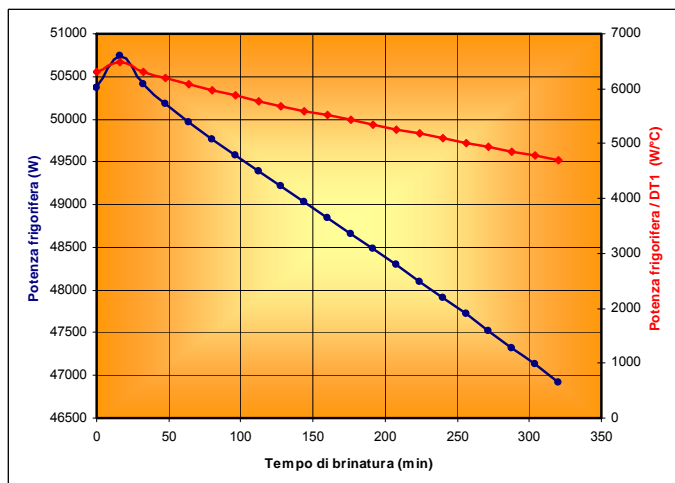


Figura 1

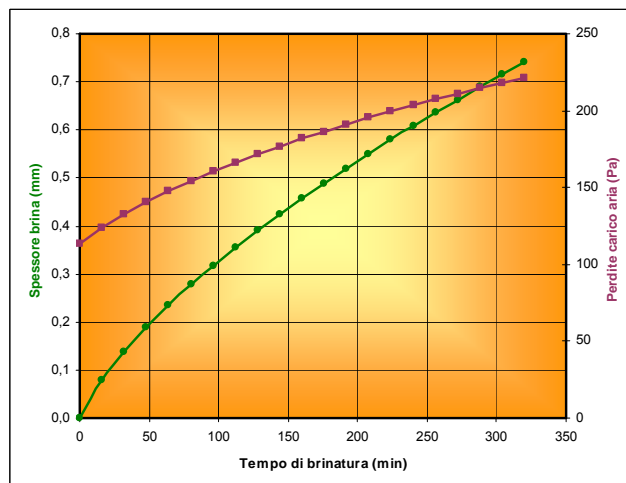


Figura 2

Il procedimento logico con cui verranno analizzate le variazioni delle condizioni di funzionamento del sistema si basa su una ipotesi di impianto frigorifero di riferimento ed esamina i seguenti punti :

- A. variazione della temperatura di evaporazione e di condensazione
- B. diminuzione della potenza frigorifera fornita realmente dal compressore
- C. aumento del fattore di utilizzo (numero ore reali di funzionamento giorno/24 ore), cioè del numero di ore di funzionamento del compressore
- D. aumento dei consumi energetici
 - ventilazione : evaporatore e condensatore
 - compressore
 - inefficienze dovute alla eventuale formazione di brina
- E. aumento dei costi di esercizio
 - ventilatori
 - compressore
 - eventuale formazione di brina.

I confronti, nelle diverse situazioni di funzionamento, sono eseguiti considerando costante l'energia utile/netta asportata dalla ipotetica cella frigorifera, calcolata sottraendo all'energia frigorifera, l'energia immessa dai ventilatori e quella immessa durante lo sbrinamento (pari all'energia consumata durante lo sbrinamento, moltiplicata per $(1-\eta_{\text{sbrinamento}})$).

3. *Analisi procedimento logico*

A. Variazione della temperatura di evaporazione e di condensazione

Si può affermare che per un aero-scambiatore, il rapporto tra la potenza e il DT è mediamente costante: $P/DT = \text{costante}$.

Questo comporta, ad esempio in un aereoevaporatore, nel caso di inefficienza di funzionamento, ad aumentare il DT1 e quindi ridurre la temperatura di evaporazione. L'aumento del DT1 migliora lo scambio termico recuperando in parte l'inefficienza dell'apparecchio.

Nel caso di un aerocondensatore con inefficienza di funzionamento, il DT aumenta conseguentemente, innalzando la temperatura di condensazione.

B. Diminuzione della potenza frigorifera

In conseguenza all'aumento del DT1, il compressore volumetrico registra una diminuzione della pressione di aspirazione e della densità del fluido refrigerante aspirato.

Essendo la potenza frigorifera fornita dal compressore direttamente proporzionale alla massa che lo attraversa, la riduzione della densità - a pari portata - riduce la potenza frigorifera disponibile.

La variazione della potenza frigorifera al diminuire della temperatura di evaporazione (aumenta per l'evaporatore e diminuisce per il compressore), porta ad un nuovo punto di equilibrio di funzionamento, con potenza inferiore a quella nominale di progetto.

C. Aumento del numero di ore di funzionamento del compressore

L'energia frigorifera fornita da un compressore volumetrico è direttamente proporzionale alla potenza frigorifera e al tempo di funzionamento. Con la diminuzione della temperatura di evaporazione, per fornire la stessa energia frigorifera utile in cella, il compressore deve funzionare per un tempo più lungo.

D. Aumento dei consumi energetici

Gli aumenti dei consumi energetici sono dovuti essenzialmente a due voci:

- Maggiori consumi dei gruppi ventilanti (aereoevaporatore e aerocondensatore) dovuti al maggior tempo di funzionamento
- Maggior consumo del compressore per maggior tempo di funzionamento; tale effetto è prevalente rispetto alla modesta diminuzione di potenza elettrica assorbita che si ha nel nuovo punto di funzionamento.

E. Aumento dei costi aggiuntivi annui

Valorizzando gli incrementi dei consumi energetici e confrontandoli con il valore di mercato dell'aereoevaporatore, si registra un andamento diverso in funzione del rapporto potenza effettiva/potenza nominale. Più la potenza frigorifera è grande, maggiore è l'importanza dell'aumento dei costi annui, tanto in valore assoluto, quanto confrontato con il valore di mercato dell'apparecchio.

4. Risultati dell'analisi

I grafici di figura 3 e 5 indicano gli aumenti dei costi di esercizio – separatamente per un aeroevaporatore e per un aerocondensatore – in funzione della variazione della loro potenza effettiva rispetto a quella nominale (dato catalogo). Nel caso in cui, la mancanza di potenza è presente per i due scambiatori, vale il principio di sovrapposizione degli effetti, cioè la somma delle due differenze di costo. I grafici di figura 4 e 6 indicano gli aumenti percentuali dei costi di esercizio, per le singole voci, in funzione della variazione della potenza effettiva del solo aeroevaporatore.

Il caso A indicato in figura 3 e 4 si riferisce al funzionamento di un ciclo frigorifero in condizioni di brinatoria:

- Temperatura cella: -18°C
- Temperatura evaporazione nominale: -25°C
- Temperatura ambiente esterno: 25°C
- Temperatura condensazione nominale: 40°C
- Potenza frigorifera nominale: 50 kW
- Numero di sbrinamenti giorno: 3
- Costo dell'energia elettrica: 0,12 €/kWh

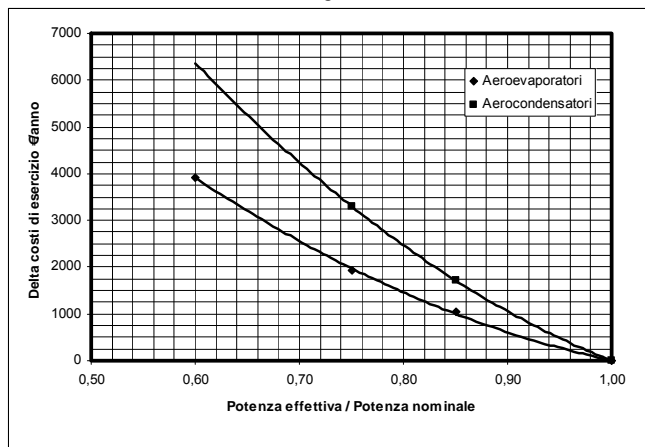


Figura 3

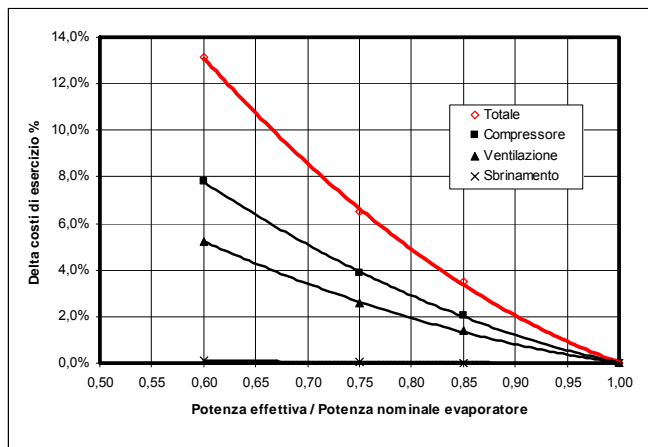


Figura 4

Ad esempio, utilizzando il grafico di figura 3 si determina il maggior costo di esercizio annuo, nel caso di un aerocondensatore con potenza effettiva inferiore del 25% rispetto al valore nominale; si entra nel grafico in ascissa con il valore 0,75 e si ricava in ordinata il corrispondente valore di costo di 3.300 €/anno; nel caso fosse stato l'evaporatore deficitario del 25%, il maggior costo di esercizio sarebbe stato di 1.950 €/anno. Quindi, in termini di aumenti di costi di esercizio, a pari mancanza di prestazione, **l'aerocondensatore pesa in maniera più sensibile dell'aeroevaporatore**.

Analizzando invece il grafico di figura 4, nel caso del solo aeroevaporatore deficitario di prestazione del 25%, entrando in ascissa con il valore di 0,75, si ottiene in ordinata un incremento percentuale di costo di esercizio pari al 6,5% rispetto al caso di aeroevaporatore che fornisce la potenza nominale. Il valore totale, del 6,5%, è somma di tre contributi: il compressore pesa per il 3,9%, la ventilazione del 2,5% e lo sbrinamento 0,1% (quest'ultimo valore è trascurabile in quanto, si è ragionato nel confronto a pari energia frigorifera utile asportata dalla cella e quindi a pari carico di brina depositato sulla superficie dell'aeroevaporatore).

Il caso B indicato in figura 5 e 6 si riferisce al funzionamento di un ciclo frigorifero in condizioni di deumidificazione:

- Temperatura cella: 10°C
- Temperatura evaporazione nominale: 0°C
- Temperatura ambiente esterno: 30°C
- Temperatura condensazione nominale: 42°C
- Potenza frigorifera nominale: 92 kW
- Costo dell'energia elettrica: 0,12 €/kWh

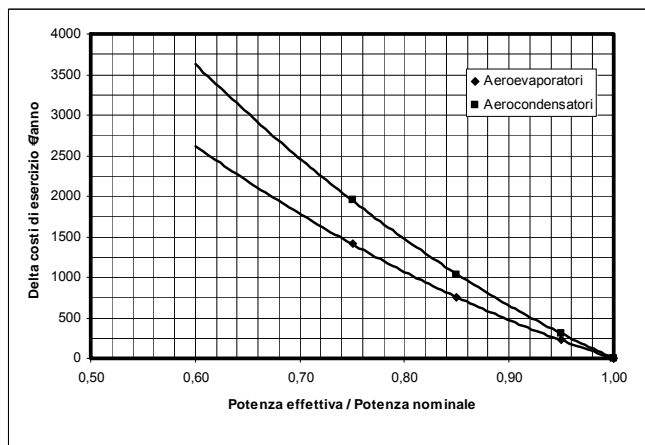


Figura 5

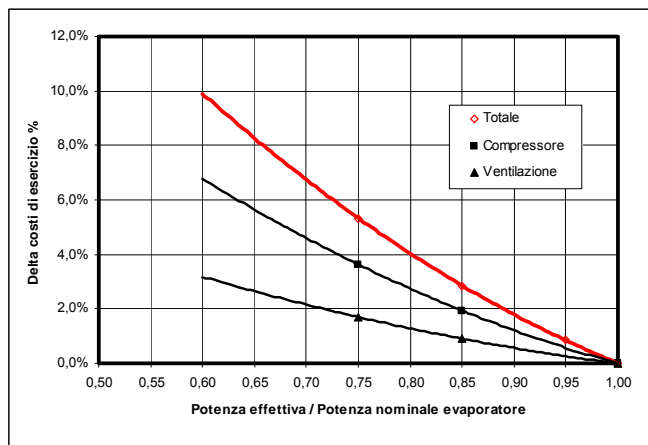


Figura 6

5. Conclusioni

L'efficienza in termini di corretta conservazione delle derrate e l'economia di gestione di un impianto di refrigerazione è il frutto della accurata progettazione ed in particolare della scelta dei componenti che avviene sulla base dei dati di catalogo del fornitore del componente specifico.

La prassi di settore, invalsa in tutto il mondo per i fornitori di apparecchi di scambio (aerovaporatori e condensatori), era quella di fornire dati di prestazione "generosi" con scarti dal 20%, fino a volte al 40%, in eccesso, sul dato reale.

La "moralità" è molto migliorata; con l'introduzione della certificazione.

I produttori attraverso l'esecuzione di prove di prestazione presso laboratori indipendenti specializzati (come ad esempio il TUV), possono certificare il prodotto con l'obbligo di contenere lo scostamento tra il dato di catalogo e il dato effettivo con una tolleranza fino all'8 % per progetto, produzione e prova.

L'articolo evidenzia la situazione che si verifica quando la scelta è fatta su cataloghi gonfiati.

		Caso A	Caso B
		Brinatura	Deumidificazione
Temperatura cella/ambiente esterno	°C	-18/+25	+10/+30
Temperatura evaporazione/condensazione nominale	°C	-25/+40	0/+42
Potenza frigorifera nominale	kW	50	92
Potenza smaltita dal condensatore	kW	81	123
Costo di esercizio apparecchi certificati	€/anno	29.818	26.417
Costo di esercizio apparecchi "non certificati" (con potenza termica carente del 25%)	€/anno	34.882	29.739
Delta costo di esercizio	€/anno	5.064 (+17,0%)	3.322 (+12,6%)

Nell'ipotesi di un costo di acquisto degli apparecchi "non certificati" inferiore del 20% rispetto a quello degli apparecchi certificati, dopo 10 anni di funzionamento, il confronto dei costi è il seguente:

Ipotesi costo di acquisto apparecchi certificati	€	15.000	14.300
Ipotesi costo di acquisto apparecchi "non certificati"	€	12.000	11.500
Ipotetico risparmio (tra apparecchi certificati e "non certificati")	€	3.000	2.800
Delta costo esercizio in 10 anni di funzionamento	€	50.640	33.220
Esborso aggiuntivo per maggiori consumi elettrici in numero di volte del supposto risparmio iniziale		17 volte (50.640/3.000)	12 volte (33.220/2.800)

Come si vede per il caso A il supposto risparmio di acquisto di 3.000€ è "pagato" 50.640€ nel corso di utilizzo dell'impianto (corrispondente a 17 volte il supposto risparmio sull'acquisto dei prodotti).

Nel caso B il supposto risparmio di acquisto di 2.800€ è "pagato" 33.220€ nel corso di utilizzo dell'impianto (corrispondente a 12 volte il supposto risparmio sull'acquisto dei prodotti).

Inoltre, nel caso A, il funzionamento con prodotti "non certificati" comporta un maggior costo di 50.640€, pari a 4.2 volte il costo di acquisto dei prodotti.

Nel caso B invece, il funzionamento con prodotti "non certificati" comporta un maggior costo di 33.220€, pari a 2.9 volte il costo di acquisto dei prodotti.

L'impiego di prodotti aventi prestazioni inferiori a quelle nominali, non solo comporta un esborso enormemente maggiore durante il ciclo di vita del prodotto, ma è dannoso dal punto di vista ambientale (maggior energia consumata e maggiore CO₂ nell'ambiente: **15,2** t_{CO2}/anno (caso A) e **10,0** t_{CO2}/anno (caso B) aggravando la bilancia commerciale del Paese dai costi di importazione dell'energia.

Evidentemente un acquisto intelligente, oculato e ottimizzato, non privilegia solo il costo di acquisto degli apparecchi, ma considera i costi complessivi del loro ciclo di vita.

Inoltre, l'impiego di prodotti certificati assicura al progettista, all'installatore e all'utilizzatore finale la garanzia della realizzazione di impianti qualificati per l'ottimale conservazione degli alimenti refrigerati.