



Ing. Filippini al XVII Convegno Europeo.

Nuovi sistemi intelligenti di sbrinamento

UMBERTO MERLO, GIOVANNI MARIANI, STEFANO FILIPPINI, ENNIO MACCHI

LUVE Spa



PREFAZIONE

Nella refrigerazione lo sbrinamento degli evaporatori è un'operazione critica. Per regolare la fase di sbrinamento in modo ottimale, spesso, sono necessari molti aggiustamenti. Per evitare la formazione di una quantità eccessiva di brina durante le condizioni di funzionamento più gravose, solitamente, viene impostato un alto numero di sbrinamenti di lunga durata. NIDEA ha lo scopo di ottimizzare il processo di sbrinamento di un evaporatore ed evitare sprechi energetici, senza ridurre la funzionalità dello scambiatore. Nei sistemi tradizionali, basati su una logica precauzionale, lo sbrinamento è attivato indipendentemente dalla reale presenza di brina sull'apparecchio. Il nuovo dispositivo, usando sensori di temperatura e pressione, regola dinamicamente i cicli di sbrinamento in base alle condizioni operative della cella frigorifera. In questo articolo è descritta la tecnologia del sistema, in termini di hardware e software. Sono presentate come riferimento le prestazioni di un test in campo; nell'analisi è confrontato lo stesso

impianto operante con sbrinamento gestito da sistema NIDEA e in modo tradizionale. Nei risultati sono discussi i consumi e i risparmi energetici.

INTRODUZIONE

È ben noto che quando l'aria umida lambisce la superficie di uno scambiatore di calore che opera a temperature negative, si verifica inevitabilmente una formazione di brina sulle superfici di scambio. Questo provoca una serie di conseguenze negative, che possono essere sinteticamente riassunte come segue: i) una resistenza termica aggiuntiva nella trasmissione di calore fra il fluido refrigerante e l'aria, che porta a una riduzione del coefficiente globale di scambio; ii) una resistenza aerodinamica aggiuntiva che tende a ridurre la portata d'aria. La combinazione dei due effetti sopra citati comporta una progressiva diminuzione della potenza termica scambiata, che si traduce in un parallelo aumento del consumo specifico del ciclo frigorifero. Il decadimento delle prestazioni viene interrotto effettuando uno sbrinamento, che può essere ottenuto con diverse tecniche: il più diffuso è lo sbrinamento elettrico, ottenuto con una serie di resistenze elettriche, site sia nel pacco alettato, sia nella bacinella. Per minimizzare i tempi di sbrinamento, la potenza elettrica richiesta è considerevole (circa il 30% della potenza termica).

Nel funzionamento reale di un aerorefrigeratore, il fenomeno è molto più

complesso e imprevedibile: non si può calcolare il numero di sbrinamenti ottimale per via teorica. Esso non è costante, poiché dipende da una molteplicità di fattori, molti dei quali variabili nel tempo in modo imprevedibile: fattori di utilizzo, caratteristiche dell'apparecchio, condizioni termodinamiche della cella frigorifera (temperatura, umidità relativa), apporti di umidità nella cella, numero e durata delle aperture delle porte, modalità ed efficienza di sbrinamento, ecc. Il frigorista, che deve impostare due valori: (i) l'intervallo temporale fra uno sbrinamento e l'altro e (ii) il tempo da assegnare a ogni ciclo di sbrinamento, tenderà a fissare valori prudenziali. Vale a dire: un elevato numero di sbrinamenti/giorno, così da evitare pericoli di formazione di brina troppo penalizzanti nei periodi critici in cui l'apporto di umidità nella cella e il fattore di utilizzo sono massimi e tempi lunghi di sbrinamento, per evitare che alla fine del ciclo di sbrinamento le superfici non siano perfettamente libere dalla brina e portino quindi a un progressivo impaccamento dell'apparecchio. Il risultato finale si traduce inevitabilmente in un aumento di consumo energetico e dei relativi costi di gestione dell'impianto, provocato da cicli di sbrinamento troppo frequenti e quindi inutili: un esempio tipico è quello di una cella in cui per lunghi periodi (ad esempio il fine settimana) non si verificano apporti di umidità e per la quale la potenza frigorifera sia dimensionata su carichi frigoriferi molto maggiori dei valori medi.

LA LOGICA DI NIDEA

NIDEA è progettato per essere in grado di individuare l'istante ottimale in cui sospendere il funzionamento del compressore (oppure chiudere la linea del liquido) ed attivare lo sbrinamento; e per individuare l'istante in cui terminare lo sbrinamento. Il dispositivo è applicabile ad ogni apparecchio (aerorefrigeratori o aerorefrigeranti operanti con qualsiasi fluido), affidabile e in grado, in presenza di anomalie (ad esempio, guasto di un ventilatore o di una resistenza, o di un sensore), di continuare a operare, segnalando la situazione di allarme e passando automaticamente a un funzionamento a tempo.

Individuazione del punto di inizio sbrinamento

La formazione di brina su un apparecchio può essere segnalata da molteplici parametri. Fra questi: un decadimento della prestazione dell'apparecchio (ad esempio in termini di rapporto fra la potenza termica e il salto di temperatura ΔT_1), una variazione della potenza elettrica assorbita dall'elettroventilatore, un aumento del peso dell'apparecchio, misure ottiche dello spessore di brina, ecc.

Una prima scelta è quella di basarsi sull'aumento della differenza di pressione lato aria a cavallo della batteria provocato dalla brina. Un importante vantaggio di questa soluzione è che essa è indipendente da parametri esterni al singolo apparecchio, quali ad esempio: il numero di apparecchi alimentati da una linea di compressione, il numero di compressori che alimenta la linea, la variazione di pressione di condensazione legata alla temperatura ambiente, il fluido refrigerante, la temperatura e l'umidità della cella, ecc. Unico requisito richiesto è la costanza del numero di giri del ventilatore dell'apparecchio.

Una seconda scelta è l'adozione di una logica di auto-calibrazione, basata sul tempo necessario per completare la procedura di sbrinamento: (i) si misura la perdita di carico Δp a cavallo della batteria in condizioni "pulite" e si opera fino a quando detto Δp non aumenta di un valore prefissato; (ii) si avvia la procedura di sbrinamento e si misura il tempo necessario per sbrina-

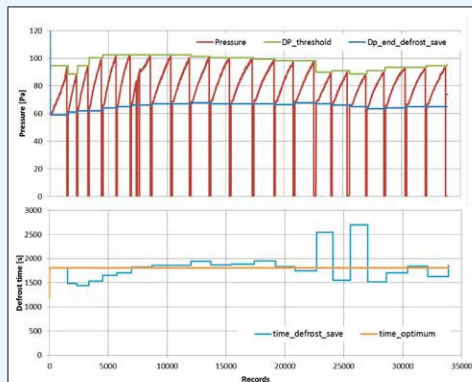


Figura 1. Diagrammi sperimentali che illustrano la logica di funzionamento di NIDEA: si parte da un valore iniziale di Δp nel primo ciclo ed è preimpostato un valore di Δp di soglia (nell'esempio, rispettivamente 60 e 90 Pa). L'apparecchio opera fino a che non raggiunge il Δp (diagramma superiore) di soglia. A questo punto opera uno sbrinamento. Terminato lo sbrinamento, misura il tempo impiegato per terminare il ciclo di sbrinamento e lo confronta con quello preimpostato (nell'esempio, 30 minuti, diagramma inferiore). Se, come nel caso in figura, il tempo di sbrinamento risulta maggiore del valore preimpostato, significa che il deposito di brina è superiore al valore desiderato e si diminuisce il valore del Δp di soglia. Nel successivo ciclo, raggiunge il nuovo valore di soglia ed effettua un nuovo sbrinamento, questa volta più breve del valore di soglia. Seguono numerosi cicli in cui si continua ad aumentare il valore di soglia fino a raggiungere il tempo di sbrinamento preimpostato. L'inseguimento prosegue continuando a effettuare piccole variazioni del valore di soglia. All'inizio di ogni ciclo di funzionamento, NIDEA memorizza il valore di Δp : un suo aumento oltre i limiti di tolleranza segnala un'anomalia.

re l'apparecchio: se detto tempo è superiore a un valore prefissato in input, NIDEA abbassa la soglia di Δp , se lo sbrinamento è avvenuto in minor tempo, la soglia viene alzata. La situazione è illustrata in Figura 1.

Individuazione dell'istante in cui terminare il ciclo di sbrinamento

In linea di principio, la fine dello sbrinamento dovrebbe avvenire quando il calore introdotto ha consentito l'eliminazione di ogni residuo di brina. Il sistema più diffuso per individuare tale istante consiste nel piazzare all'interno del pacco alettato una sonda di temperatura e nel fissare il valore di temperatura che detta sonda deve raggiungere. Il piazzamento della

sonda è problematico, perché la brina si deposita in modo non uniforme e non è facile individuare il punto dove la temperatura è rappresentativa dell'effettivo raggiungimento dello sbrinamento completo. Inoltre, la misura può essere falsata dalla vicinanza della sonda a elementi riscaldanti.

NIDEA è predisposto con due sonde di fine sbrinamento, che vengono premontate in fabbrica. Il sistema di montaggio assicura un ottimo contatto termico dell'elemento sensibile, che non deve essere influenzato dall'irraggiamento delle resistenze. NIDEA, oltre a basarsi sulle sonde di temperatura, ha un'ulteriore possibilità di verifica della bontà dello sbrinamento: confrontare la caduta di pressione nel pacco a fine

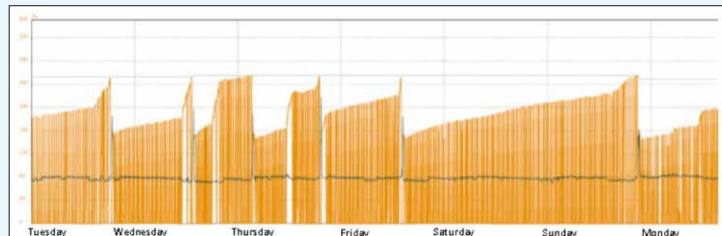


Figura 2. Andamento della caduta di pressione a cavallo della batteria. La linea verde rappresenta il Δp di soglia, la curva blu rappresenta la temperatura delle sonde di temperatura.

sbrinamento con il valore memorizzato ad apparecchio pulito. Se riscontra anomalie, indicative di uno sbrinamento non completo, effettua un nuovo sbrinamento, fino a quando Δp non rientra nelle tolleranze impostate. In caso contrario, segnala il comportamento anomalo.

APPLICAZIONE DI NIDEA A UN CASO REALE

La prima applicazione in un contesto reale di NIDEA è stata realizzata presso una cella di stoccaggio di prodotti

surgelati, in cui è stato installato un evaporatore dotato di valvola elettronica e sbrinamento comandato da NIDEA. Il funzionamento è stato costantemente monitorato tramite un sistema remoto di supervisione. Se si esamina il comportamento della caduta di pressione a cavallo della batteria in una settimana tipo, rappresentato in Figura 2, si può notare come esso differisca significativamente da quello registrato nelle prove di laboratorio: laddove in laboratorio, ove la cella era mantenuta a temperatura e umidità costante, si verificava un aumento graduale della caduta di

pressione nel tempo con derivata pressoché costante, in questo caso si registrano lunghi periodi in cui si hanno variazioni modeste di Δp (si veda ad esempio il fine settimana), intervallati da picchi repentini, coincidenti con periodi di apertura della cella e conseguenti aumenti dell'umidità e del fattore di carico. Nonostante ciò, NIDEA è stata perfettamente in grado di seguire lo stato di brinatura dell'apparecchio e di effettuare gli sbrinamenti in modo ottimale. L'impianto esistente prevedeva, prima dell'installazione di NIDEA, l'effettuazione di 4 sbrinamenti al giorno, ognun-

no con tempo prefissato di 30 minuti: un'assunzione molto prudente, come ha rivelato la successiva campagna sperimentale.

Va peraltro notato che a volte NIDEA ha effettuato sbrinamenti anche con intervalli temporali inferiori (si registrano due sbrinamenti a distanza di quattro ore, in occasione di un periodo in cui è effettuata una prolungata carica della cella).

I dati complessivi raccolti da questa esperienza sono sintetizzati nella tabella seguente, che riportano i dati salienti misurati nei vari mesi di funzionamento. Si può notare che il numero di sbrinamenti scelto da NIDEA è circa pari a uno sbrinamento giornaliero (contro i quattro del sistema "tradizionale", con una riduzione quindi del 75%), con energia media richiesta da ogni sbrinamento inferiore al valore tradizionale.

I risparmi mensili medi in termini di consumi energetici consentiti da NIDEA variano dal 30 al 20% e sono

massimi nei mesi più freddi, dove i consumi del compressore erano inferiori per la minore temperatura di condensazione. Nel caso in oggetto, questi risparmi energetici portano a risparmi economici dell'ordine di 2000 €/anno.

CONCLUSIONI

L'articolo presenta un nuovo componente, che consente di ottimizzare il funzionamento di ogni tipologia di aerorefrigeratore o aerorefrigerante operante a temperature negative e quindi soggetto alla formazione di brina.

Esso consente di individuare l'istante migliore in cui iniziare il ciclo di sbrinamento e quello in cui terminarlo, eliminando quindi nel funzionamento reale tutti i cicli di sbrinamento inutili e/o troppo prolungati.

NIDEA è auto calibrante, ed è dotato di logiche di allarme che, in caso di

funzionamenti anomali (ad esempio guasto di una resistenza o di un sensore) segnalano l'evento e passano automaticamente a effettuare sbrinamenti a tempo.

Il dispositivo può essere premontato in fabbrica e integrato con il sistema di regolazione della valvola elettronica, garantendo un funzionamento ottimale dell'apparecchio sia in termini di mantenimento del surriscaldamento desiderato del refrigerante all'uscita, sia in termini di cicli di sbrinamento.

Nell'articolo sono stati presentati i dati di un test in campo. I risultati indicano che sono sempre possibili significativi risparmi energetici, che si traducono in minori costi di esercizio dell'impianto frigorifero. Di fatto, NIDEA si ripaga sempre in tempi brevissimi, tanto più brevi quanto maggiore è la potenza frigorifera dell'aerorefrigeratore e quanto più è variabile nel tempo il funzionamento della cella in cui è inserito.

| DATI - Media dei 6 mesi | NIDEA | Tradizionale | Differenza | Rapporto % | |
|--------------------------------|----------|--------------|------------|------------|---------|
| n° defrost | - | 29 | 123 | 94 | -76,7% |
| Energia media defrost | kWh/mese | 6,6 | 8,1 | 1,50 | -18,5% |
| E riscaldatori | kWh/mese | 189 | 994 | 805 | -81,0% |
| E compressore | kWh/mese | 3711 | 4237 | 526 | -12,7% |
| E ventilatori | kWh/mese | 614 | 701 | 87 | -12,7% |
| Energia termica defrost stanza | kWh/mese | 117 | 924 | 807 | -87,4% |
| E compressore addizionale | kWh/mese | 0 | 526 | 526 | -100,0% |
| Energia elettrica totale | kWh/mese | 4514 | 5932 | 1418 | -24,3% |
| Costo energia totale | €/mese | 677 | 890 | 213 | -24,3% |

Figura 3. Dati energetici dell'impianto: valori medi mensili.

