

## RACCOMANDAZIONI PER L'UTILIZZO DEGLI VARIATORI DI FREQUENZA CON I COMPRESSORI FRIGORIFERI VOLUMETRICI

Indice	Pagina
1. Ambito e scopo.....	1
2. Generalità.....	1
3. Funzionamento.....	2
4. Range di applicazione.....	5
5. Criteri di progettazione.....	12
6. Selezione degli inverter di frequenza e considerazioni sulla progettazione elettrica.....	15
7. Raccomandazioni per la messa in servizio.....	17

### 1. Ambito e scopo

Le presenti raccomandazioni riguardano l'applicazione di inverter montati esternamente (variatori di frequenza) per variare la velocità dei compressori frigoriferi azionati da motori trifase a induzione.

Il presente documento è rivolto a tecnici e appaltatori che progettano e installano tali sistemi a basso consumo energetico. Lo scopo è di ridurre il rischio di danneggiamento ai compressori frigoriferi quando vengono utilizzati a velocità variabile e di fornire delle linee guida generali per la progettazione, e per la conduzione a basso impatto energetico e sicura delle installazioni dedicate alla refrigerazione.

### 2. Generalità

Nelle applicazioni classiche senza inverter il compressore funziona ad una velocità pressoché costante, determinata dalla frequenza di alimentazione e dal numero di poli del motore.

L'inverter consente la variazione continua della velocità del compressore in base al fabbisogno di capacità refrigerante dell'installazione.

Caratteristiche del funzionamento del compressore frigorifero con inverter:

- Maggiore efficienza del sistema a carico parziale
- Maggiore durata del compressore grazie al minor numero di cicli start/stop del compressore stesso. In un sistema ideale, il compressore a velocità variabile funzionerebbe in modo continuo.
- Funzione soft start integrata:  
La corrente e la coppia di avviamento sono di molto inferiori rispetto all'avviamento stella/triangolo o part winding.
- Minor rischio di colpi di liquido grazie alla capacità volumetrica ridotta durante l'avviamento
- È spesso possibile incrementare la capacità del compressore utilizzandolo al di sopra della velocità nominale

- Un compressore controllato da inverter funzionerà con un ampio range di velocità. In determinate condizioni operative e per lunghezze critiche delle tubazioni possono verificarsi fenomeni di risonanza come vibrazioni meccaniche o pulsazioni del gas. Nella maggior parte dei casi queste possono essere eliminate attraverso un buon montaggio meccanico, una buona progettazione ed effettuando le impostazioni adeguate per i parametri di controllo dell'inverter (ad es. impostando l'inverter in modo da saltare le frequenze critiche).

## 3. Funzionamento

### 3.1 Compressori senza inverter per il controllo della velocità

La resa frigorifera di un compressore a pistoncini può essere adattata al fabbisogno di raffreddamento dell'installazione attraverso l'installazione di un controllo di capacità (testa parzializzata), il bypass del gas caldo, il controllo della pressione di aspirazione, avviando e fermando i compressori nella centrale o in altri modi.

La velocità nominale del compressore dipende dalla frequenza di alimentazione e dal numero di poli del motore. Con un motore a induzione a 4 poli (motore a gabbia di scoiattolo), si avranno le seguenti velocità approssimate del compressore:

- **4 poli:**                    **1450 min<sup>-1</sup> a 50 Hz**                    **1750 min<sup>-1</sup> a 60 Hz**

Con i motori a 2 poli, le seguenti velocità dei compressori corrispondenti sono:

- 2 poli:                    2900 min<sup>-1</sup> a 50 Hz                    o                    3500 min<sup>-1</sup> a 60 Hz

### 3.2 Compressori con inverter di frequenza per il controllo della velocità

I compressori a pistoncini, a vite e scroll sono delle macchine volumetriche. La coppia resistente media all'albero del compressore rimane approssimativamente costante su un ampio range di velocità (frequenza). Pertanto, la capacità frigorifera e la potenza elettrica assorbita variano in modo approssimativamente proporzionale alla velocità, vedere Fig. 3.2. La capacità frigorifera può essere adattata al fabbisogno dell'impianto variando la velocità del compressore con il controllo della frequenza. È possibile un controllo continuo ottimale.

Nei compressori a pistoncini, il COP relativo

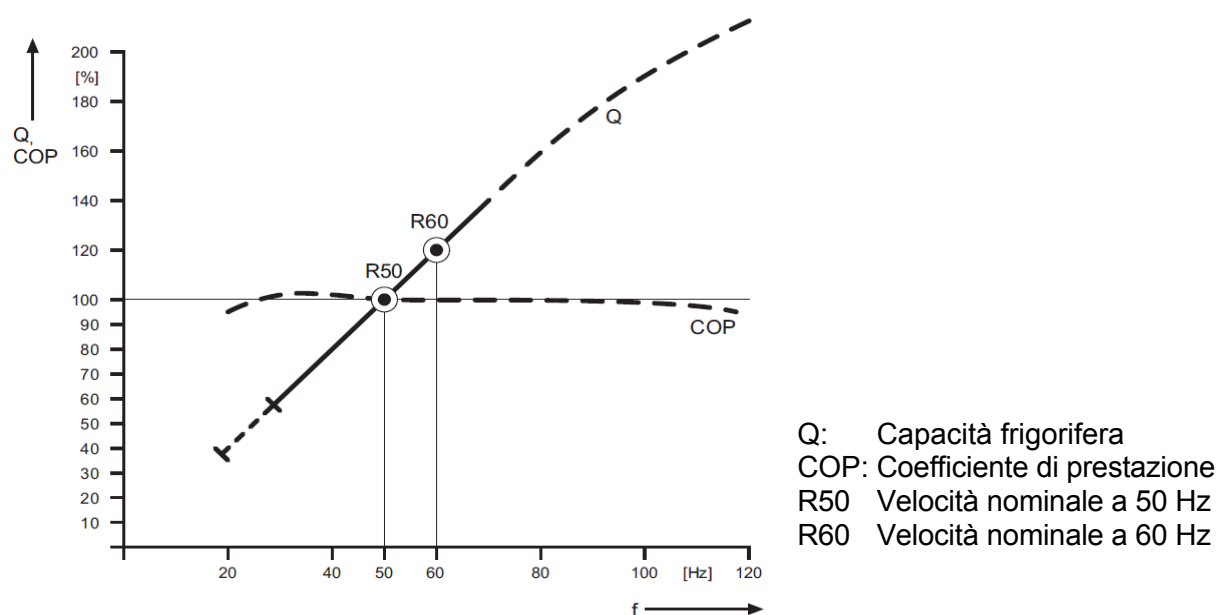
(COP: Coefficient Of Performance: Capacità di frigorifera \_\_\_\_\_  
potenza elettrica assorbita da compressore)

può variare leggermente con la frequenza operativa e la velocità del compressore, vedere Fig. 3.2.

A frequenze inferiori alla velocità nominale si può avere un COP relativo leggermente più elevato.

A frequenze superiori alla velocità nominale si ha solitamente un COP relativo leggermente più basso.

Ultimo aggiornamento: Gennaio 2012



**Fig 3.2: capacità frigorifera di un tipico compressore volumetrico a pistoni nel range di frequenza ammissibile a condizioni di funzionamento stabili**

### 3.3. Funzionamento al di sotto della frequenza nominale

Poiché la coppia di un motore elettrico è proporzionale al prodotto di flusso magnetico e corrente interna, è necessario assicurare che il flusso magnetico sia costante. Questo si ottiene selezionando una modalità di controllo con un rapporto tensione/frequenza ( $V/f$ ) costante nell'inverter. Idealmente, la tensione del motore raggiunge la tensione nominale corrispondente alla tensione dell'alimentazione elettrica alla frequenza nominale. Per i compressori che utilizzano motori standard, questa è:

- 400 V a 50 Hz
- 460/480 V a 60 Hz

Il funzionamento al di sotto della frequenza nominale viene definito funzionamento nella regione del "campo costante", ovvero il flusso magnetico nel motore rimane approssimativamente costante in virtù del rapporto  $V/f$  costante.

La frequenza ammissibile minima è limitata dalle seguenti considerazioni:

- Lubrificazione
- Portata in massa del refrigerante necessario per un corretto raffreddamento del motore
- Compressori a pistoni:
  - Inerzia per assicurare che non vi sia una diminuzione significativa della velocità in corrispondenza del punto morto superiore del pistone
  - Idoneità del supporto del compressore (è spesso necessario un supporto più rigido alla frequenza più bassa)
- Compressori a vite:
- Compressori scroll
  - Forze centrifughe radiali, forze del gas, adeguata funzione di tenuta del lubrificante

Ultimo aggiornamento: Gennaio 2012

Consultare il fornitore del compressore in merito alla minima frequenza di funzionamento ammissibile.

### 3.4. Funzionamento al di sopra della frequenza nominale

Consultare il fornitore del compressore in merito alla massima frequenza di funzionamento ammissibile.

Di seguito vengono illustrati i collegamenti elettrici più comuni usati su motori standard per compressori:

<u>Tensione di alimentazione</u>	<u>Collegamento</u>
– 400 V a 50 Hz / 480 V a 60 Hz:	Tre terminali (la maggior parte dei compressori ermetici).
– 400 V a 50 Hz / 480 V a 60 Hz: 230 V a 50 Hz:	Sei terminali collegati a stella (tensione alta)/ Sei terminali collegati a triangolo (tensione bassa)
– 400 V a 50 Hz / 480 V a 60 Hz:	2 triplette di terminali per la partenza part winding collegate in parallelo alle tre fasi dell'inverter.
– 690 V a 50 Hz / 828 V a 60 Hz: 400 V a 50 Hz / 480 V a 60 Hz:	Sei terminali collegati a stella per l'avviamento/ Sei terminali collegati a triangolo per il normale funzionamento.

Il funzionamento con frequenze superiori, per le tensioni di alimentazione di cui sopra viene definiti come funzionamento nella regione di "campo indebolito", ovvero quando il flusso del motore è inferiore al valore ottenibile fino alla frequenza nominale.

I normali inverter possono fornire una tensione di uscita al massimo pari a quella di alimentazione nominale. Al di sopra della frequenza nominale, la tensione di uscita rimarrà costante al valore della tensione nominale di rete. Il rapporto tensione/frequenza (V/f) sarà inferiore, con una corrispondente diminuzione nel flusso magnetico del motore. Tuttavia, la coppia media resistente di un compressore volumetrico (quale il compressore a pistoni) è di solito approssimativamente costante in condizioni di carico costante. Pertanto, la corrente del motore aumenterà in modo approssimativamente proporzionale all'aumento della frequenza.

La frequenza può essere aumentata fino al raggiungimento della massima corrente di funzionamento del motore. Per funzionare in modo sicuro al di sopra della frequenza nominale in applicazioni a media temperatura, si raccomanda di utilizzare un compressore dotato di un motore elettrico più potente. Non si raccomanda il funzionamento con un compressore avente un motore più piccolo tipico per il funzionamento a basse temperature a causa del range di frequenze ristretto.

La massima frequenza ammissibile è limitata dalle seguenti considerazioni:

- La riserva di potenza del motore alla frequenza nominale (fattore per il quale la corrente è più bassa rispetto alla corrente massima al punto di funzionamento di progetto, tenendo in considerazione il tipo di refrigerante, la temperatura di evaporazione e condensazione)
- Considerazioni meccaniche (ad es. la velocità del pistone)
- Considerazioni legate a flusso di gas e piastra valvola.

### 3.5 Funzionamento al di sopra della frequenza nominale con un collegamento speciale del motore a 87 Hz

Consultare il fornitore del compressore in merito alla massima frequenza ammissibile con questo tipo di collegamento del motore standard.

Vengono qui considerati i seguenti collegamenti del motore:

- 230 V a 50 Hz / 400 V a 87 Hz con motore a 3 terminali
- 230 V a 50 Hz / 400 V a 87 Hz con motore a 6 terminali a stella/triangolo collegati a triangolo.

La frequenza elettrica nominale (la cosiddetta frequenza base) in queste connessioni è di 87 Hz.

Nota: 87 Hz è  $\sqrt{3} * 50$  Hz corrispondente all'inverso del fattore della tensione quando si collega ad un avvolgimento del motore da stella a triangolo.

Il funzionamento al di sotto degli 87 Hz viene definito come funzionamento nella regione del "campo costante".

Il funzionamento al di sopra degli 87 Hz viene definito come funzionamento nella regione di "campo indebolito". Questo collegamento presenta i seguenti vantaggi e svantaggi:

Vantaggi:

- È possibile ottenere una maggiore capacità frigorifera con un compressore di determinate dimensioni
- Ampio range di variazione di velocità, ovvero un rapporto elevato  $(Q_{max} - Q_{min}) / Q_{max}$ .

Svantaggi:

- Il dimensionamento dell'inverter e della corrente ammessa dalle apparecchiature di comando e dai cavi sono del 73% più elevate, il che comporta una penalizzazione in termini di costo.
- L'azionamento di emergenza del compressore direttamente collegato all'alimentazione elettrica è possibile soltanto collegando a stella un motore a 6 terminali stella/triangolo, il che richiede 4 contattori nel quadro elettrico per l'attivazione se non si vuole effettuare un nuovo cablaggio.

## 4. Range di applicazione

Il funzionamento sicuro e affidabile di un compressore a controllo della velocità richiede un'attenta considerazione del range di frequenza ammissibile. In quanto di seguito descritto, verranno esaminati separatamente il limite del funzionamento sicuro del motore elettrico e del compressore per i vari esempi di compressori a pistoni semi-ermetici.

Il range ammissibile di frequenza può essere determinato dalle seguenti informazioni:

- Il range di frequenza specifico indicato dal fabbricante del compressore
- La frequenza massima al punto operativo di progetto sulla base della frequenza di alimentazione moltiplicata per il rapporto della corrente del motore massima ammissibile diviso la corrente potenziale al punto operativo (regola progettistica conservativa approssimata) Questo si basa sui dati standard reperibili presso tutti i fabbricanti di compressori.

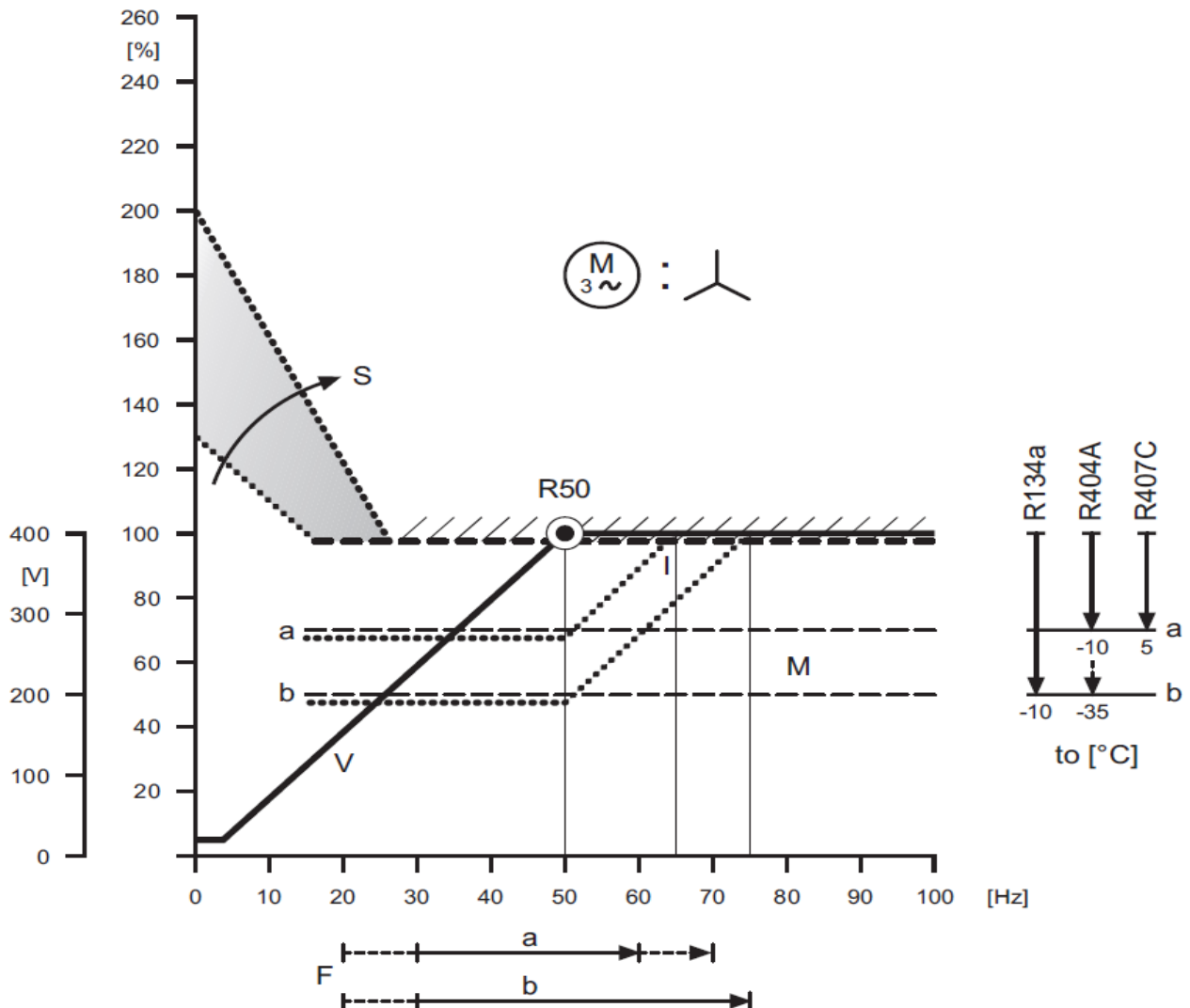
### 4.1 Range di applicazione del motore elettrico

# LINEE GUIDA

Ultimo aggiornamento: Gennaio 2012



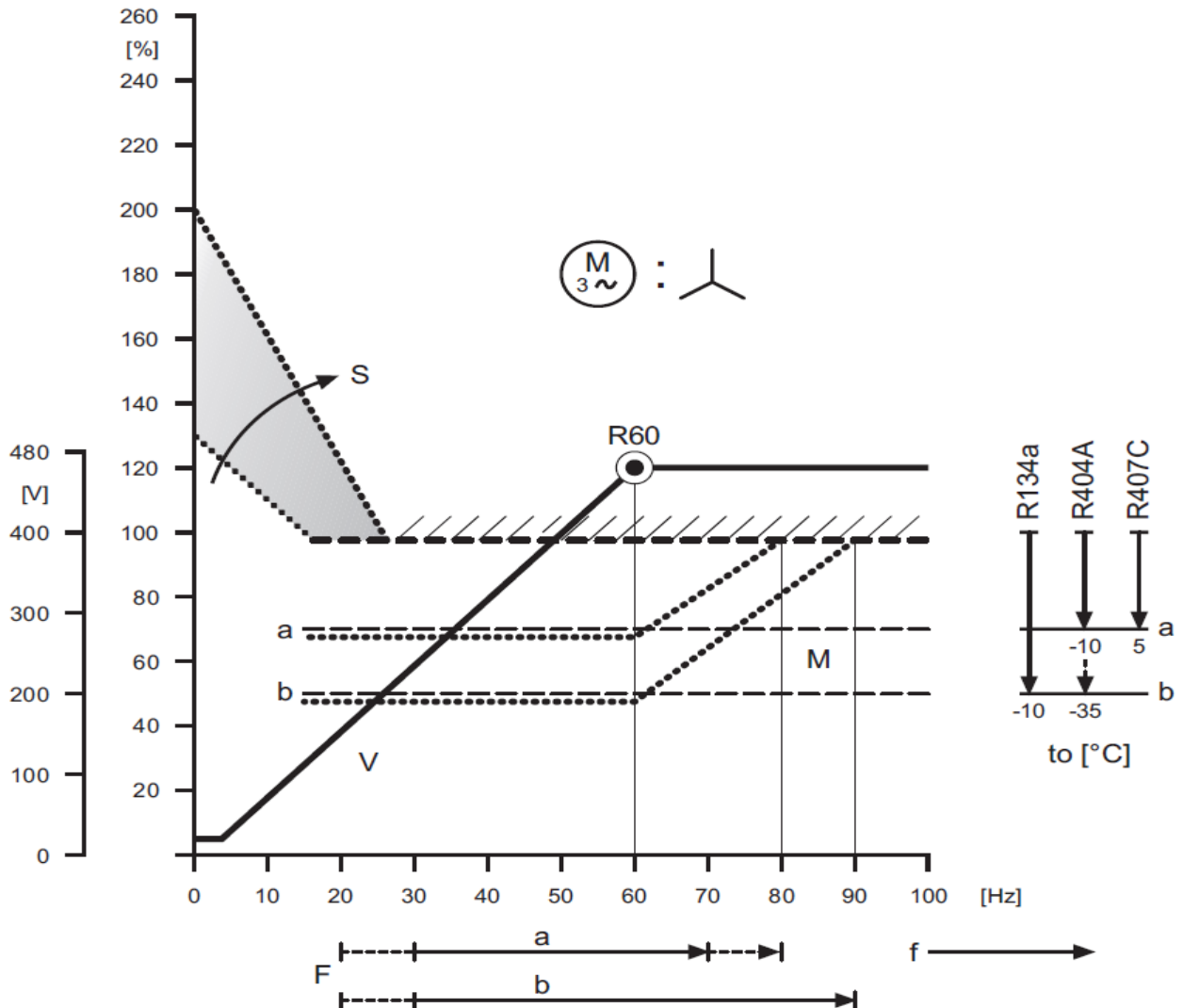
Le seguenti informazioni vanno considerate come esempi delle limitazioni di frequenza tipiche. Consultare il fornitore del compressore per informazioni più dettagliate al riguardo.



**Fig 4.1a: Collegamento del motore standard; Funzionamento con alimentazione 400 V / 50 Hz (esempio)**

**Legenda:**

- a:** Applicazione standard classe a (R404A: -10 / 45 °C; R407C: 5 / 50 °C)
- b:** Applicazione standard classe b (R404A: -35 / 40 °C; R134a: -10 / 45 °C)
- M [%]** Coppia media dopo l'avvio: **R50:** Punto nominale 400 V / 50 Hz  
 - - - : Massimo  
 - - - . : Con applicazioni standard classe a o b
- I [%]** ..... : Corrente del motore **a:** Temperatura di evaporazione
- V:** ——— : Tensione del motore **F:** Range di frequenza ammissibile
- S:** È necessaria la corrente di avviamento del motore.  
 La zona ombreggiata indica una variazione fra i compressori con 2 cilindri (più elevata) e i compressori con 8 cilindri o a vite (più bassa).

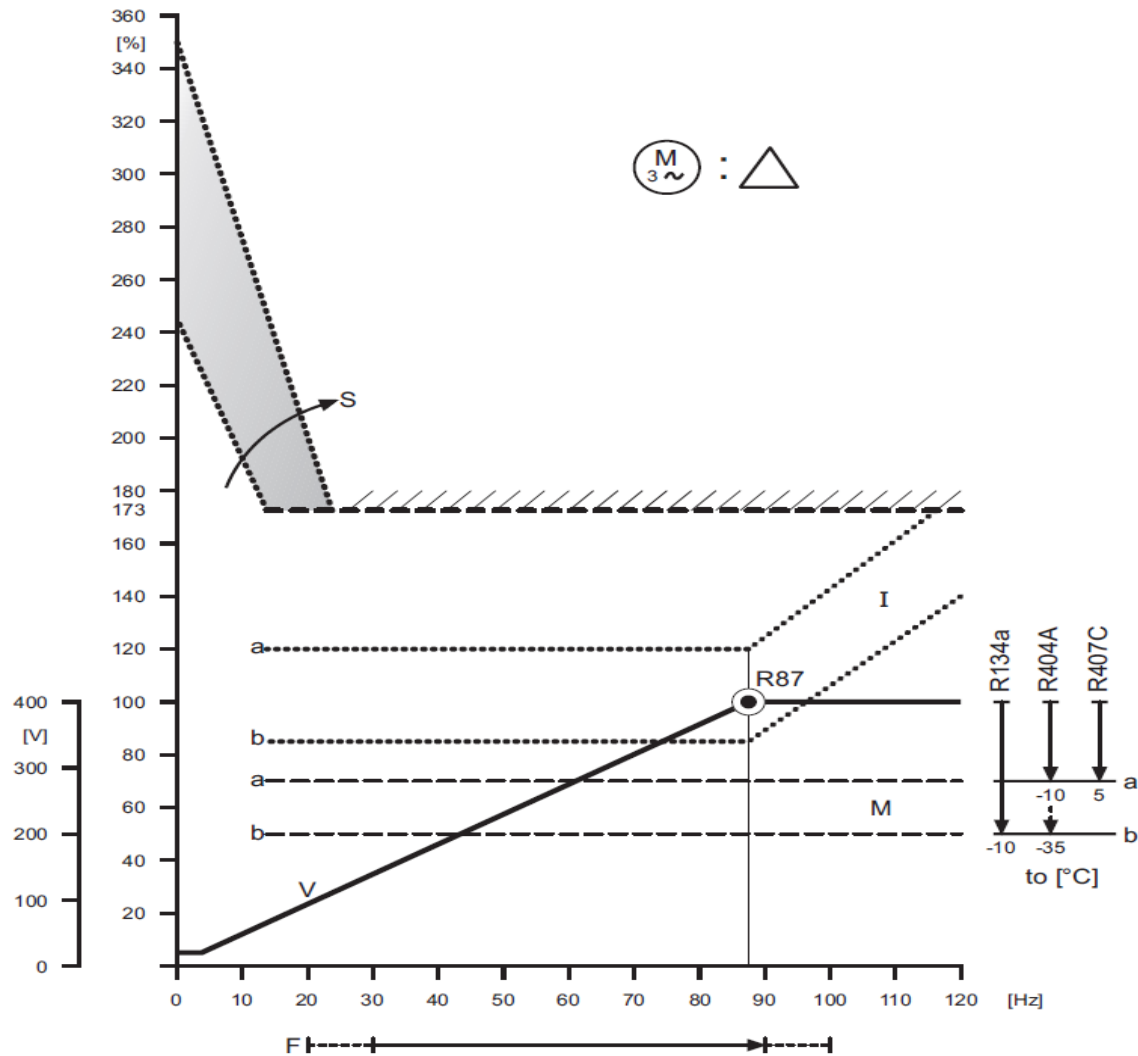


**Fig 4.1b: Collegamento del motore standard; Funzionamento con alimentazione 460 V / 60 Hz**

**Legenda:**

- a:** Applicazione standard classe a (R404A: -10 / 45 °C; R407C: 5 / 50 °C)
- b:** Applicazione standard classe b (R404A: -35 / 40 °C; R134a: -10 / 45 °C)
- M [%]** Coppia media dopo l'avviamento: **R60:** Punto nominale 460 V / 60 Hz  
 - - - : Massimo  
 - · - · : Ad applicazioni standard classe a o b
- I [%]** ······ : Corrente del motore **a:** Temperatura di evaporazione
- V:** ——— : Tensione del motore **F:** Range di frequenza ammissibile
- S:** È necessaria la corrente di avviamento del motore.  
 La zona ombreggiata indica una variazione fra i compressori con 2 cilindri (più elevata) e i compressori con 8 cilindri o a vite (più bassa).





**Fig 4.1c: Collegamento speciale del motore 87 Hz; Funzionamento con alimentazione 400 V / 50 Hz**

**Legenda:**

- a:** Applicazione standard classe a (R404A: -10 / 45 °C; R407C: 5 / 50 °C)
- b:** Applicazione standard classe b (R404A: -35 / 40 °C; R134a: -10 / 45 °C)

- M [%]** Coppia media dopo l'avviamento: **R87:** Punto nominale 400 V / 87 Hz
  - — — : Massimo
  - - - . : Con applicazioni standard classe a o b

- I [%]** ..... : Corrente del motore (rispetto a stella 400 V / 50 Hz)
  - a:** Temperatura di evaporazione

- V:** — : Tensione del motore **F:** Range di frequenza ammissibile

- S:** È necessaria la corrente di avviamento del motore.  
La zona ombreggiata indica una variazione fra i compressori con 2 cilindri (più elevata) e i compressori con 8 cilindri o a vite (più bassa).

## 4.2 Valutazione del range di applicazione ammissibile (capacità operativa sicura)

L'elevata potenzialità di risparmio energetico con compressori singoli e a centrale impone un fine controllo senza gradini della capacità frigorifera. Il migliore modo per ottenerlo si ha in presenza di un ampio range di controllo di velocità o frequenza sul compressore a velocità variabile. Le figure della sezione precedente indicano che vi sono dei chiari vantaggi nell'utilizzo di compressori con motori di potenza adeguata.

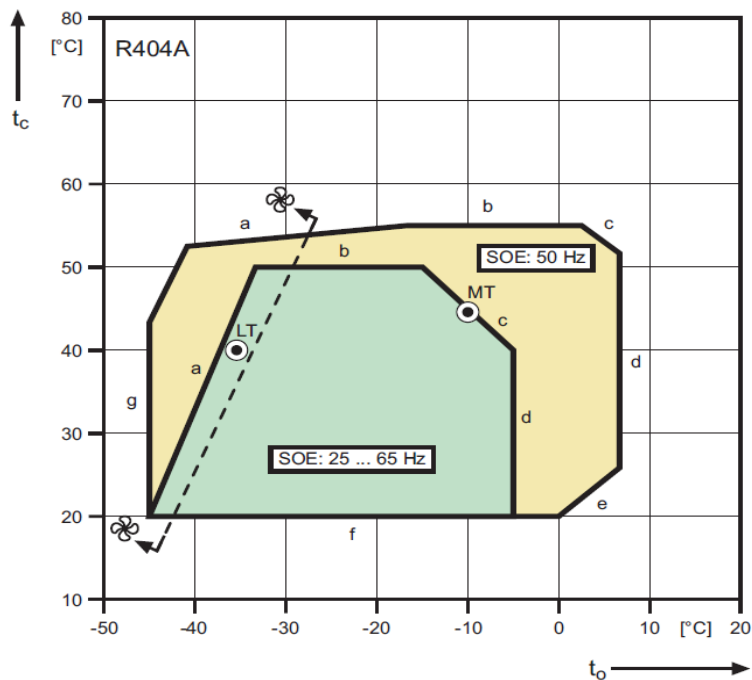
Le Figg. 4.2a e 4.2b mostrano degli esempi dei range di applicazione ammissibili per i compressori con motori di potenza adeguata.

Per un funzionamento sicuro vanno tenuti in considerazione i seguenti confini di limitazione:

- a: Massima temperatura di scarico ammissibile
- b: Massima pressione di scarico ammissibile
- c: massima corrente di funzionamento ammissibile (termica)
- d: Massima temperatura di evaporazione
- e: Differenziale di pressione per assicurare il funzionamento corretto della valvola
- f: Pressione di scarico minima per assicurare un funzionamento stabile della valvola di espansione
- g: Pressione minima che dovrebbe essere preferibilmente di poco superiore a quella atmosferica

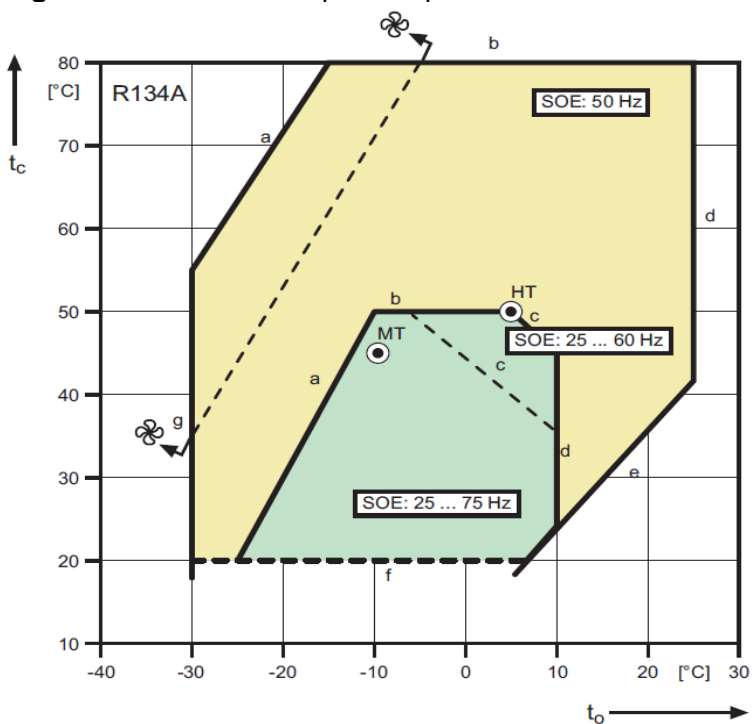
Il campo di applicazione totale viene definito come capacità operativa sicura (safe operation envelope o SOE)

Ultimo aggiornamento: Gennaio 2012



**Fig 4.2a: R404A; Motore potente; Collegamento standard; alimentazione 400 V / 50 Hz (esempio)**

**Legenda:** SOE: Capacità operativa sicura MT: -10 / 45 °C; LT: -35 / 40 °C



**Fig 4.2b: R134a; Collegamento standard; Funzionamento con alimentazione 400 V / 50 Hz (esempio)**

**Legenda:** SOE: Capacità operativa sicura HT: +5 / 50 °C; MT: -10 / 45 °C

## 5. Criteri di progettazione

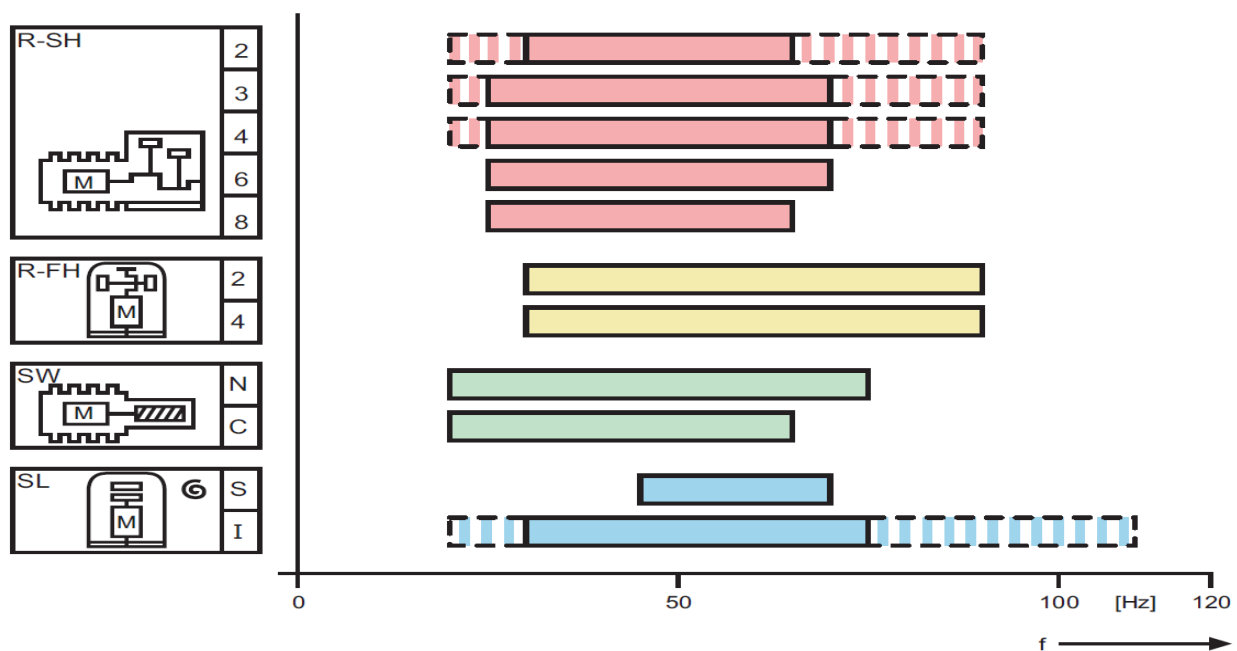
### 5.1 Frequenza operativa ammissibile

La Fig. 5.1 mostra il range tipico della frequenza ammissibile per diversi tipi di compressori.

I fattori che limitano la frequenza massima e minima sono stati già descritti nelle Sezioni 3.3 ... 3.4. Riportiamo qui delle ulteriori considerazioni relative a ciascun tipo di compressore:

- Compressori ermetici verticali: A causa della lubrificazione centrifuga, è necessaria una velocità minima per trasportare l'olio alle parti meccaniche in movimento
- Compressori a vite semi-ermetici: È richiesto il coordinamento attento del ritardo nell'iniezione dell'olio e, se del caso, la posizione del parzializzatore.
- Compressori a vite ermetici e semi-ermetici con separatore d'olio integrato: Si richiede attenta considerazione della velocità massima (frequenza) per evitare un trascinarsi d'olio eccessivo

È necessario consultare il fornitore del compressore in merito ai limiti di frequenza ammissibili validi per ciascun compressore utilizzato al punto operativo previsto. Vanno anche tenuti in considerazione i punti operativi in condizioni transitorie e di guasto.



**Fig 5.1: Range di frequenza tipici ammissibili per diversi tipi di compressori**

- Legenda:
- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| R-SH: A pistoni, semi-ermetici | 2 ... 8: Numero di cilindri                      |
| R-FH: A pistoni, ermetici      | N: Semi-ermetici                                 |
| SW: A vite integrato           | C: Ermetici con separatore d'olio integrato      |
| SL: Scroll                     | S: Standard                                      |
|                                | I: Progettati per il funzionamento con inverter. |

## 5.2. Considerazioni per i compressori di tipo aperto

- Raffreddamento:  
Il motore viene normalmente raffreddato con una ventola integrale che può essere montata sull'albero del motore stesso oppure attraverso una ventola azionata da un motore separato. Per la ventola montata sull'albero del motore stesso va tenuto in considerazione quanto segue:
  - Raffreddamento ridotto alle velocità più basse
  - Maggiore carico sulla ventola alle velocità più alte.
- Protezione del motore  
Si raccomanda l'utilizzo di una protezione termica dell'avvolgimento del motore con termistori per proteggere il motore su tutto il range di velocità.
- Accoppiamento dell'albero:  
Con i compressori a pistone la selezione dell'accoppiamento dell'albero richiede un'attenta considerazione. Per il funzionamento a bassa velocità (frequenza), va scelto un accoppiamento dell'albero con inerzia sufficiente.
- Selezione della potenza del motore e della taglia dell'inverter:  
Per operare la selezione del motore e dell'inverter idonei va consultato il fornitore del compressore.

## 5.3 Altre considerazioni

- Controllo della capacità:  
Di norma, non è permesso il funzionamento dei compressori con inverter di frequenza uniti al controllo di capacità convenzionale con aspirazione bloccata alle linee dei cilindri. Non è possibile garantire che il motore venga adeguatamente raffreddato in quanto il flusso della massa refrigerante è notevolmente ridotto. Inoltre, vi possono essere forti problemi con le vibrazioni a causa della pulsazione di coppia relativamente alta.
- Equalizzazione dell'olio con compressori tandem:  
Quando i compressori tandem sono azionati da un inverter di frequenza, il livello di olio potrebbe variare fra i due compressori. È spesso necessario un sistema di controllo del livello dell'olio e dell'equalizzazione del gas.
- Valvola di iniezione del liquido per i compressori a 2 stadi:  
Va assicurato il sufficiente surriscaldamento alla valvola di iniezione del liquido nell'intero range di velocità. Questo richiede un'attenta selezione della valvola di iniezione del liquido. Si raccomanda l'utilizzo di valvole di espansione elettroniche.
- Sequenza di fase / Direzione della rotazione:  
A pistoni:
  - Di norma non criticaA vite e scroll:
  - Molto critica. Una direzione di rotazione errata danneggerà il compressore. Al primo avvio, verificare sempre che la pressione di aspirazione diminuisca e che la pressione di scarico aumenti.
  - Effettuata la verifica, l'inverter prescelto per l'uso con i compressori impedirà la direzione di rotazione inversa.

Ultimo aggiornamento: Gennaio 2012

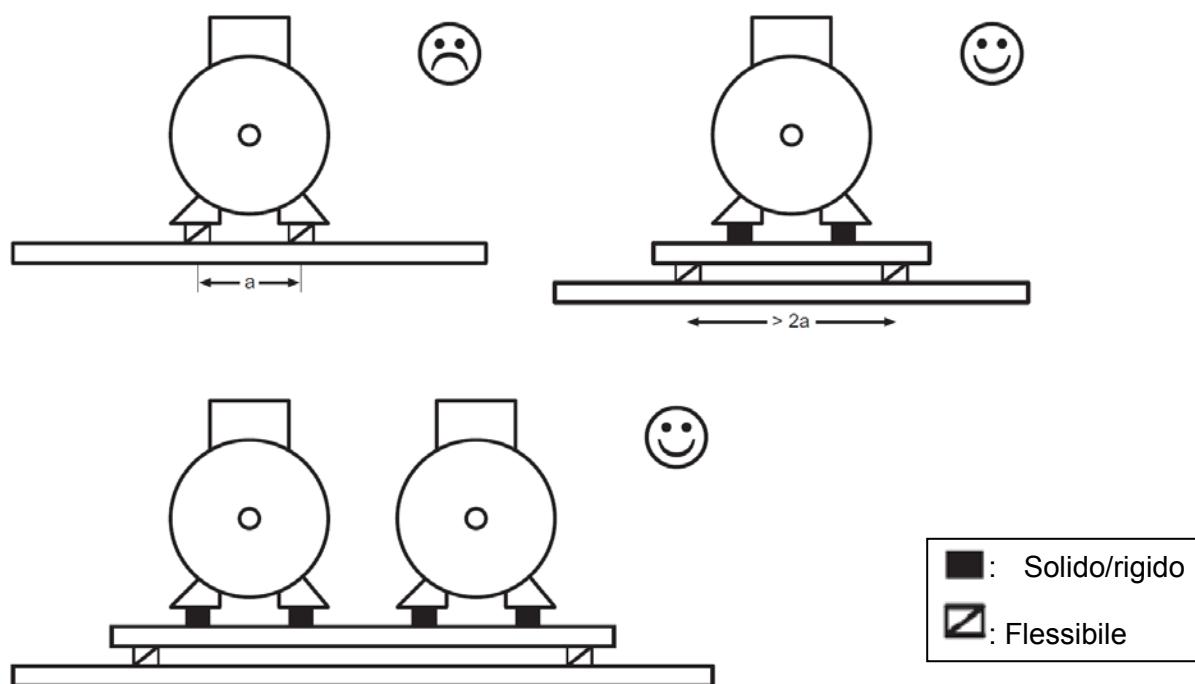
Relè di protezione della sequenza di fase:

- La maggiore parte non è adatta a rilevare la tensione in uscita dell'inverter
- Consultare il fabbricante del compressore
- Tubazioni:
  - Montare in parallelo e il più vicino possibile all'asse di rotazione per evitare delle rotture a fatica nel metallo dei tubi.
- Montaggio dei compressori a pistone:  
le sospensioni antivibranti in gomma fornite a corredo della maggior parte dei compressori sono progettate per un funzionamento a 50 o 60 Hz. Durante il funzionamento a bassa frequenza, possono verificarsi delle forti vibrazioni del compressore.

Questo richiede solitamente una delle seguenti misure:

- Montaggio rigido sul sottotelaio della centrale utilizzando delle boccole in plastica o metallo
- Montaggio rigido sul sottotelaio del compressore con degli ammortizzatori per le vibrazioni che si trovino ad una distanza almeno doppia di quella fra le staffe del compressore.

La Fig. 5.3 indica alcune alternative per il montaggio.



**Fig 5.3: Montaggio dei compressori a pistone per il funzionamento a velocità variabile (esempio con compressori a pistone a 2 cilindri)**

## 6. Selezione degli inverter e considerazioni sulla progettazione elettrica

### 6.1 Dimensionamento in base alla corrente

L'inverter deve essere in grado di fornire costantemente la massima corrente di funzionamento (alla temperatura massima di evaporazione e condensazione) al motore del compressore. Va prevista una riserva aggiuntiva del 10 %.

### 6.2 Coppia di avviamento

La coppia dei compressori a pistone varia a seconda dell'angolo di rotazione dell'albero a gomiti: maggiore è il numero dei cilindri, più la coppia è costante. In presenza di un numero inferiore di cilindri è necessaria una coppia di avviamento più elevata.

Per ottenere un avviamento affidabile in tutte le condizioni operative, è necessaria una coppia di avviamento temporanea delle durata di alcuni secondi. È opportuno richiedere al fornitore del compressore delle raccomandazioni sul requisito di sovracorrente per l'avviamento e utilizzarle per la selezione dell'inverter.

Il tentativo di utilizzare l'inverter senza una corrente di avviamento sufficiente può causare seri danni al compressore. È necessario garantire un avviamento affidabile in presenza dei peggiori parametri di avviamento, ad esempio dopo un'interruzione di corrente ad elevate condizioni ambientali.

Non si raccomanda l'utilizzo di inverter per ventilatori tarati per il funzionamento con sovraccarico praticamente inesistente, eccetto quando siano adeguatamente tarati per fornire la corrente di avviamento temporanea richiesta. Inoltre, tali inverter devono essere impostati per un funzionamento a coppia costante con un rapporto V/f lineare.

L'utilizzo degli inverter ha i seguenti effetti vantaggiosi sull'avviamento:

- Minore stress meccanico sul motore e sulle parti meccaniche in movimento.
- Considerevole riduzione nella corrente elettrica di alimentazione durante l'avviamento. La massima corrente di funzionamento del compressore non viene normalmente superata, anche se la corrente del compressore effettiva supera questo valore per un breve periodo durante l'avviamento.

### 6.3 Installazione elettrica

Deve essere prestata attenta considerazione alle norme europee ufficiali sulla sicurezza e la compatibilità elettromagnetica nel luogo di installazione (ospedali, edifici commerciali e industriali) e la conformità richiesta (marchio CE). Possono essere necessari dei filtri speciali e limitatori di intensità a compatibilità elettromagnetica.

Le raccomandazioni e istruzioni per l'installazione del fabbricante dell'inverter di frequenza vanno osservate dettagliatamente e con grande attenzione. In particolare, va verificato quanto segue:

- Il cavo fra il motore del compressore e l'inverter deve avere una schermatura in rame o altra schermatura EMC adatta che sia collegata sia alla piastra di montaggio dell'inverter che al corpo del motore con collegamento ad ampia area di contatto della schermatura, senza collegamenti a tociglione. Va inoltre messo a terra il motore tramite il conduttore di terra di tale cavo.
- Inoltre, il telaio di montaggio del compressore va collegato a terra separatamente con un cavo di sezione idonea.

Ultimo aggiornamento: Gennaio 2012

- Vanno osservate le raccomandazioni del fabbricante dell'inverter in merito al collegamento del motore. In particolare:
  - La lunghezza non deve eccedere quella massima specificata
  - La distanza rispetto agli altri cavi deve essere conforme alle raccomandazioni.
- Va inoltre tenuta in considerazione la temperatura dell'aria di raffreddamento attorno all'inverter. Il funzionamento ad alta temperatura comporterà una riduzione significativa della durata dell'inverter. Un aumento di temperatura di 10 K può dimezzare la durata degli inverter, i cui componenti critici sono i cuscinetti delle ventole e i condensatori in CC.

## 6.4 Circuito di sicurezza

I dispositivi di sicurezza quali l'attivazione del blocco d'alta pressione devono comportare l'arresto immediato dell'inverter senza affidarsi a nessun circuito di controllo elettronico. È necessario provvedere ad installare dei sistemi di arresto sicuro in caso di emergenza (quali il blocco d'alta pressione). Si potrebbe ad esempio usare un contattore fra l'inverter e il motore del compressore o usare un inverter con un circuito di arresto di sicurezza elettronico integrato e qualificato ai sensi della norma EN61800-5-2 (azionamenti elettrici a velocità variabile – Part5-2:Prescrizioni di sicurezza – Sicurezza Funzionale).

## 6.5 Tempo di accelerazione alla velocità minima

L'esperienza ha mostrato che un tempo di accelerazione tra 1 .. 4 s rappresenta un buon compromesso. Questo consente un soft start in aggiunta ad una lubrificazione adeguata.

Alcuni compressori scroll speciali richiedono dei tempi di accelerazione considerevolmente più lunghi.

Per i tempi di accelerazione consigliati in relazione a dei compressori specifici, consultare il relativo fornitore.

## 6.6 Boost di avviamento

Per garantire un riuscito avvio del compressore, si raccomanda di incrementare temporaneamente la coppia di avviamento (cosiddetto Boost). A tal fine, si raccomanda di incrementare la tensione del motore a bassa frequenza durante l'avvio per superare la caratteristica V/f lineare, o utilizzare altro metodo equivalente. Per regolare dei parametri in modo da ottenere una maggiore coppia durante l'avvio, consultare la documentazione del fabbricante dell'inverter.

Il Boost deve riguardare soltanto la fase di avviamento, e non deve mai portare a deviazioni dalla normale caratteristica V/f o altro metodo di controllo continuo equivalente durante il normale funzionamento.

Il valore della riserva di corrente temporanea di sovraccarico dell'inverter, utile per assicurare un avvio affidabile, dipende dal numero di cilindri con compressori a pistoni e da vari altri fattori nel caso di altri tipi di compressori. Le Figg. 4.1a...d indicano i valori tipici. Va consultato il fabbricante del compressore per ottenere le raccomandazioni appropriate.



## 6.7 Frequenza di modulazione

La frequenza di modulazione (o frequenza di commutazione) è la frequenza a cui la tensione dello stadio di uscita dell'alimentazione dell'inverter effettua la commutazione tra tensioni positive e negative provenienti dal bus CC dell'inverter. La tensione in uscita è la componente fondamentale, di norma fra 25 ... 60 Hz. La modulazione può produrre rumore acustico. Ogni transizione della tensione rappresenta uno stress per gli avvolgimenti e l'isolamento del motore. Pertanto la frequenza di modulazione va impostata al valore più basso possibile. I valori tipici sono fra 2 ... 6 kHz per assicurare una lunga durata del motore del compressore.

## 6.8 Cavo fra l'inverter di frequenza e il motore del compressore

Le seguenti raccomandazioni generali assicurano una buona affidabilità e una lunga durata del motore del compressore e dell'inverter (vedere anche la sezione 6.3 per requisiti analoghi relativi alla conformità sulla compatibilità elettromagnetica):

- Utilizzare cavi multipolari schermati in rame con collegamento ad ampia area di contatto della schermatura alla piastra connessioni elettriche e al corpo del compressore.
- Verificare che la lunghezza del cavo rientri nelle raccomandazioni dell'inverter.

## 6.9 Commutazione della tensione in uscita dell'inverter

L'uscita dei moderni inverter tramite la moderna tecnologia elettronica a potenza IGBT (transistor bipolare a gate isolato) commuta la tensione in un range molto ampio (tipicamente 5 kV/ $\mu$ s), spesso definito come dV/dt. Questo dV/dt elevato all'uscita dell'inverter rappresenta un possibile pericolo per l'isolamento dell'avvolgimento in rame a causa del rischio del cosiddetto effetto di "scarico parziale".

L'esperienza su un ampio numero di compressori alimentati da inverter ha mostrato che questo è un problema trascurabile alle normali tensioni di lavoro di 3AC 400 V. Tuttavia si raccomanda che l'installazione elettrica venga effettuata in conformità alle raccomandazioni di cui alla Sezione 6.3, in quanto in tal modo si otterrà un'attenuazione aggiuntiva della tensione dV/dt nell'avvolgimento del motore. Viene fatto particolare riferimento all'utilizzo di un cavo schermato del motore con collegamento ad ampia area di contatto sia nella piastra di montaggio dell'inverter che nel motore.

Si raccomanda inoltre di attenersi ai consigli contenuti nella norma IEC/TS 60034-25.

## 7. Raccomandazioni per la messa in servizio

### 7.1 Vibrazioni

Con il funzionamento a velocità variabile dei compressori possono verificarsi le seguenti fonti di vibrazioni:

- Pulsazioni di gas nella tubatura di scarico
- Vibrazione di coppia che agisce sui supporti del compressore
- Vibrazioni di coppia che agisce sulle flange per i collegamenti dei tubi
- Risonanze nel tubo economizzatore dei compressori a vite

La frequenza di queste vibrazioni è legata alla frequenza operativa del compressore che può variare su un ampio range. Vi è il possibile pericolo che possano essere raggiunte le frequenze di risonanza meccanica nella centrale. Questo può comportare rotture nei tubi a causa della fatica del metallo o altri problemi di risonanza.

# LINEE GUIDA



Ultimo aggiornamento: Gennaio 2012

Si raccomanda pertanto di verificare attentamente l'intera installazione per escludere vibrazioni o risonanze anomale a tutte le frequenze di funzionamento possibili.

Le frequenze a cui si verificano le risonanze devono essere evitate impostando adeguatamente i parametri dell'inverter.

---

Le presenti raccomandazioni sono rivolte ai professionisti e ai produttori / installatori di impianti di refrigerazione industriali, commerciali e domestici. Sono state predisposte in base a quanto ASERCOM ritiene essere le attuali conoscenze scientifiche e tecniche al momento della redazione; tuttavia, 7 e le aziende associate non possono accettare alcuna responsabilità e, in particolare, non possono presumere l'affidabilità delle misure (atti o omissioni) adottate sulla base delle presenti raccomandazioni.

---