

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000003485
Data Deposito	16/02/2021
Data Pubblicazione	16/08/2022

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	N	27	14

Titolo

PROCEDIMENTO PER LA DIAGNOSI DI UN'OPERAZIONE DI SBRINAMENTO IN UN SISTEMA FRIGORIFERO

PROCEDIMENTO PER LA DIAGNOSI DI UN'OPERAZIONE DI SBRINAMENTO IN UN SISTEMA FRIGORIFERO

Campo tecnico dell'invenzione

5 La presente invenzione riguarda un procedimento di diagnosi per la diagnosi di un'operazione di sbrinamento (comunemente nota con il termine inglese "defrost") in un sistema frigorifero.

In particolare, il presente procedimento di diagnosi permette di rilevare in modo preciso e affidabile eventuali cause di inefficienza o di malfunzionamento dello sbrinamento
10 dell'evaporatore di un sistema frigorifero, quale in particolare un banco frigorifero ad esempio destinato a contenere prodotti vendibili al dettaglio e installato in un supermercato.

Stato dell'arte

15 Durante il funzionamento di un sistema frigorifero la superficie di scambio del suo scambiatore freddo, o evaporatore, che è esposta all'ambiente da refrigerare, tende a ricoprirsi di ghiaccio per effetto della condensazione e del successivo congelamento del vapore contenuto nell'aria di tale ambiente. Lo strato di ghiaccio tende a isolare termicamente la superficie di scambio dell'evaporatore dall'ambiente, riducendo
20 l'efficienza del sistema frigorifero.

Per ovviare a tale inconveniente, è noto eseguire ciclicamente un'operazione di sbrinamento ("defrost") della superficie di scambio dell'evaporatore mediante riscaldamento di tale superficie, ad esempio mediante resistenze elettriche, in modo da sciogliere completamente il ghiaccio formatosi su tale superficie. Durante l'operazione di
25 sbrinamento l'evaporatore viene disattivato.

L'operazione di sbrinamento viene monitorata da un controllore del sistema frigorifero mediante una sonda di sbrinamento preposta a rilevare la temperatura della superficie di scambio. Quando l'operazione di sbrinamento è completata, il controllore riattiva l'evaporatore riprendendo l'azione frigorifera.

30 Particolarmente nel caso di banchi frigoriferi adibiti alla conservazione di beni deperibili, ad esempio prodotti alimentari, è fortemente sentita l'esigenza di mantenere tali beni a una temperatura sempre inferiore a una data temperatura di sicurezza. Pertanto, l'operazione di sbrinamento deve essere eseguita in modo da limitare il più possibile il

calore ceduto all'evaporatore e deve inoltre avere una durata quanto più possibile limitata al fine di evitare un inaccettabile incremento di temperatura (visto che durante l'operazione di sbrinamento, come detto, l'azione frigorifera è interrotta).

E' peraltro prevista, successivamente all'operazione di sbrinamento, una fase cosiddetta di "pull-down", cioè un abbassamento repentino della temperatura, che prevede l'attivazione alla massima capacità di raffreddamento dell'evaporatore per riportare il più velocemente possibile lo stesso alle condizioni ottimali di lavoro e per ripristinare la temperatura del vano da refrigerare.

Un eventuale errore di posizionamento della sonda di sbrinamento, ad esempio troppo vicino alle resistenze elettriche di sbrinamento, come pure un'eventuale staratura o un eventuale malfunzionamento della sonda di sbrinamento, possono compromettere la qualità e l'efficacia dello sbrinamento. Intervalli troppo lunghi o troppo corti tra due sbrinamenti successivi possono compromettere l'efficienza del sistema frigorifero. Lo sbrinamento può risultare ad esempio non completo o poco frequente, e quindi compromettere lo scambio termico a livello della superficie di scambio dell'evaporatore. Viceversa, lo sbrinamento può risultare troppo lungo o troppo frequente, determinando picchi di temperatura troppo alti a livello della superficie di scambio, e dunque richiedendo un notevole incremento dell'azione frigorifera per compensare l'eccessivo riscaldamento e portando di conseguenza a un eccessivo consumo di energia.

Sommario dell'invenzione

Scopo della presente invenzione è migliorare l'efficienza dello sbrinamento di un sistema frigorifero, consentendo l'individuazione di eventuali malfunzionamenti o errate configurazioni della macchina che possano compromettere l'efficienza dello sbrinamento.

Questo e altri scopi sono pienamente raggiunti secondo la presente invenzione grazie a un procedimento per la diagnosi di un'operazione di sbrinamento come definito nell'annessa rivendicazione indipendente 1.

Grazie a un tale procedimento di diagnosi, è possibile individuare, in modo semplice ma allo stesso tempo affidabile, condizioni di non corretta esecuzione dell'operazione di sbrinamento, siano esse dovute a malfunzionamenti della sonda di sbrinamento o delle resistenze elettriche, a un errato posizionamento della sonda di sbrinamento, o a un'errata impostazione dei parametri di sbrinamento (quali l'intervallo di tempo fra due operazioni di sbrinamento consecutive, la durata dell'operazione di sbrinamento, la

temperatura di fine sbrinamento, ecc.), e inoltre proporre, a seconda della causa che ha generato una condizione di funzionamento anomalo, una o più possibili azioni correttive finalizzate a eliminare tale causa. Il procedimento di diagnosi della presente invenzione permette inoltre di conseguire una riduzione dei consumi energetici, sia durante
5 l'operazione di sbrinamento sia nel normale funzionamento, visto che garantisce che l'evaporatore sia sempre efficiente. Si ottiene inoltre una migliore qualità di regolazione del sistema frigorifero, con le temperature di esercizio sempre mantenute entro gli intervalli ottimali e dunque, nel caso in cui il sistema frigorifero sia un banco frigorifero per la conservazione di prodotti alimentari, viene assicurata una migliore qualità di
10 conservazione dei prodotti alimentari.

Modalità preferite di attuazione del procedimento secondo la presente invenzione sono oggetto delle rivendicazioni dipendenti, il cui contenuto è da intendersi come parte integrante della descrizione che segue.

Le caratteristiche e i vantaggi della presente invenzione risulteranno evidenti dalla
15 seguente descrizione dettagliata, fornita a puro titolo di esempio non limitativo con riferimento ai disegni allegati

Breve descrizione delle figure

Nella seguente descrizione dettagliata dell'invenzione verrà fatto riferimento alle figure
20 dei disegni allegati, in cui:

- la figura 1 è un grafico che riporta l'andamento nel tempo della temperatura rilevata dalla sonda di sbrinamento dell'evaporatore di un sistema frigorifero durante un'operazione di sbrinamento;

- la figura 2 è un istogramma normalizzato delle frequenze delle temperature durante
25 l'operazione di sbrinamento di cui alla figura 1;

- la figura 3 è un grafico che riporta un esempio di andamento temporale della temperatura rilevata dalla sonda di sbrinamento dell'evaporatore di un sistema frigorifero nel caso di un'operazione di sbrinamento effettuata in modo corretto;

- le figure dalla 4 alla 9 sono grafici che riportano esempi di andamento temporale della
30 temperatura rilevata dalla sonda di sbrinamento dell'evaporatore di un sistema frigorifero nel caso di operazioni di sbrinamento eseguite in modo non corretto; e

- le figure 10 e 11 riportano un diagramma a blocchi del procedimento di diagnosi dell'operazione di sbrinamento dell'evaporatore di un sistema frigorifero secondo una modalità di attuazione della presente invenzione.

Descrizione dettagliata

Come spiegato nella parte introduttiva della presente descrizione, durante il funzionamento di un sistema frigorifero la superficie di scambio dell'evaporatore tende a ricoprirsi di ghiaccio. Per sciogliere lo strato di ghiaccio così formato, il controllore del sistema frigorifero comanda ciclicamente un'operazione di sbrinamento dell'evaporatore, che viene eseguita riscaldando, ad esempio mediante resistenze elettriche, la superficie di scambio dell'evaporatore in modo da sciogliere completamente lo strato di ghiaccio formatosi su tale superficie. L'operazione di sbrinamento viene monitorata dal controllore mediante una sonda di sbrinamento che è montata nel punto più freddo dell'evaporatore, a contatto con la superficie di scambio dello stesso.

La figura 1 dei disegni allegati mostra il tipico andamento temporale della temperatura misurata dalla sonda di sbrinamento durante un'operazione di sbrinamento, nel caso di sonda di sbrinamento correttamente funzionante e correttamente posizionata. Ai fini della presente invenzione, con l'espressione "durante l'operazione di sbrinamento" è da intendersi durante l'intervallo di tempo durante il quale viene fornito calore, ad esempio mediante attivazione di resistenze elettriche, alla superficie di scambio dell'evaporatore. Per effetto del calore fornito alla superficie di scambio dell'evaporatore, ad esempio mediante resistenze elettriche, la temperatura rilevata dalla sonda di sbrinamento inizialmente aumenta (intervallo di tempo fra gli istanti indicati nel diagramma con t_0 e t_1), per poi mantenersi per un certo intervallo di tempo (fra gli istanti indicati nel diagramma con t_1 e t_2) sostanzialmente costante su un dato valore (indicato con T_{melt}), e quindi aumentare nuovamente sino al termine dello sbrinamento (intervallo di tempo fra gli istanti t_2 e t_3).

L'andamento temporale della temperatura presenta quindi un flesso alla temperatura T_{melt} nell'intervallo fra gli istanti di tempo t_1 e t_2 , durante il quale avviene la transizione di fase del ghiaccio dalla fase solida alla fase liquida. Tale temperatura (di seguito indicata come "temperatura di riferimento") rappresenta la temperatura misurata dalla sonda di sbrinamento quando il ghiaccio sulla superficie di scambio inizia a sciogliersi. Nel caso di un eventuale errore di offset della sonda di sbrinamento, la temperatura di riferimento T_{melt} non sarà pari alla temperatura di fusione del ghiaccio, vale a dire 0°C .

Rilevando quindi il valore di temperatura in corrispondenza del quale l'andamento temporale della temperatura presenta un flesso, è possibile determinare l'eventuale errore di offset della sonda di sbrinamento.

Nell'esempio mostrato in figura 1 si vede che il flesso dell'andamento della temperatura

è posizionato a $-6,5^{\circ}\text{C}$, il che significa che la sonda di sbrinamento in questione presenta un errore di offset di $-6,5^{\circ}\text{C}$. In tal caso, verrà dunque considerata come temperatura di riferimento T_{melt} la temperatura di $-6,5^{\circ}\text{C}$.

Come mostrato in figura 2, la rilevazione del flesso dell'andamento temporale della temperatura misurata dalla sonda di sbrinamento, e quindi la determinazione dell'errore di offset della sonda, può avvenire mediante la costruzione dell'istogramma normalizzato delle frequenze delle temperature registrate dalla sonda ad ogni operazione di sbrinamento. La presenza di un picco evidente (valore ad esempio superiore a 0,6) indica a quale valore di temperatura misurata dalla sonda (nel presente esempio la temperatura di $-6,5^{\circ}\text{C}$) si verifica lo scioglimento del ghiaccio.

Nel caso in cui il picco dell'istogramma non sia chiaro, è vantaggiosamente prevista la costruzione di un secondo istogramma le cui classi sono sfasate della metà della loro ampiezza. In tal modo è possibile rilevare la temperatura di scioglimento qualora fosse a cavallo di due classi del primo istogramma e quindi fossero presenti in tale istogramma due picchi vicini ma di valore inferiore.

Preferibilmente, l'errore di offset della sonda di sbrinamento viene determinato su base giornaliera prendendo in esame tutte le operazioni di sbrinamento del giorno in esame e considerando la media delle temperature di flesso rilevate durante tali operazioni. Perché un flesso sia ritenuto valido, e dunque la relativa temperatura sia considerata ai fini della determinazione dell'errore di offset, è necessario che si verifichino contemporaneamente le seguenti due condizioni:

- nell'istogramma normalizzato deve evidenziarsi un unico picco di valore non inferiore a 0,6; e

- in corrispondenza del picco, l'istogramma non normalizzato deve contare almeno 4 campioni di temperatura.

La seconda condizione sopra riportata significa quindi che nel caso di campionamento della temperatura a intervalli ad esempio di 1 minuto, il flesso deve durare almeno 4 minuti per essere ritenuto valido.

Se non è possibile determinare l'errore di offset sulla base dei dati del giorno in esame, si ricerca l'ultimo valore rilevato nella memoria della sonda di sbrinamento. Se tale ricerca non ha successo, si assume un errore di offset nullo e quindi un valore di temperatura di riferimento T_{melt} pari a 0°C .

Il procedimento di diagnosi può quindi prevedere una fase di controllo della corretta configurazione del sistema frigorifero, che in caso di esito positivo fornisce il consenso

alla possibilità di verifica della corretta esecuzione di ciascuna singola operazione di sbrinamento, mentre in caso di esito negativo fornisce un segnale di anomalia per sollecitare l'intervento di un operatore al fine di ripristinare la corretta configurazione del sistema frigorifero.

- 5 In tale fase di controllo viene utilizzata la summenzionata temperatura di riferimento T_{melt} (che come detto rappresenta l'errore di offset della sonda di sbrinamento) e vengono considerate le temperature del sistema frigorifero quando esso è in regolazione, cioè quando c'è passaggio di gas refrigerante nell'evaporatore, e dunque non è in corso un'operazione di sbrinamento.
- 10 Più precisamente, tale fase di controllo viene eseguita prendendo in considerazione le seguenti temperature, oltre alla temperatura di riferimento T_{melt} della sonda di sbrinamento:
 - la temperatura di evaporazione T_{evp} , cioè la temperatura del gas refrigerante all'ingresso dell'evaporatore (tale temperatura tipicamente non è rilevata da una sonda
 - 15 di temperatura, ma viene ricavata sulla base della pressione misurata da un sensore di pressione nell'evaporatore),
 - la temperatura T_{def} della sonda di sbrinamento, e
 - la temperatura di regolazione T_{reg} del sistema frigorifero (vale a dire la temperatura dell'aria all'uscita dell'evaporatore).
- 20 Per lo svolgimento di tale fase di controllo vengono inoltre utilizzate le seguenti costanti positive:
 - la costante ε_1 inferiore a 1, ad esempio compresa fra 0,1 e 0,3, avente il significato fisico di minima differenza accettabile fra la temperatura di sbrinamento T_{def} e la temperatura di evaporazione T_{evp} ,
 - 25 - la costante ε_2 inferiore a 1, ma superiore a ε_1 , avente il significato fisico di differenza fra la temperatura di sbrinamento T_{def} e la temperatura di evaporazione T_{evp} oltre la quale il sistema frigorifero può essere considerato correttamente configurato,
 - la costante ε_3 , maggiore di 1, ad esempio compresa fra 1 e 2, avente il significato fisico di minima differenza accettabile tra la temperatura di regolazione T_{reg} del sistema
 - 30 frigorifero e la temperatura di sbrinamento T_{def} , e
 - la costante ε_4 , maggiore di ε_3 , ad esempio compresa fra 2 e 3, avente il significato fisico di differenza fra la temperatura di regolazione T_{reg} del sistema frigorifero e la temperatura di sbrinamento T_{def} oltre la quale il sistema frigorifero può essere considerato correttamente configurato.

I valori delle costanti ε_1 , ε_2 , ε_3 ed ε_4 possono essere fissati in modo arbitrario, sia manualmente sia mediante ulteriori analisi automatizzate per adattare il procedimento al particolare sistema frigorifero da controllare, anche se è preferibile che essi siano compresi negli intervalli esemplificativi sopra indicati.

- 5 Considerando un numero n di campioni rilevati con il sistema frigorifero in fase di regolazione (cioè quando non sono in corso operazioni di sbrinamento), per valutare se il sistema frigorifero è configurato correttamente e idoneo per la restante parte della procedura di diagnosi si calcolano i seguenti due indici di performance S_{de} e S_{rd} :

$$S_{de} = \text{rampa}(T_{d-e}, \varepsilon_1, \varepsilon_2), \text{ dove } T_{de} = \frac{\sum_{i=0}^n (T_{def}[i] - T_{melt} - T_{evp}[i])}{n}, \text{ e}$$

$$10 \quad S_{rd} = \text{rampa}(T_{r-d}, \varepsilon_3, \varepsilon_4), \text{ dove } T_{r-d} = \frac{\sum_{i=0}^n (T_{reg}[i] - T_{melt} - T_{def}[i])}{n},$$

dove per "rampa (v , p_1 , p_2)" s'intende una funzione che restituisce un valore minimo pari a 0 per $v < p_1$, un valore massimo pari a 1 per $v > p_2$ e un valore linearmente crescente da 0 a 1 al crescere di v nell'intervallo fra p_1 e p_2 .

- S_{de} è un punteggio che assume un valore reale compreso tra 0 e 1 e indica quanto la
15 differenza tra la temperatura di sbrinamento T_{def} e la temperatura di evaporazione T_{evp} rispetta le condizioni attese. La temperatura di evaporazione T_{evp} deve essere la temperatura più bassa all'interno del sistema frigorifero.

- S_{rd} è un punteggio che assume un valore reale compreso tra 0 e 1 e indica quanto la
differenza tra la temperatura di regolazione T_{reg} del sistema frigorifero e la temperatura
20 di sbrinamento T_{def} rispetta le condizioni attese. La temperatura di sbrinamento T_{def} deve sempre essere inferiore alla temperatura di regolazione T_{reg} quando il sistema frigorifero si trova in fase di regolazione (cioè lontano dalle fasi di sbrinamento).

Il minore fra i due indici S_{de} e S_{rd} , calcolato su base giornaliera, viene utilizzato come indice di idoneità ("compliance") I_c del sistema frigorifero.

- 25 Se il valore dell'indice di idoneità del sistema frigorifero è maggiore di, o uguale a, un valore di soglia C , allora viene dato il consenso all'analisi delle singole operazioni di sbrinamento avvenute nel medesimo giorno per il quale l'idoneità del sistema frigorifero è stata valutata. Se invece il valore dell'indice di idoneità del sistema frigorifero è minore del valore di soglia C , allora non viene eseguita l'analisi delle singole operazioni di
30 sbrinamento di quel giorno. Dal valore di soglia C dipende la sensibilità con cui il sistema frigorifero viene considerato idoneo per l'analisi delle singole operazioni di sbrinamento. E' stato empiricamente riscontrato come un valore di soglia C compreso fra 0,3 e 0,4 sia ottimale per filtrare correttamente i sistemi frigoriferi non idonei all'analisi.

Questa fase di controllo della corretta configurazione del sistema frigorifero è preferibilmente condotta su base giornaliera, cioè considerando tutti i campioni acquisiti (ad esempio con una frequenza di uno ogni minuto) nell'arco della giornata. Se l'indice di idoneità del sistema frigorifero è minore del valore di soglia C, ad esempio causa
 5 malfunzionamento o errato posizionamento della sonda di sbrinamento, il processo di diagnosi viene interrotto e porta alla generazione di un segnale di anomalia che informa appunto l'operatore circa l'anomalia riscontrata.

Il processo di diagnosi prevede quindi una fase di verifica di ciascuna singola operazione di sbrinamento al fine di determinare se tale operazione è stata eseguita correttamente
 10 oppure no e, in caso negativo, segnalare la presenza di un'anomalia e, preferibilmente, indicare una o più possibili azioni correttive per ovviare a tale anomalia.

Tale fase di verifica viene eseguita controllando l'andamento temporale della temperatura rilevata dalla sonda di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento e verificando il rispetto di una serie di condizioni, come di seguito illustrato.

15 Per la verifica della corretta esecuzione della singola operazione di sbrinamento si considerano due indici di performance, S_{melt} e S_{max} , che dipendono rispettivamente dal rapporto $rt_{m-d} = t_{melt}/t_{def}$ fra l'intervallo di tempo t_{melt} in cui la temperatura di sbrinamento T_{def} è pari alla temperatura di riferimento T_{melt} (intervallo di tempo t_1-t_2 nel diagramma di figura 1) e la durata totale t_{def} dell'operazione di sbrinamento, e dal valore massimo T_{max}
 20 raggiunto dalla temperatura di sbrinamento T_{def} durante l'operazione di sbrinamento. Come spiegato in dettaglio più avanti, tali indici di performance devono essere superiori a una data costante, il che significa, per quanto riguarda l'indice S_{melt} , che il rapporto rt_{m-d} deve essere maggiore di una data soglia minima, e, per quanto riguarda l'indice S_{max} , che la temperatura massima T_{max} deve essere maggiore di una data soglia minima ma
 25 minore di una data soglia massima.

Preferibilmente, gli indici S_{melt} e S_{max} sono calcolati secondo le seguenti formule:

$$S_{melt} = \text{rampa}(rt_{m-d}, \tau_1, \tau_2), \text{ e}$$

$$S_{max} = \text{trapezio}(T_{max}, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4),$$

dove per "trapezio (v , p_1 , p_2 , p_3 , p_4)" s'intende una funzione che restituisce un valore
 30 minimo pari a 0 per $v < p_1$ o $v > p_4$, un valore massimo pari a 1 per v compreso fra p_2 e p_3 , un valore linearmente crescente da 0 a 1 al crescere di v nell'intervallo fra p_1 e p_2 , e un valore linearmente decrescente da 1 a 0 al crescere di v nell'intervallo fra p_3 e p_4 , e dove:

τ_1 è una costante positiva dell'ordine di decimali, ad esempio compresa fra 0 e 0,1 o

0,15, e rappresenta la minima soglia che deve raggiungere il rapporto $t_{\text{melt}}/t_{\text{def}}$ (nel senso che valori di tale rapporto inferiori a τ_1 denotano un'operazione di sbrinamento potenzialmente superflua in quanto eseguita nonostante la scarsa quantità di ghiaccio da sciogliere),

- 5 τ_2 è una costante positiva dell'ordine di decimali, ma comunque maggiore di τ_1 (ad esempio pari a 0,2 o 0,25), è rappresenta il valore del rapporto $t_{\text{melt}}/t_{\text{def}}$ oltre il quale si considera adeguato il tempo di scioglimento del ghiaccio rispetto alla durata totale dell'operazione di sbrinamento,

10 θ_1 è un primo valore di temperatura, euristicamente scelto ad esempio nell'intervallo fra 2°C e 3°C,

θ_2 è un secondo valore di temperatura, euristicamente scelto ad esempio nell'intervallo fra 5°C e 6°C,

θ_3 è un terzo valore di temperatura, euristicamente scelto ad esempio nell'intervallo fra 14°C e 16°C, e

- 15 θ_4 è un quarto valore di temperatura, euristicamente scelto ad esempio nell'intervallo fra 20°C e 22°C.

L'indice S_{melt} , il cui valore varia fra 0 e 1, indica se l'intervallo di tempo nel quale c'è stato scioglimento di ghiaccio durante l'operazione di sbrinamento oggetto di analisi è stato sufficientemente lungo. Tale indice sarà massimo (pari a 1) in caso di rapporto $t_{\text{melt}}/t_{\text{def}}$ superiore alla costante τ_2 .

L'indice S_{max} , il cui valore varia fra 0 e 1, sarà massimo (pari a 1) quando la temperatura massima T_{max} durante l'operazione di sbrinamento è compresa fra θ_2 e θ_3 . Durante l'operazione di sbrinamento, infatti, la temperatura massima T_{max} deve superare un dato valore minimo per garantire che tutto il ghiaccio all'interno dell'evaporatore venga sciolto, ma allo stesso tempo non superare un dato valore massimo per evitare un inutile dispendio di energia, oltre che evitare, nel caso in cui il sistema frigorifero in questione sia un banco frigo, shock termici al cibo conservato nel banco frigo.

L'operazione di sbrinamento è considerata correttamente eseguita, e dunque non viene generato alcun segnale di anomalia, se l'andamento temporale della temperatura di sbrinamento T_{def} durante l'operazione di sbrinamento presenta un flesso alla temperatura di riferimento T_{melt} e se sono soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

$$S_{\text{melt}} > \gamma_1, \text{ e}$$

$$S_{\text{max}} > \gamma_2,$$

dove γ_1 e γ_2 sono costanti positive minori di 1.

Ciò significa da un lato che il rapporto $t_{\text{melt}}/t_{\text{def}}$ deve essere maggiore di una data soglia minima τ_{min} , che nel caso di indice S_{melt} calcolato con la summenzionata funzione "rampa" sarà pari a $\tau_1 + \gamma_1 \cdot (\tau_2 - \tau_1)$, e dall'altro che la temperatura massima T_{max} deve essere compresa fra una soglia minima θ_{min} e una soglia massima θ_{max} , che nel caso di indice S_{max} calcolato con la summenzionata funzione "trapezio" saranno rispettivamente pari a $\theta_1 + \gamma_2 \cdot (\theta_2 - \theta_1)$ e a $\theta_4 - \gamma_2 \cdot (\theta_4 - \theta_3)$.

Nella descrizione che segue si considererà per semplicità il caso in cui le due costanti γ_1 e γ_2 sono uguali al medesimo valore γ , in particolare pari a 0,66.

Un esempio di andamento temporale della temperatura di sbrinamento T_{def} nel caso di un'operazione di sbrinamento che soddisfa i requisiti sopra menzionati, e che quindi è considerata dal presente procedimento di diagnosi come correttamente eseguita, è mostrata in figura 3.

Le figure dalla 4 alla 6 mostrano rispettivi esempi di andamento temporale della temperatura di sbrinamento T_{def} nel caso di operazioni di sbrinamento eseguite in modo non corretto, per le quali il procedimento di diagnosi secondo l'invenzione prevede quindi la generazione di un segnale di anomalia. In tutti questi esempi l'andamento temporale della temperatura di sbrinamento T_{def} presenta un flesso alla temperatura di riferimento T_{melt} , ma almeno uno degli indici di performance S_{max} e S_{melt} risulta inferiore alla costante γ sopra definita.

Più specificamente, la figura 4 si riferisce a un'operazione di sbrinamento in cui si ha $S_{\text{melt}} < \gamma$. Tale situazione indica una scarsa presenza di ghiaccio nell'evaporatore prima dell'inizio dell'operazione di sbrinamento. Vi è stata infatti una fase di scioglimento del ghiaccio, come dimostra il fatto che l'andamento della temperatura di sbrinamento T_{def} presenti un flesso, ma tale fase è stata di breve durata in quanto il ghiaccio si è sciolto molto velocemente. In questo caso, pertanto, l'operazione di sbrinamento è stata eseguita senza che ve ne fosse necessità, con conseguente inutile consumo di energia elettrica. Come azione correttiva è suggerita in questo caso una riprogrammazione temporale delle operazioni di sbrinamento con aumento dell'intervallo di tempo fra due operazioni consecutive.

La figura 5 mostra un esempio di operazione di sbrinamento in cui si hanno $S_{\text{max}} < \gamma$ e $T_{\text{max}} < T_{\text{melt}} + \theta_2$. Tale situazione indica la possibilità che il ghiaccio all'interno dell'evaporatore non sia stato completamente sciolto. Come azioni correttive sono suggerite in questo caso il controllo dell'evaporatore per verificare se sia ancora presente

ghiaccio e, in caso affermativo, l'esecuzione forzata di un'ulteriore operazione di sbrinamento. In aggiunta, o in alternativa, può essere suggerito di aumentare la durata t_{def} dell'operazione di sbrinamento.

La figura 6 mostra un esempio di operazione di sbrinamento in cui si hanno $S_{max} < \gamma$ e

- 5 $T_{max} \geq T_{melt} + \theta_2$. Tale situazione indica che il ghiaccio all'interno dell'evaporatore è stato completamente sciolto, ma che la temperatura massima ha raggiunto un valore troppo elevato, ad esempio causa errata configurazione dei parametri di sbrinamento (quali la durata dell'operazione di sbrinamento), portando così a un inutile consumo di energia elettrica. Come azioni correttive sono suggerite in questo caso la riduzione della durata
- 10 t_{def} dell'operazione di sbrinamento e l'impostazione di una temperatura di fine sbrinamento più bassa.

Le figure dalla 7 alla 9 mostrano rispettivi esempi di andamento temporale della temperatura di sbrinamento T_{def} nel caso di operazioni di sbrinamento eseguite in modo non corretto, per le quali il procedimento di diagnosi secondo l'invenzione prevede quindi

15 la generazione di un segnale di anomalia. In tutti questi esempi l'andamento temporale della temperatura di sbrinamento T_{def} non presenta un flesso alla temperatura di riferimento T_{melt} e quindi l'indice di performance S_{melt} risulta inferiore alla costante γ sopra definita.

Più specificamente, la figura 7 si riferisce a un'operazione di sbrinamento in cui si ha

- 20 $T_{max} < T_{melt} + \theta_1$. Tale situazione indica che l'operazione di sbrinamento non è stata in grado di sciogliere completamente il ghiaccio presente all'interno dell'evaporatore causa mancato raggiungimento di una temperatura sufficientemente superiore alla temperatura di riferimento T_{melt} , dovuto ad esempio al fatto che l'operazione di sbrinamento è durata troppo poco e/o a un malfunzionamento delle resistenze elettriche. Come azioni
- 25 correttive sono suggerite in questo caso l'esecuzione forzata di un'ulteriore operazione di sbrinamento, previa verifica dell'effettiva presenza di ghiaccio residuo all'interno dell'evaporatore, e, in aggiunta o in alternativa, l'aumento della durata t_{def} dell'operazione di sbrinamento.

La figura 8 riguarda un'operazione di sbrinamento in cui si ha $T_{max} \geq T_{melt} + \theta_1$. Tale

- 30 situazione indica una possibile assenza di ghiaccio nell'evaporatore prima dell'inizio dell'operazione di sbrinamento, ma in ogni caso il raggiungimento di una temperatura di sbrinamento sufficientemente elevata da garantire l'assenza di ghiaccio residuo nell'evaporatore al termine dell'operazione di sbrinamento. Come azione correttiva è suggerita anche in questo caso, così come nel caso sopra descritto con riferimento alla
- 35 figura 4, una riprogrammazione temporale delle operazioni di sbrinamento con aumento

dell'intervallo di tempo fra due operazioni consecutive.

Infine, la figura 9 mostra un esempio di operazione di sbrinamento in cui si hanno $S_{\max} < \gamma$ e $T_{\max} > T_{\text{melt}} + \theta_2$. Tale situazione indica una possibile assenza di ghiaccio nell'evaporatore prima dell'inizio dell'operazione di sbrinamento, insieme con il raggiungimento di una temperatura massima troppo elevata e dunque un inutile consumo di energia elettrica. Come azioni correttive sono suggerite anche in questo caso, così come nell'esempio sopra descritto con riferimento alla figura 6, la riduzione della durata t_{def} dell'operazione di sbrinamento e l'impostazione di una temperatura di fine sbrinamento più bassa.

Le figure 10 e 11 mostrano infine, suddiviso in due parti, il diagramma di flusso di un esempio di attuazione del procedimento di diagnosi sopra descritto, in cui sono previste tutte le fasi sopra descritte.

Tali fasi potrebbero tuttavia non essere tutte previste o attuate. Ad esempio, ipotizzando che il sistema frigorifero sia correttamente configurato e correttamente funzionante, la summenzionata fase di controllo della corretta configurazione del sistema frigorifero (indicata come "fase 2" nella parte di diagramma di flusso mostrata in figura 10) potrebbe non essere eseguita. In tal caso, sarebbe eseguita, a ogni operazione di sbrinamento, la fase di verifica (indicata come "fase 3" nelle figure 10 e 11) mirante a individuare la presenza di un flesso nell'andamento temporale della temperatura della sonda di sbrinamento, nonché a verificare come si relaziona il valore massimo della temperatura di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento rispetto alla temperatura di riferimento T_{melt} , al fine di valutare se l'operazione di sbrinamento è stata eseguita in modo corretto oppure no e, in questo secondo caso, generare un segnale di anomalia e suggerire una o più azioni correttive in funzione del tipo di anomalia riscontrata. In una modalità di attuazione preferita del procedimento, tuttavia, la fase di controllo della corretta configurazione del sistema frigorifero è vantaggiosamente eseguita e il soddisfacimento della summenzionata condizione che il valore dell'indice di idoneità del sistema frigorifero sia non inferiore al valore di soglia C costituisce preconditione necessaria perché venga effettuata la successiva fase di verifica della corretta esecuzione dell'operazione di sbrinamento. In altre parole, se la summenzionata condizione che il valore dell'indice di idoneità del sistema frigorifero sia non inferiore al valore di soglia C non è soddisfatta, allora non viene eseguita la fase di verifica della corretta esecuzione dell'operazione di sbrinamento, ma viene generato un segnale di anomalia che invita l'operatore a verificare la corretta configurazione del sistema frigorifero, in particolare il corretto posizionamento della sonda di sbrinamento e/o il

corretto funzionamento della stessa.

Quanto alla fase (indicata come "fase 1" nella parte di diagramma di flusso mostrata in figura 10) di calcolo dell'errore di offset della sonda di temperatura, ovvero di calcolo della temperatura di riferimento T_{melt} , anch'essa può essere facoltativa. Infatti, nell'ipotesi di conoscere con certezza e precisione l'eventuale errore di offset della sonda di temperatura, è possibile utilizzare tale valore per verificare in quale relazione si pone, rispetto alla temperatura di riferimento T_{melt} , la massima temperatura misurata dalla sonda di sbrinamento durante un'operazione di sbrinamento. In una modalità di attuazione preferita del procedimento, tuttavia, tale fase di calcolo è vantaggiosamente eseguita in modo da garantire l'affidabilità delle summenzionate fasi di controllo e di verifica, dal momento che queste utilizzano entrambe la temperatura di riferimento T_{melt} e sono quindi influenzate da un eventuale errore di offset della sonda di sbrinamento.

Il procedimento di diagnosi sopra descritto è vantaggiosamente eseguito da un apposito software installato nel controllore del sistema frigorifero o in un sistema di controllo remoto collegato a distanza con il sistema frigorifero e comunicante con esso mediante una rete di comunicazione, in particolare mediante la rete internet.

Alla luce della descrizione sopra fornita risultano evidenti i vantaggi conseguibili con un procedimento di diagnosi oggetto della presente invenzione.

Il procedimento consente in modo semplice e affidabile di individuare condizioni di non corretta esecuzione dell'operazione di sbrinamento, siano esse dovute a malfunzionamenti della sonda di sbrinamento o delle resistenze elettriche, a un errato posizionamento della sonda di sbrinamento, o a un'errata impostazione dei parametri di sbrinamento (quali l'intervallo di tempo fra due operazioni di sbrinamento consecutive, la durata dell'operazione di sbrinamento, la temperatura di fine sbrinamento, ecc.), proponendo inoltre, a seconda della causa che ha generato una condizione di funzionamento anomalo, una o più possibili azioni correttive finalizzate a eliminare tale causa. Il procedimento permette inoltre di conseguire una riduzione dei consumi energetici, sia durante l'operazione di sbrinamento sia nel normale funzionamento, visto che garantisce che l'evaporatore sia sempre efficiente. Si ottiene inoltre una migliore qualità di regolazione del sistema frigorifero, con le temperature di esercizio sempre mantenute entro gli intervalli ottimali e dunque, nel caso in cui il sistema frigorifero sia un banco frigorifero per la conservazione di prodotti alimentari, viene assicurata una migliore qualità di conservazione dei prodotti alimentari.

La presente invenzione è stata qui descritta con riferimento a una sua modalità preferita

di attuazione. È da intendersi che possono essere previste altre modalità di attuazione che condividono con quella qui descritta il medesimo nucleo inventivo, come definito dall'ambito di protezione delle rivendicazioni qui di seguito riportate.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di diagnosi per la diagnosi di un'operazione di sbrinamento di una superficie di scambio di un evaporatore di un sistema frigorifero, in cui detta operazione di sbrinamento prevede la fornitura di calore, mediante mezzi riscaldanti, a detta superficie di scambio per sciogliere il ghiaccio formatosi durante l'uso su detta superficie di scambio, e in cui detto sistema frigorifero comprende una sonda di sbrinamento atta a rilevare la temperatura su detta superficie di scambio e mezzi di controllo atti a comandare l'attivazione e la disattivazione di detti mezzi riscaldanti per controllare l'avvio e l'interruzione dell'operazione di sbrinamento secondo predeterminate logiche di funzionamento,

il procedimento comprendendo le fasi di:

- predeterminare un valore di temperatura di riferimento (T_{melt}) per l'operazione di sbrinamento, quale valore di temperatura misurato dalla sonda di sbrinamento quando la temperatura effettiva su detta superficie di scambio è pari a 0°C ; e

- analizzare l'andamento temporale della temperatura (T_{def}) misurata dalla sonda di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento e generare un segnale di anomalia se almeno una delle seguenti condizioni non è verificata:

- a) l'andamento temporale della temperatura (T_{def}) misurata dalla sonda di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento presenta un flesso;

- b) il rapporto (rt_{m-d}) fra l'intervallo di tempo (t_{melt}) in cui la temperatura (T_{def}) misurata dalla sonda di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento è pari a detta temperatura di riferimento (T_{melt}) e la durata totale (t_{def}) dell'operazione di sbrinamento è maggiore di una data soglia minima (τ_{min}); e

- c) il valore massimo (T_{max}) della temperatura (T_{def}) misurata dalla sonda di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento è compreso fra una data soglia minima (θ_{min}) e una data soglia massima (θ_{max}).

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui se detta condizione a) è verificata e detta condizione b) non è verificata, allora viene generato un segnale di anomalia e viene suggerita, quale azione correttiva, un aumento dell'intervallo di tempo fra due operazioni di sbrinamento consecutive.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, in cui la soglia minima (τ_{min}) utilizzata per verificare il soddisfacimento di detta condizione b) è pari a $\tau_1 + \gamma_1 \cdot (\tau_2 - \tau_1)$, dove τ_1 è una costante positiva minore di 1, in particolare minore di 0,15,

τ_2 è una costante positiva maggiore di τ_1 e minore di 1, in particolare minore di 0,25, e γ_1 è una costante positiva minore di 1, in particolare pari a 0,66.

4. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la soglia minima ($\theta_{\min}$) e la soglia massima ($\theta_{\max}$) utilizzate per verificare il soddisfacimento di detta

condizione c) sono rispettivamente pari a $\theta_1 + \gamma_2 \cdot (\theta_2 - \theta_1)$ e a $\theta_4 - \gamma_2 \cdot (\theta_4 - \theta_3)$, dove θ_1 è un primo valore di temperatura, in particolare compreso fra 2°C e 3°C, θ_2 è un secondo valore di temperatura maggiore di θ_1 , in particolare compreso fra 5°C e 6°C, θ_3 è un terzo valore di temperatura maggiore di θ_2 , in particolare compreso fra 14°C e 16°C, θ_4 è un quarto valore di temperatura maggiore di θ_3 , in particolare compreso fra 20°C e 22°C, e

γ_2 è una costante positiva minore di 1, in particolare pari a 0,66.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 3 e la rivendicazione 4, in cui dette costanti γ_1 e γ_2 sono uguali l'una all'altra.

6. Procedimento secondo la rivendicazione 4 o la rivendicazione 5, in cui se detta condizione a) è verificata, se detta condizione c) non è verificata e se risulta $T_{\max} < T_{\text{melt}} + \theta_2$, allora viene generato un segnale di anomalia e vengono suggerite, quali azioni correttive, l'esecuzione forzata di un'ulteriore operazione di sbrinamento previa verifica della presenza di ghiaccio residuo su detta superficie di scambio e/o l'aumento della durata t_{def} dell'operazione di sbrinamento.

7. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 4 alla 6, in cui se detta condizione a) è verificata, se detta condizione c) non è verificata e se risulta $T_{\max} \geq T_{\text{melt}} + \theta_2$, allora viene generato un segnale di anomalia e vengono suggerite, quali azioni correttive, la riduzione della durata t_{def} dell'operazione di sbrinamento e l'impostazione di una temperatura di fine sbrinamento più bassa.

8. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 4 alla 7, in cui se detta condizione a) non è verificata e se risulta $T_{\max} < T_{\text{melt}} + \theta_1$, allora viene generato un segnale di anomalia e vengono suggerite, quali azioni correttive, l'esecuzione forzata di un'ulteriore operazione di sbrinamento, previa verifica della presenza di ghiaccio residuo su detta superficie di scambio e/o l'aumento della durata t_{def} dell'operazione di sbrinamento.

9. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 4 alla 8, in cui se detta condizione a) non è verificata e se risulta $T_{\max} \geq T_{\text{melt}} + \theta_1$, allora viene generato un segnale di anomalia e viene suggerita, quale azione correttiva, un aumento dell'intervallo di tempo fra due operazioni consecutive.

10. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 4 alla 9, in cui se detta

condizione a) non è verificata e se risulta $T_{\max} > T_{\text{melt}} + \theta_2$, allora viene generato un segnale di anomalia e vengono suggerite, quali azioni correttive, la riduzione della durata t_{def} dell'operazione di sbrinamento e l'impostazione di una temperatura di fine sbrinamento più bassa.

- 5 **11.** Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto valore di temperatura di riferimento (T_{melt}) viene determinato come temperatura alla quale l'andamento temporale della temperatura (T_{def}) misurata dalla sonda di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento presenta un flesso, più in particolare viene determinato giorno per giorno come media delle temperature di flesso rilevate
10 durante tutte le operazioni di sbrinamento eseguite nel corso del giorno.

- 12.** Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre, prima di detta fase di analisi dell'andamento temporale della temperatura (T_{def}) misurata dalla sonda di sbrinamento durante l'operazione di sbrinamento, una fase di controllo per controllare la corretta configurazione del sistema frigorifero, in cui detta fase
15 di controllo comprende i passi di

- calcolare, per un numero n di campioni rilevati con il sistema frigorifero in fase di regolazione,

un primo indice $S_{\text{de}} = \text{rampa}(T_{\text{d-e}}, \varepsilon_1, \varepsilon_2)$, dove $T_{\text{de}} = \frac{\sum_{i=0}^n (T_{\text{def}}[i] - T_{\text{melt}} - T_{\text{evp}}[i])}{n}$, e

un secondo indice $S_{\text{rd}} = \text{rampa}(T_{\text{r-d}}, \varepsilon_3, \varepsilon_4)$, dove $T_{\text{r-d}} = \frac{\sum_{i=0}^n (T_{\text{reg}}[i] - T_{\text{melt}} - T_{\text{def}}[i])}{n}$,

- 20 dove T_{evp} è la temperatura di evaporazione, T_{reg} è la temperatura di regolazione del sistema frigorifero, ε_1 è una costante minore di 1, in particolare compresa fra 0,1 e 0,3, ε_2 è una costante minore di 1, ma maggiore di ε_1 , ε_3 è una costante maggiore di 1, in particolare compresa fra 1 e 2, ed ε_4 è una costante maggiore di ε_3 , in particolare compresa fra 2 e 3, e

- 25 - verificare se il minore fra detti primo indice S_{de} e secondo indice S_{rd} è maggiore di, o uguale a, un valore di soglia (C), in particolare un valore compreso fra 0,3 e 0,4.

FIG.1

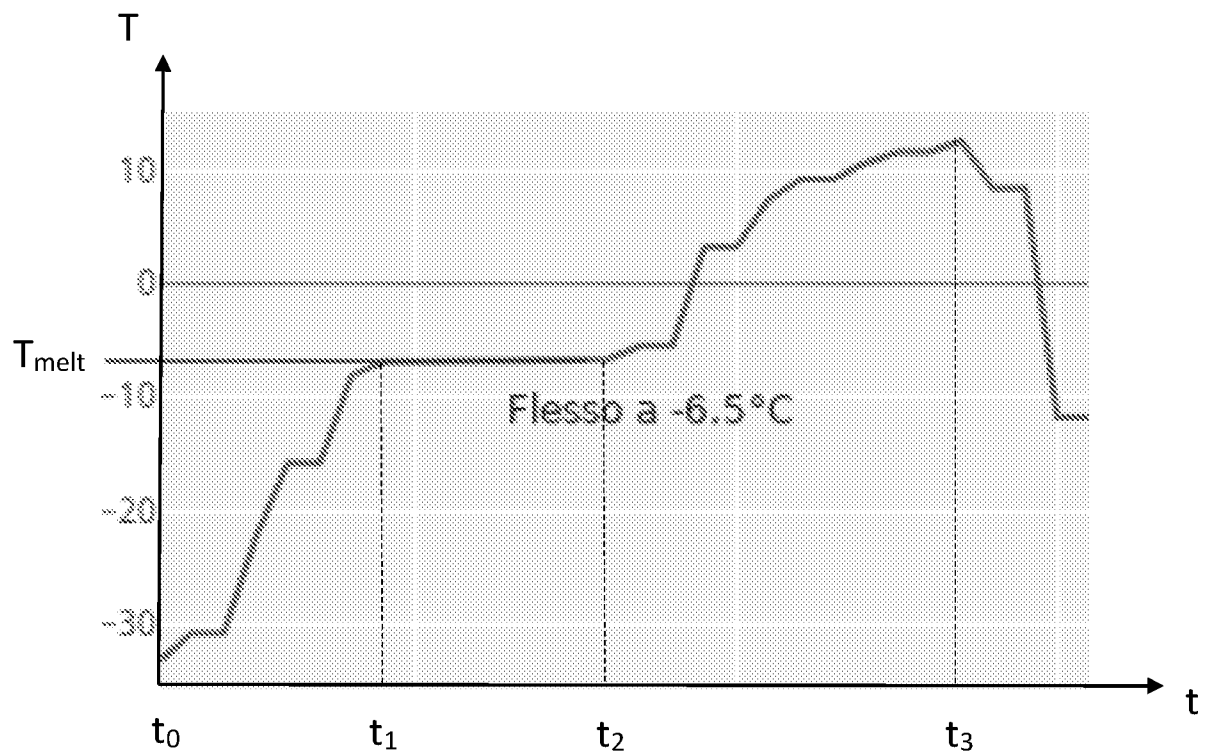


FIG.2

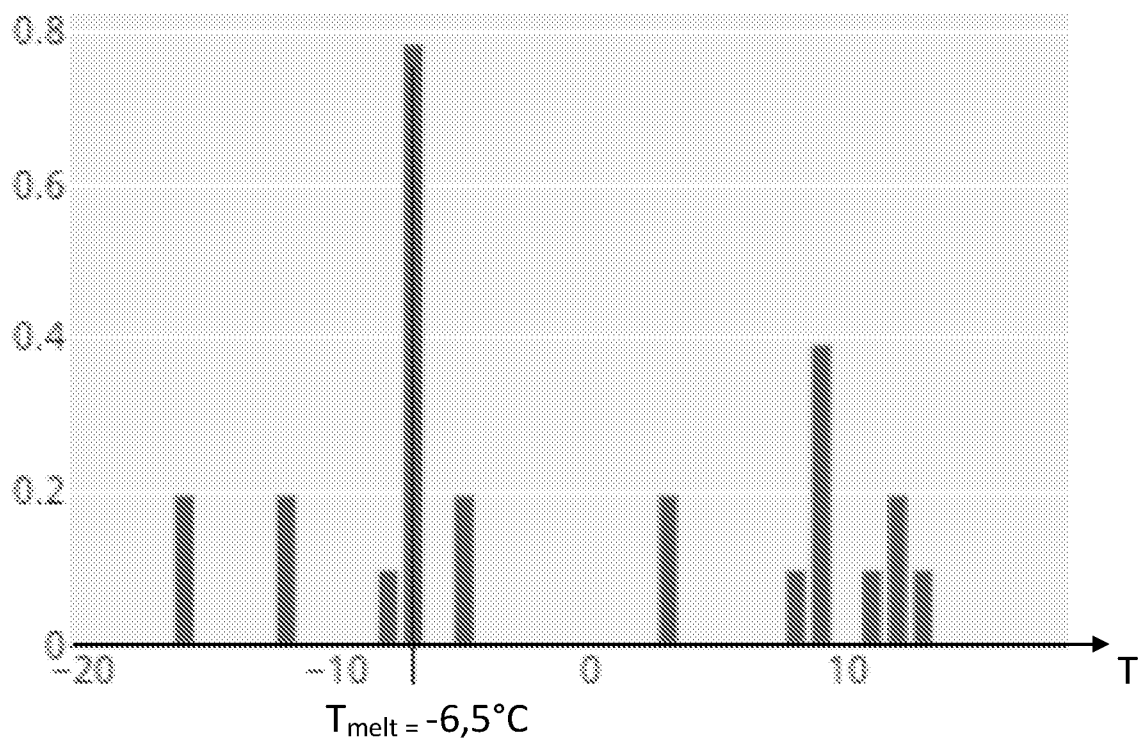


FIG.3

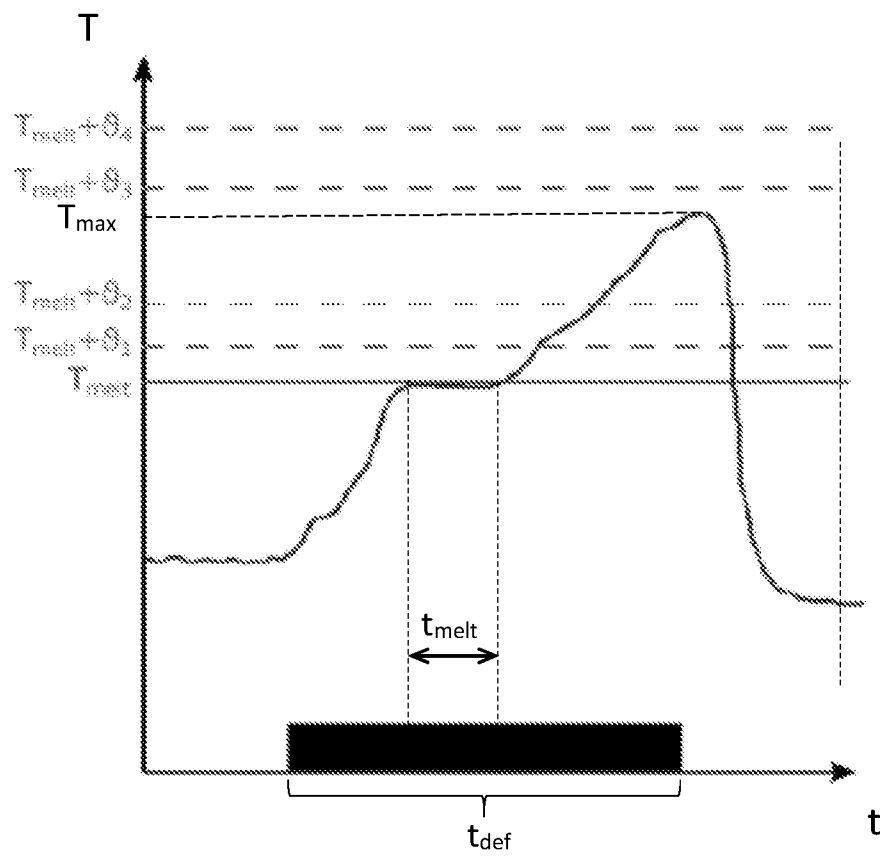


FIG.4

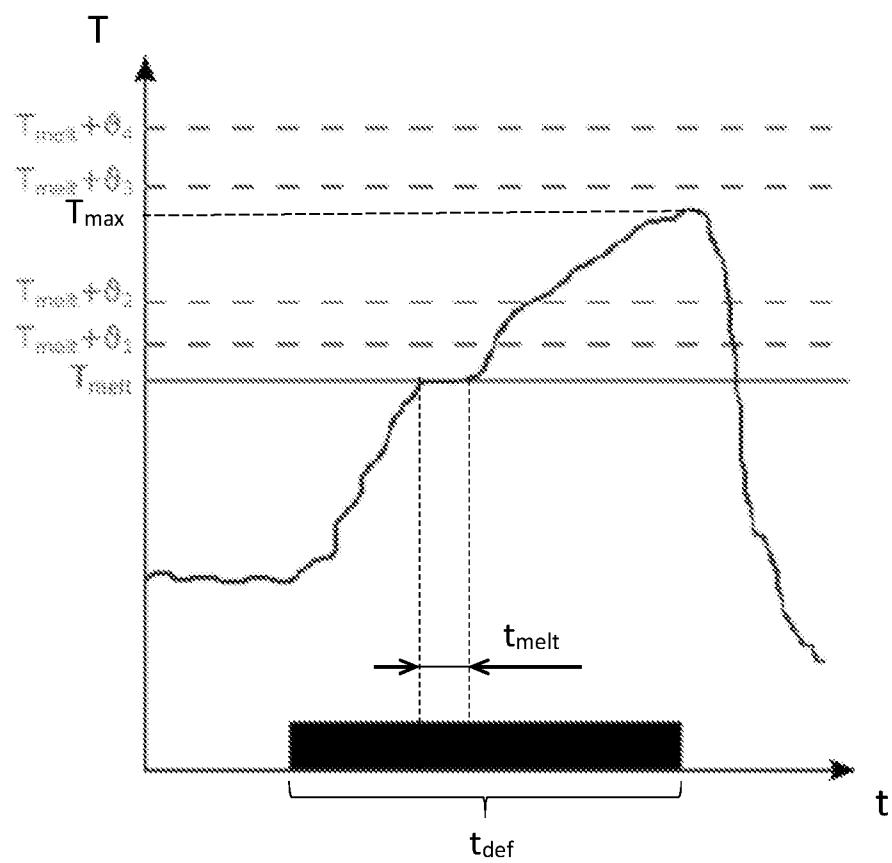


FIG.5

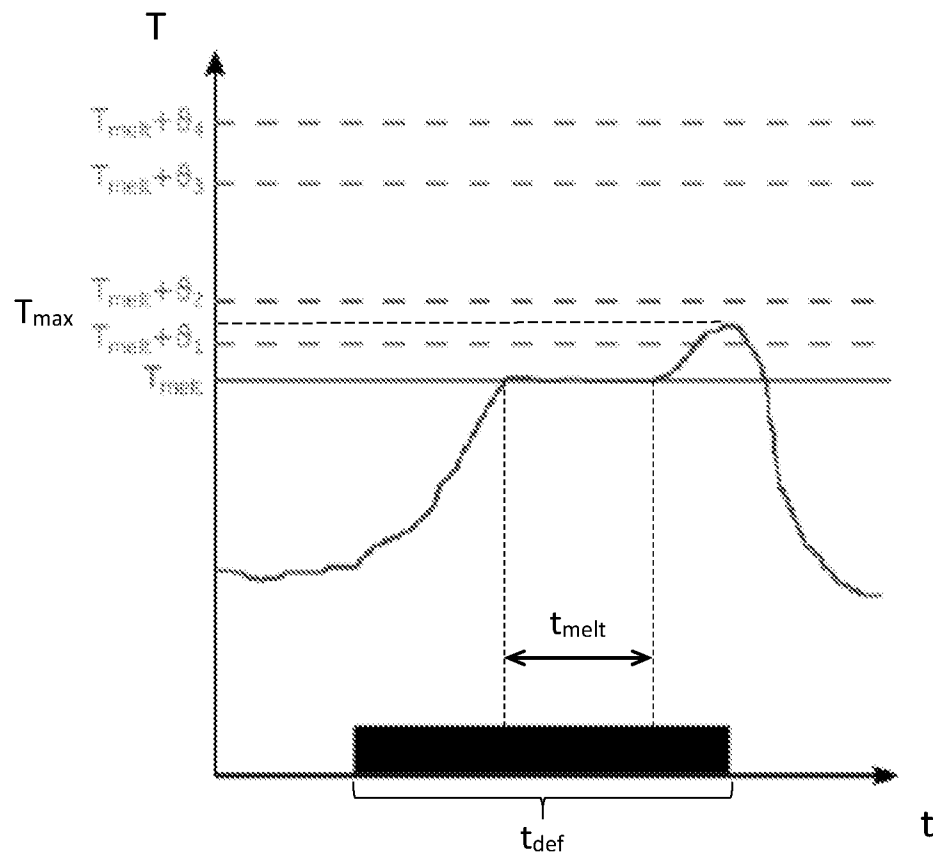


FIG.6

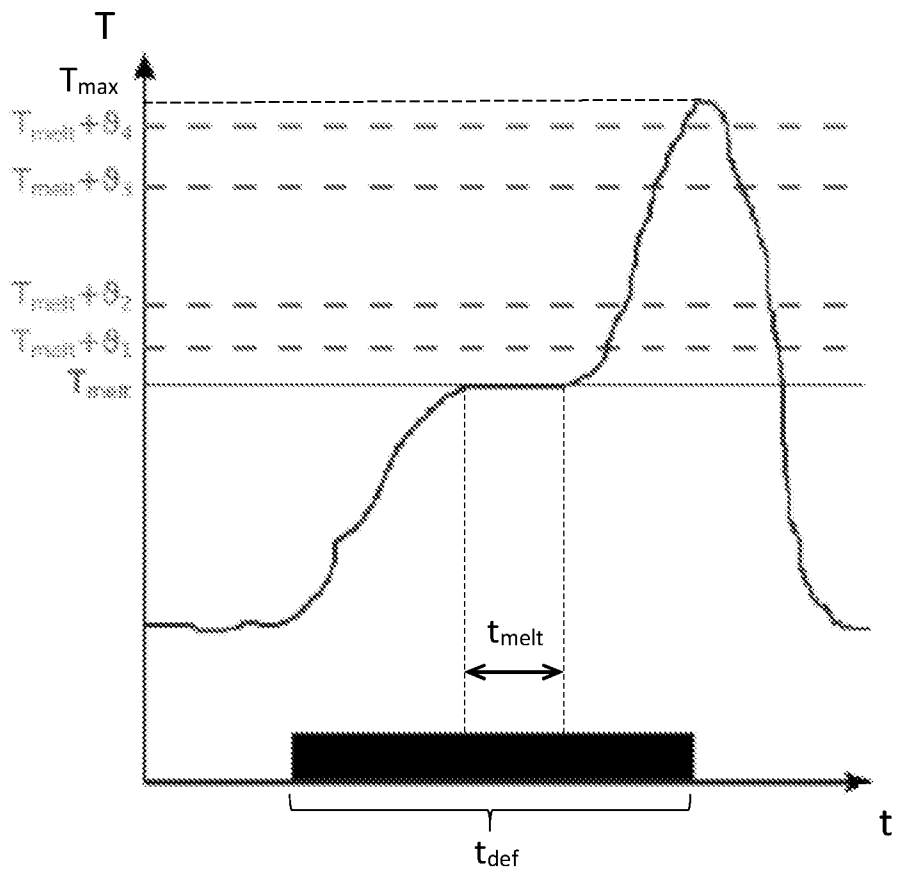


FIG.7

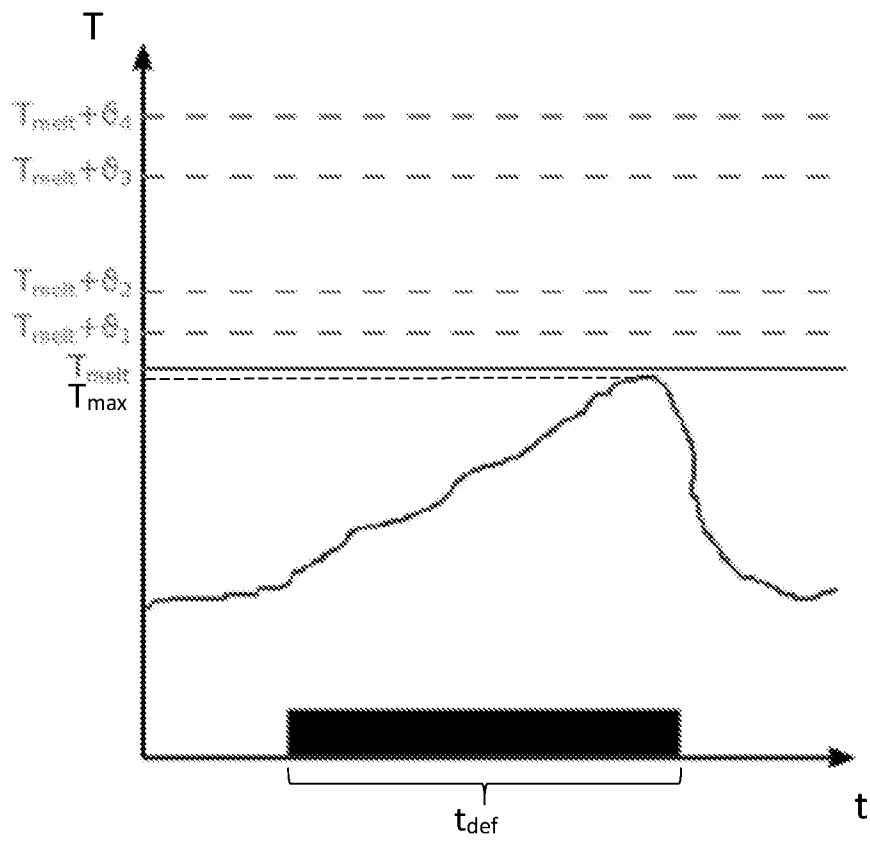


FIG.8

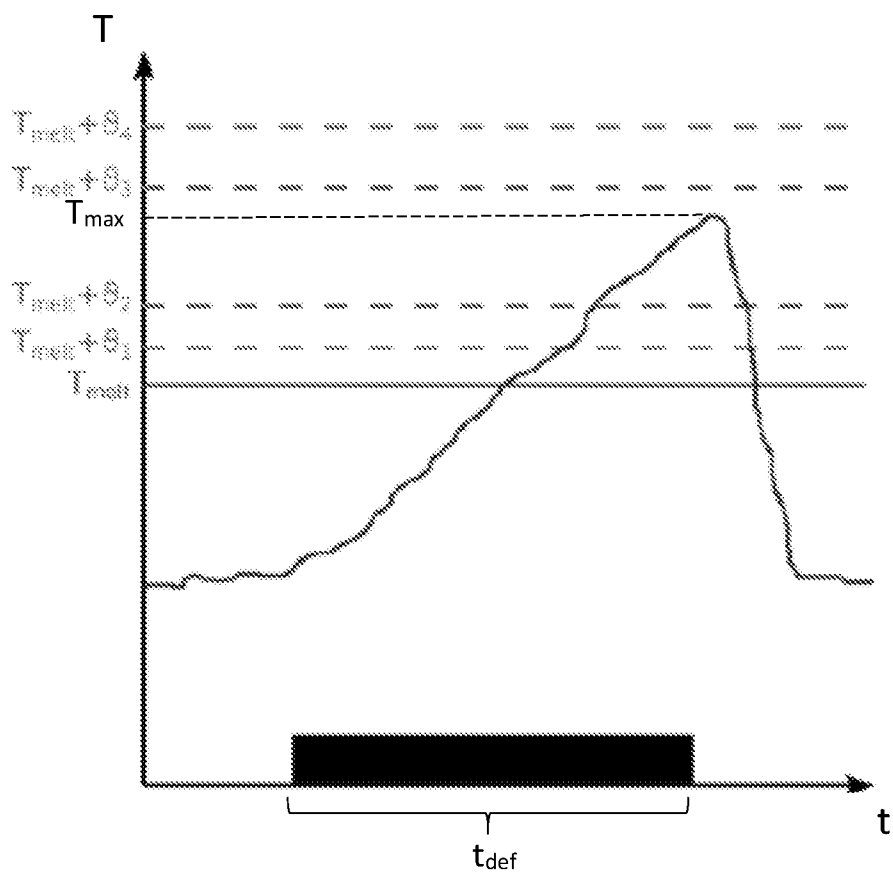


FIG.9

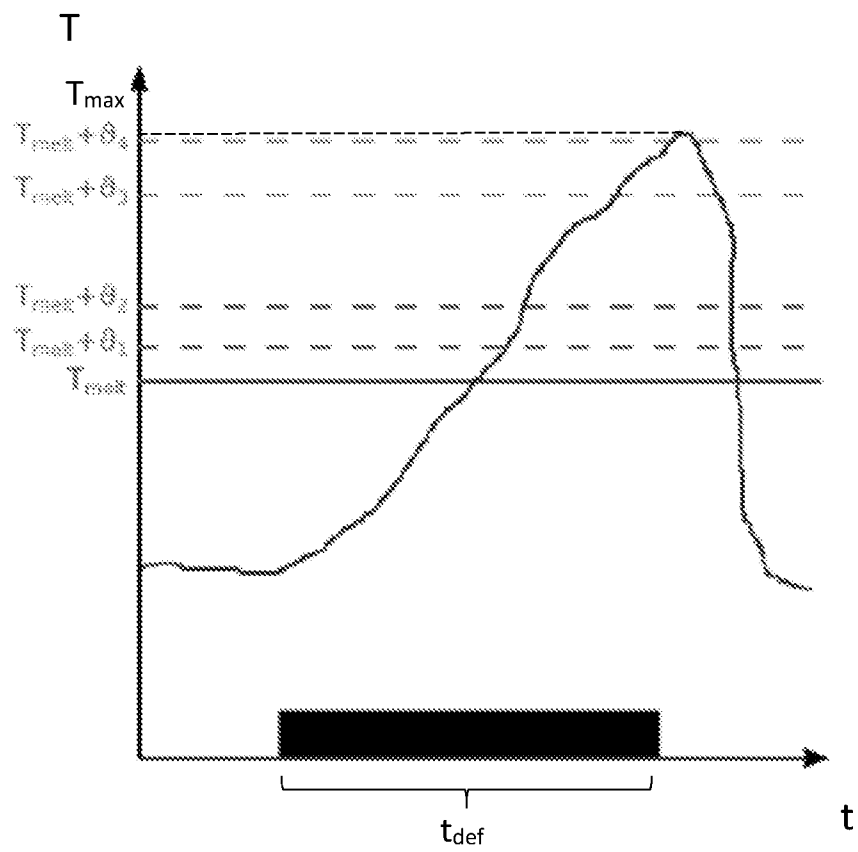


FIG.10

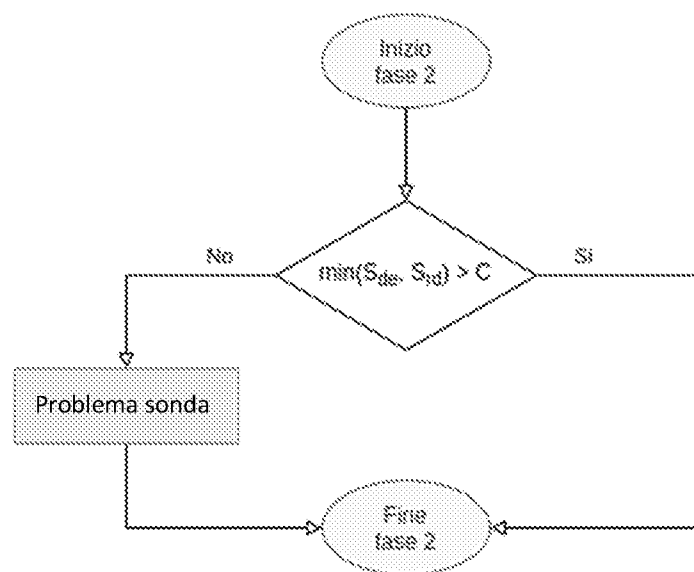
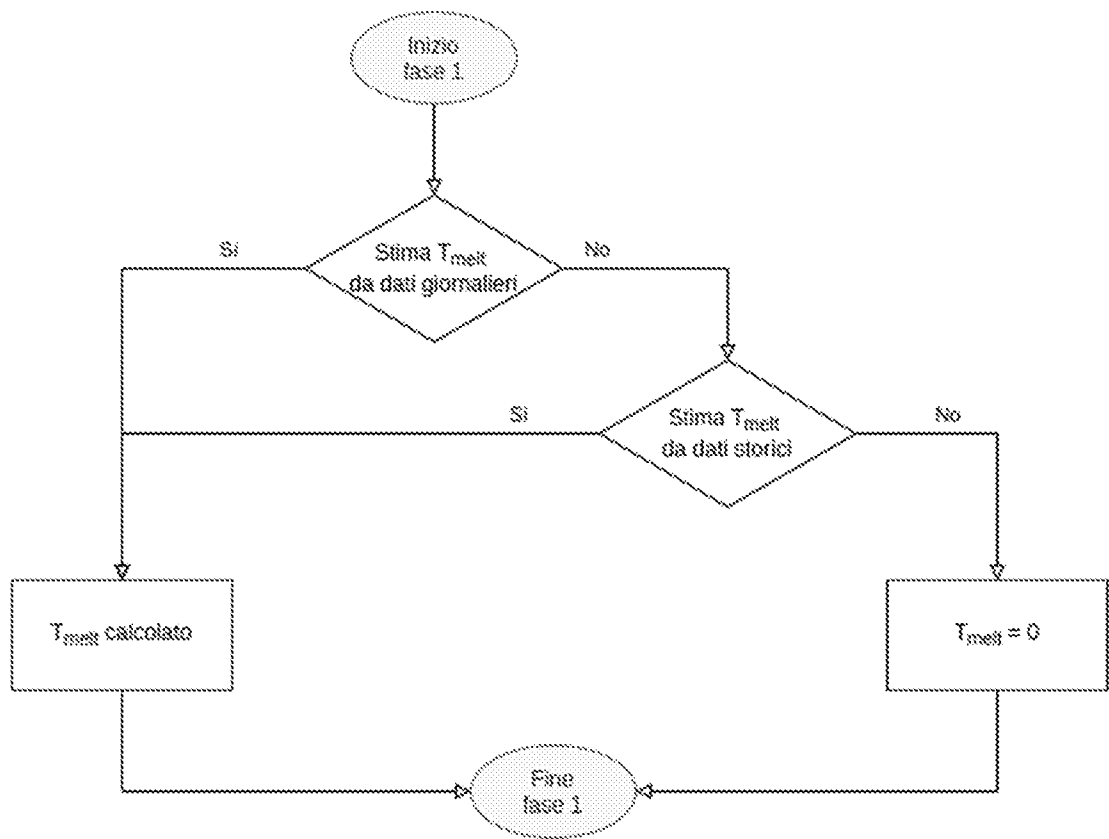


FIG.11

