

## ***Linee guida ASERCOM per la progettazione di rack multi-compressore utilizzando variatori di frequenza***

### **Indice**

- 1** AMBITO E SCOPO
- 2** SELEZIONE DEI COMPRESSORI
- 3** CARATTERISTICHE DI PROGETTO
- 4** CARATTERISTICHE DEL CONTROLLO
- 5** STABILITÀ DELLE CONDIZIONI DI LAVORO E RISPARMIO ENERGETICO
- 6** PROLUNGAMENTO DELLA VITA UTILE/AFFIDABILITÀ
- 7** CONFORMITÀ AGLI STANDARD DI SICUREZZA

### **1 AMBITO E SCOPO**

Questo documento contiene le linee guida per la progettazione di rack di compressori in parte a velocità fissa ed in parte pilotati da inverter.

L'ambito è limitato alle applicazioni di refrigerazione con compressori ermetici o semiermetici di tipo scroll, a pistoni, o a vite.

Per linee guida sulla tecnologia inverter applicata a compressori singoli, fare riferimento al documento *ASERCOM*:

#### **“RACCOMANDAZIONI PER L'UTILIZZO DEI VARIATORI DI FREQUENZA CON COMPRESSORI FRIGORIFERI VOLUMETRICI”**

Le più comuni configurazioni di rack di compressori sono le seguenti:

- **Due o più compressori: uno è dotato di inverter**
  - Il compressore a velocità variabile è in funzionamento continuo.
  - I compressori a velocità fissa sono controllati in sequenza.
- **Due compressori: entrambi sono dotati di inverter**
  - I due compressori hanno la stessa capacità volumetrica.
  - L'intero range di frequenza del primo compressore VS è controllato dalla prima metà scala del segnale di controllo (per esempio, 0-5 V).

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

- Il range di frequenza del secondo compressore VS è controllato dalla seconda metà scala del segnale di controllo (per esempio, 5-10 V).

## 2 SELEZIONE DEI COMPRESSORI

La progettazione del rack di compressori deve comprendere una valutazione accurata del campo di capacità frigorifera richiesta. Le informazioni necessarie sono:

- Capacità frigorifera a carico minimo (manutenzione, funzionamento notturno, temperatura di condensazione più bassa, ...)
- Capacità al carico massimo (a seconda dell'applicazione, potrebbe essere durante lo stoccaggio nella cella frigorifera o durante eventi post-sbrinamento)
- Quantità di utenti attivi, e algoritmo di attivazione, se disponibile.

Se l'algoritmo di attivazione non è disponibile, è importante includere un fattore per correggere il carico massimo in caso di carichi termici simultanei, per esempio:

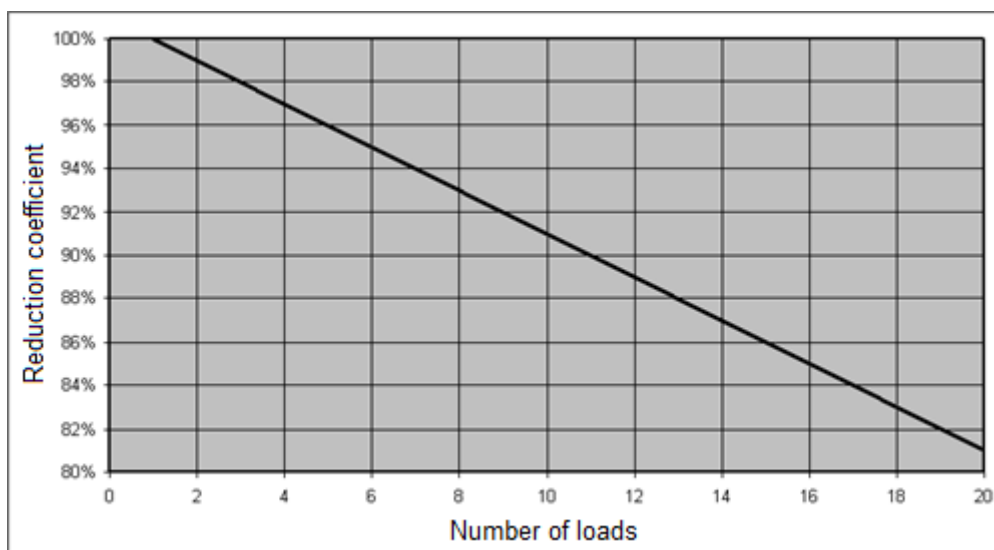


Fig. 1 – Coefficiente di riduzione in base al numero di utenze

Poiché ogni utenza (o utente o evaporatore) può contribuire in modo diverso al carico totale, potrebbe essere necessario pesare i singoli contributi in base alla loro durata.

Il miglior risultato in termini di dimensionamento si ottiene quando il rack di compressori può soddisfare i requisiti di carico variando la capacità frigorifera dal valore minimo al valore massimo. Un insufficiente intervallo di variazione nella capacità comporterà una instabilità nella capacità totale del rack.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

Questi step si verificano solitamente in sistemi multi-compressore/multi-utenza, quando:

- I compressori vengono accesi e spenti
- Le elettrovalvole sulla linea del liquido aprono o chiudono
- I cicli di sbrinamento sono attivati o disattivati
- Grandi carichi termici sono collegati o scollegati dal sistema

Gli step hanno un impatto negativo sulla stabilità della pressione di aspirazione e l'efficienza del sistema.

**NOTA: L'utilizzo di compressori a velocità variabile in un rack offre una soluzione valida per un controllo stabile del processo, sempre che le variazioni di velocità e capacità coprano i “vuoti” creati dall'accensione/spegnimento degli altri compressori nel rack.**

Il processo di dimensionamento di applicazioni rack multi-compressore con un singolo compressore a velocità variabile deve comprendere almeno i seguenti passi:

**I. Selezionare le dimensioni dei compressori, con gli strumenti di selezione del produttore, tenendo presente le seguenti informazioni:**

- Numero totale dei compressori nel rack
- Limitazioni ambientali (rete elettrica, dimensioni, livello di rumore...)
- Margine di sicurezza
- Condizioni di lavoro di progetto e campo di utilizzo consentito (temperatura di evaporazione e di condensazione)
- Dimensioni dell'inverter e cablaggio del motore del compressore (star/delta...).

**II. Selezionare le capacità del compressore prendendo in considerazione il fattore di controllo CF (vedere sezione seguente).**

**III. Utilizzando lo strumento di selezione del produttore, controllare i limiti in frequenza del compressore a velocità variabile, nelle condizioni di lavoro di progetto e nel campo di utilizzo consentito**

- Limite di frequenza superiore e inferiore nelle condizioni di lavoro di progetto e in base al refrigerante scelto

**IV. Cambiare le dimensioni del compressore a velocità variabile, se necessario, o selezionare un cablaggio motore diverso per ampliare il limite di frequenza massimo.**

**V. Considerare le influenze reciproche degli altri dispositivi modulanti e selezionare dispositivi di controllo idonei:**

- Condensatore con controllo della velocità del ventilatore
- Valvola di espansione elettronica (EEV)
- Controllo della capacità meccanico
- Caratteristiche del dispositivo di controllo

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

## NOTA IMPORTANTE

Al fine di ottenere una modulazione della capacità step-less continua, è importante selezionare compressori di dimensioni che soddisfano la seguente equazione:

$$Qvs_{max} - Qvs_{min} \geq Qfs$$

Dove

- $Qvs_{max}$  = capacità del compressore a velocità variabile alla frequenza massima
- $Qvs_{min}$  = capacità del compressore a velocità variabile alla frequenza minima
- $Qfs$  = capacità del compressore a velocità fissa

Il rapporto e il coefficiente del fattore di controllo (CF) definiti di seguito possono essere di aiuto nella selezione delle dimensioni dei compressori:

$$CF = \frac{(QVsC_{max} - QVsC_{min})}{QFsC} 100 \%$$

Dove:

$QVsC_{max}$  Capacità frigorifera di VsC alla velocità massima  
 $QVsC_{min}$  Capacità frigorifera di VsC alla velocità minima  
 $QFsC$  Capacità frigorifera minima di FsC (tenendo presente il controllo della capacità, se disponibile)

VsC Compressore a velocità variabile

FsC Compressore a velocità fissa

Le prestazioni del controllo possono essere valutate per i seguenti valori di CF:

≥ 100% Eccellente, poche fluttuazioni nella pressione di aspirazione  
≥ 80% Buona, alcune fluttuazioni nella pressione di aspirazione  
≥ 70% Accettabile, ma diverse fluttuazioni nella pressione di aspirazione  
≤ 69% Non accettabile, eccessive fluttuazioni nella pressione di aspirazione con instabilità del controllo

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

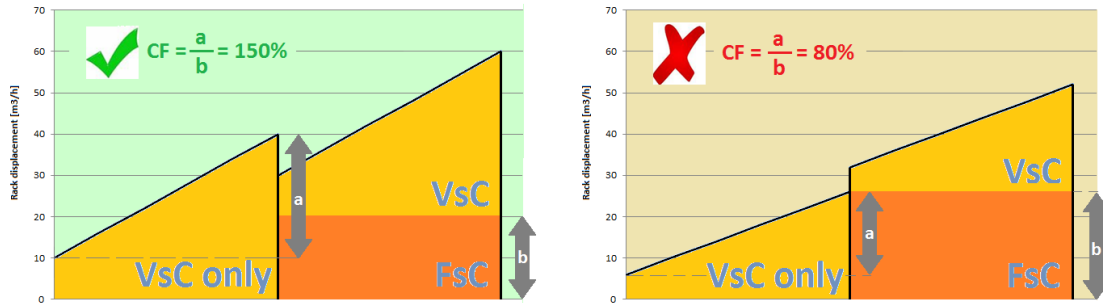


Fig. 2 – Differenze di portata volumetrica tra design ottimale e non ottimale

## NOTA:

I limiti di frequenza saranno forniti dal costruttore del compressore. Se nessuna informazione è disponibile, il documento ASERCOM “**RACCOMANDAZIONI PER L’UTILIZZO DEI VARIATORI DI FREQUENZA CON COMPRESSORI FRIGORIFERI VOLUMETRICI**” può essere utilizzato come guida.

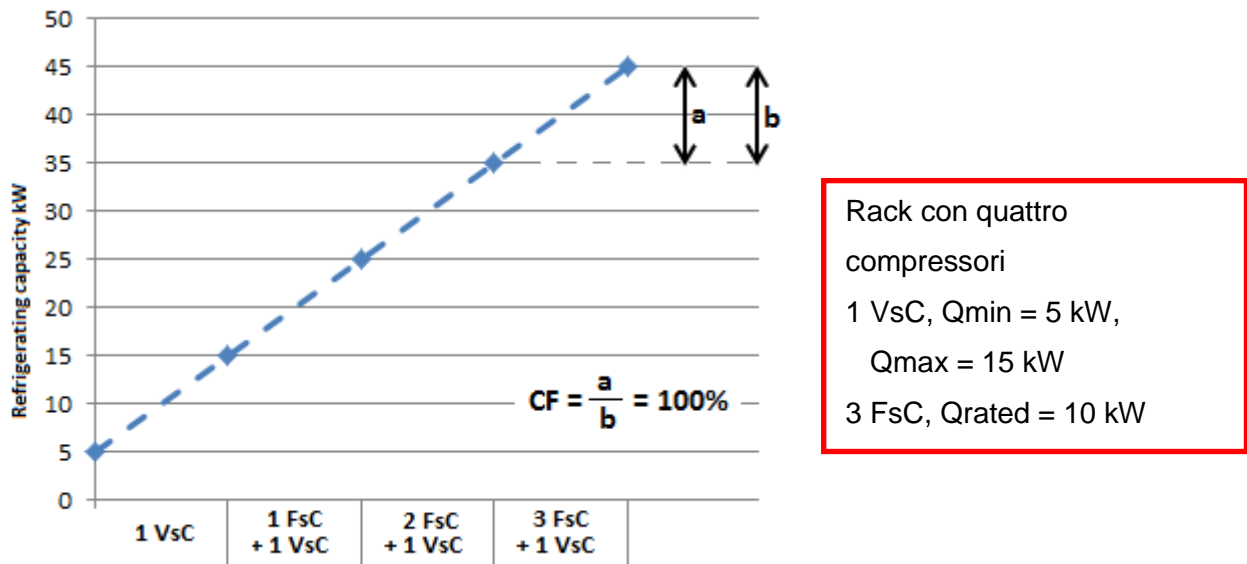
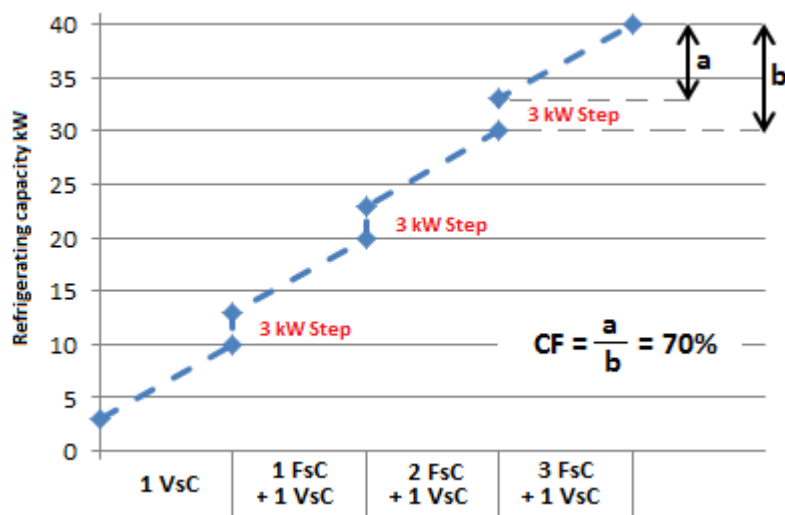


Fig. 3 – Capacità frigorifera in un rack di compressori – design ottimale

Ultimo aggiornamento: settembre 2017



Rack con quattro compressori  
1 VsC,  $Q_{min} = 3 \text{ kW}$ ,  
 $Q_{max} = 10 \text{ kW}$   
3 FsC,  $Q_{rated} = 10 \text{ kW}$

Fig. 4 – Capacità frigorifera in un rack di compressori – design non ottimale

Notare come la seconda selezione (Fig. 4) porta a una discontinuità nella regolazione della capacità frigorifera. Se significative, le discontinuità possono comportare condizioni di funzionamento instabili.

### 3 CARATTERISTICHE DI PROGETTO

I criteri di progettazione più comuni per i rack di compressori sono ampiamente riconosciuti e sono stati applicati negli ultimi anni da diversi produttori di rack.

Queste linee guida trattano quegli aspetti della progettazione che possono essere influenzati dal controllo della capacità a velocità variabile, come ad esempio:

- Separazione dell'olio, controllo del livello dell'olio e distribuzione tra i compressori
- Dimensionamento delle linee di aspirazione e mandata, layout e supporti
- Punti di misurazione per il feedback di pressione e temperatura
- Smorzamento delle vibrazioni - mitigazione del rumore
- Interazione con il controllo della capacità meccanico
- Dispositivi di sicurezza

I criteri di progettazione del controllo sono trattati in maggior dettaglio nel capitolo 4.

**Nota importante:** In questo capitolo, sono descritte e illustrate le linee guida generali per la progettazione. I criteri di progettazione proposti devono essere valutati per ogni specifica applicazione.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

## 3.1 Separazione dell'olio, controllo del livello e distribuzione

La gestione dell'olio in un sistema con compressori a velocità variabile richiede particolare attenzione.

In sistemi ampiamente ramificati con una notevole variazione di carico, il ritorno dell'olio può essere complesso e richiederà una particolare attenzione nella progettazione dell'impianto e nella selezione del separatore o separatori.

In una configurazione con compressori tandem, con la velocità di uno dei due motori regolata dall'inverter, il livello dell'olio può differire tra i compressori. In questo caso potrebbe essere necessario utilizzare un sistema di equalizzazione dell'olio e del gas appositamente progettato o un sistema di controllo del livello dell'olio attivo (secondo le specifiche del produttore).

In un sistema a più compressori, il dimensionamento delle tubazioni, del separatore olio, del ricevitore dell'olio, ecc. potrebbe rivelarsi eccessivo con un singolo compressore in funzionamento a bassa frequenza. Questo può influire sul ritorno dell'olio ai compressori.

Il controllo del livello dell'olio all'interno del compressore a velocità variabile diventa critico e una semplice soluzione di equalizzazione potrebbe non essere sufficiente. Per gestire efficientemente il ritorno dell'olio, si raccomanda di usare un sistema di controllo del livello dell'olio su ciascun compressore.

Una soluzione molto comune è selezionare un sistema con un solo separatore dell'olio ed un ricevitore dell'olio, collegato al collettore di aspirazione con una valvola di pressione differenziale fra i due dispositivi per mantenere una pressione più elevata - di circa 1,4 bar - nel ricevitore (con la CO<sub>2</sub> come refrigerante considerare un valore più elevato). Il ricevitore può essere anche integrato nel separatore dell'olio, in tal caso sarà in alta pressione. Entrambe le soluzioni consentono un'adeguata distribuzione dell'olio ad ogni compressore tramite regolatori del livello dell'olio che, tuttavia, devono essere progettati per il funzionamento sia a bassa pressione sia ad alta pressione:

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

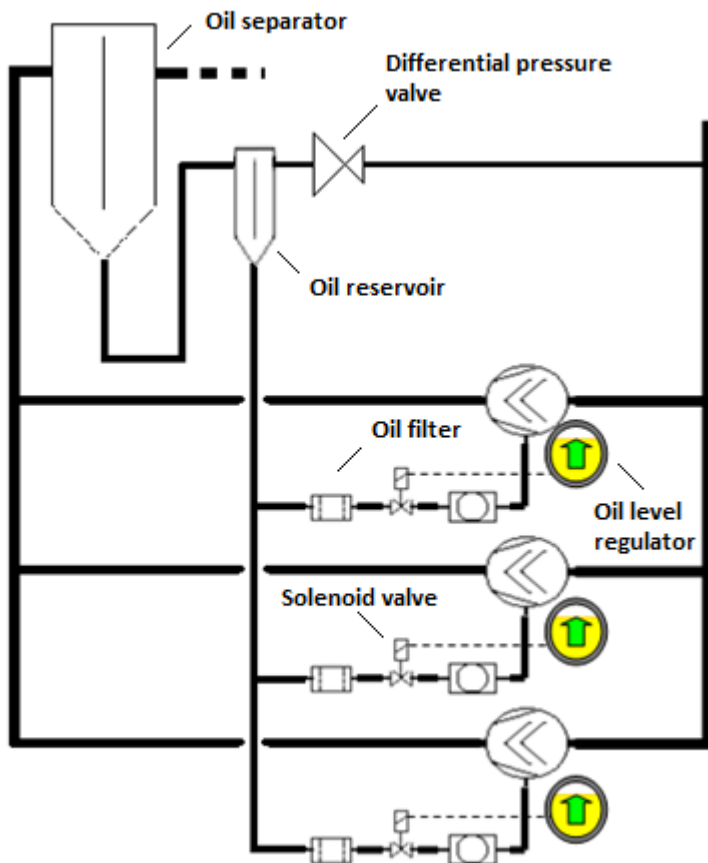


Fig. 5 – Schema della distribuzione dell'olio in un rack di compressori – design ottimale

### 3.2 Dimensionamento delle linee di aspirazione e mandata

Selezionare le dimensioni appropriate per i tubi in base allo spostamento volumetrico del compressore a velocità variabile, in funzionamento alla velocità massima. Un corretto dimensionamento previene eccessive perdite di carico alle alte frequenze, ma riduce la velocità del gas e del liquido nelle tubazioni alle frequenze più basse.

Isolatori di vibrazioni possono essere utilizzati sulle linee di mandata e di aspirazione dei compressori per attenuare forti vibrazioni. Questo si può verificare quando le pulsazioni del compressore a velocità variabile attraversano le frequenze di risonanza dei tubi. Questa soluzione consente di ridurre il rumore e di prevenire vibrazioni anomale.

Il montaggio degli isolatori di vibrazione deve essere effettuato in base alle istruzioni del produttore. In generale, la migliore prassi è installarli con il loro asse parallelo all'albero motore del compressore e il più vicino possibile alla carcassa del compressore per evitare rotture a fatica dei tubi.



Ultimo aggiornamento: settembre 2017

Con i compressori a velocità variabile, le pulsazioni del gas di mandata possono coprire una vasta gamma di frequenze, che possono causare problemi di risonanza nella linea di mandata. Uno dei criteri per la disposizione delle linee di mandata è quello di evitare le cosiddette “lunghezze critiche”, per quanto possibile. La lunghezza critica del tubo equivale alla lunghezza d’onda della sinusoide delle pulsazioni (o la sua frazione armonica). A sua volta, quest’onda dipende dalla frequenza di oscillazione (impulsi di mandata al secondo) e dalla velocità sonica del refrigerante alla pressione e temperatura di mandata.

A causa dell’ampia gamma di frequenze ed ai vincoli legati alle tubazioni, è spesso difficile trovare una dimensione ideale. Pertanto, potrebbe essere opportuno installare un muffler in mandata in modo da ridurre l’ampiezza della pulsazione. Questo in particolare con i compressori che possono funzionare a velocità relativamente bassa (frequenza di pulsazione) e con un alto rapporto di compressione.

In casi critici, è anche possibile “bypassare” determinate frequenze di risonanza tramite la configurazione dell’inverter (vedere anche il capitolo 3.5).

### **3.3 Posizione dei compressori a velocità fissa rispetto a quelli a velocità variabile**

Una delle soluzioni più semplici e comuni è utilizzare per le tubazioni di aspirazione il diagramma mostrato nella Fig. 6.

Tuttavia, a causa del forte reindirizzamento del flusso del gas, se il compressore VS si trova nella prima posizione, possono manifestarsi effetti centrifughi di separazione dell’olio. L’olio, che ha una densità superiore rispetto al gas, sarà separato in corrispondenza del punto morto del tubo. Questo può comportare la formazione di sacche d’olio dopo l’avvio di un compressore vicino a questa posizione.

Questo sistema è tuttavia raccomandato solo in combinazione con un sistema di regolazione dell’olio su ogni compressore.

Una soluzione preferibile è quella di progettare le tubazioni in modo da ottenere un eguale reindirizzamento di gas e olio (vedere Fig. 7). Il compressore a velocità variabile può essere montato in qualsiasi posizione. Con una buona progettazione, questo sistema può essere talvolta utilizzato senza un sistema di regolazione dell’olio.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

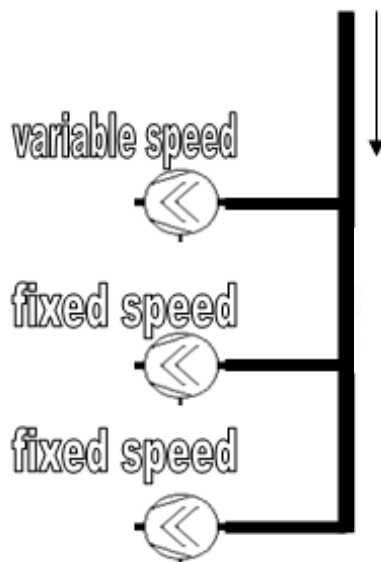


Fig. 6 – Disposizione delle tubazioni lato aspirazione dei compressori in un sistema rack

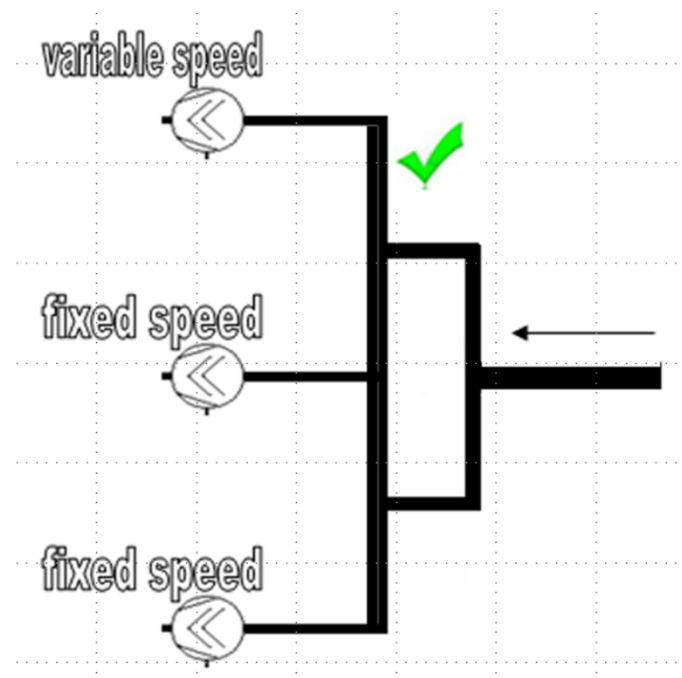


Fig 7. – Esempio alternativo di sistema correttamente progettato che può consentire di operare senza controllo del livello dell'olio

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

## 3.4 Punto di misurazione della pressione di aspirazione

Se si utilizza un sistema di controllo basato sulla pressione di aspirazione, la posizione del punto di misurazione sulla linea di aspirazione è importante per una buona regolazione. Per minimizzare le pulsazioni di pressione, si raccomanda di montare il trasduttore di pressione sul collettore di aspirazione.

Aumentare la distanza del punto di misurazione dalla presa di aspirazione dei compressori a velocità fissa aiuterà inoltre a smorzare le fluttuazioni di pressione quando i compressori a velocità fissa vengono accesi/spenti.

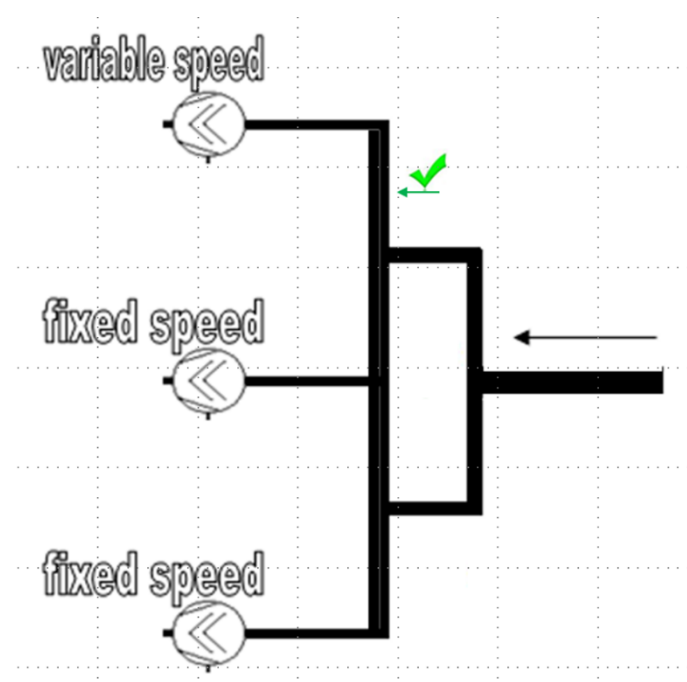


Fig. 8 – Punto di misurazione della pressione di aspirazione consigliato

## 3.5 Smorzamento delle vibrazioni

I piedini antivibranti in gomma forniti con la maggior parte dei compressori sono progettati per un funzionamento a 50 e 60 Hz. Durante il funzionamento a bassa frequenza, il compressore può emettere forti vibrazioni. Questo in genere richiede soluzioni alternative, come l'utilizzo di elementi di fissaggio rigidi tra i compressori e il telaio.

In particolare, può essere vantaggioso attenersi alle seguenti istruzioni:

1. Utilizzare supporti rigidi, per esempio boccole di plastica o di metallo sotto i piedini di montaggio del compressore.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

- Utilizzare supporti elastici sotto il compressore o il sotto-telaio del rack con smorzatori di vibrazioni separati da una distanza almeno pari al doppio della distanza tra i punti di montaggio del compressore.

Le immagini seguenti mostrano alcune alternative di montaggio:

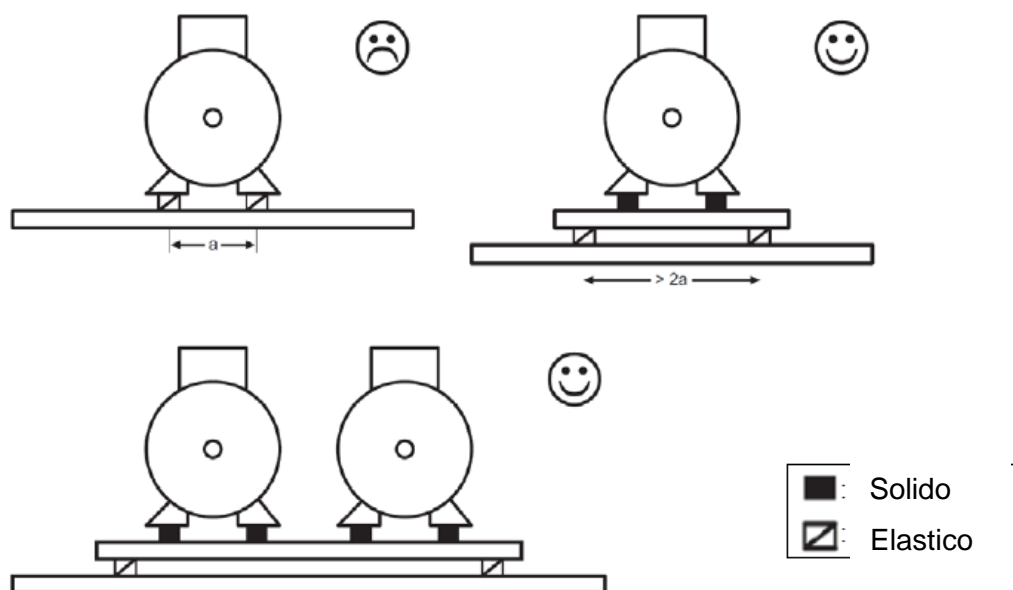


Fig. 9 - Esempio di montaggio di smorzatori antivibrazione

Se si verificano forti vibrazioni a determinate frequenze, sarà possibile risolvere il problema solo con l'utilizzo delle funzioni di controllo dell'inverter (se disponibili). In molti casi, sarà possibile "bypassare" determinate frequenze di risonanza senza creare problemi in termini di discontinuità nel controllo della capacità frigorifera.

Raccomandiamo di controllare attentamente l'intero impianto e adottare le necessarie misure per attenuare e prevenire vibrazioni o risonanze anomale nel campo delle frequenze di funzionamento, per evitare possibili rotture dei tubi e altri problemi correlati (rumore,...).

Su rack di compressori per la refrigerazione, è sempre consigliabile collegare elettricamente i compressori in modo che il loro senso di rotazione sia lo stesso.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

### 3.6 Interazione con controlli della capacità meccanici, EEV e regolatori della velocità dei ventilatori

Come spiegato nel capitolo 2, in applicazioni a rack si consiglia di minimizzare l'ampiezza delle discontinuità prodotte quando i compressori a velocità fissa vengono accesi o spenti. Questo per migliorare la stabilità di funzionamento del sistema.

Questo obiettivo può essere conseguito incorporando un controllo di capacità meccanico nei compressori a velocità fissa che aumenti il numero di gradini e ne riduca l'ampiezza, aumentando contemporaneamente la stabilità del processo e riducendo la taglia del compressore a velocità variabile.

Tuttavia, l'uso di un controllo di capacità meccanico su un compressore a velocità variabile dipenderà dalla tecnologia utilizzata e normalmente non è raccomandato (vedere anche il documento ASERCOM "**RACCOMANDAZIONI PER L'UTILIZZO DEI VARIATORI DI FREQUENZA CON COMPRESSORI FRIGORIFERI VOLUMETRICI**").

Come per i rack di compressori standard, raccomandiamo l'uso di valvole di espansione elettroniche (EEV) e di regolatori della velocità dei ventilatori (sul condensatore) per ottenere un controllo stabile ed efficiente, soprattutto se consideriamo la vasta gamma di capacità frigorifere e le variabili condizioni di temperatura ambiente durante le stagioni.

### 3.7 Interazione con altri dispositivi

I compressori per il funzionamento a velocità variabile sono in genere dotati di un'adeguata protezione del motore, con controllo termico. Se il compressore è dotato di un dispositivo di protezione per il monitoraggio del senso di rotazione (per esempio, se è del tipo a vite, scroll o rotativo), potrebbero essere necessarie misure specifiche - consigliamo di contattare il produttore.

Se i compressori con direzione di rotazione fissa sono utilizzati senza moduli di protezione per il controllo della sequenza delle fasi, quando si configura l'inverter, è necessario verificare di aver selezionato la sequenza delle fasi corretta. Inoltre, la correttezza dei collegamenti elettrici tra l'inverter e la morsettiera del motore deve essere controllata prima dell'avvio.

Se l'inverter viene utilizzato per interrompere l'alimentazione al compressore (Safe Torque Off) per prevenire un avviamento accidentale, o quando un allarme viene emesso da un dispositivo di sicurezza elettrico, l'inverter deve soddisfare i requisiti della nuova Direttiva Macchine. In questo caso, l'arresto deve essere sicuro e veloce e non deve essere gestito da un circuito elettronico di controllo intermedio. In alternativa, i dispositivi di sicurezza possono essere collegati a un contattore installato tra l'inverter e il motore del compressore. Per ulteriori informazioni, vedere il capitolo 7.

Se il compressore con inverter è dotato di una pompa dell'olio, controllare la velocità minima di sicurezza nel manuale del produttore per evitare che il pressostato differenziale vada in allarme. Verificare anche che nessun pressostato vada in allarme nell'intero campo di frequenza o quando i compressori a velocità fissa vengono accesi/spenti.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

Se possibile, integrare, nel circuito di sicurezza, un allarme del livello dell'olio per il compressore a velocità variabile.

**NOTA:** Ciascun dispositivo di sicurezza deve essere dotato del giusto livello di immunità EMI per garantire una protezione completa (principalmente i dispositivi a bassa tensione).

## 4 FUNZIONI DI CONTROLLO

Vi sono diversi metodi alternativi per controllare il compressore a velocità variabile (VsC); per esempio:

- Utilizzo di un regolatore esterno con un'uscita analogica (in genere 0...10 V) per variare la frequenza dell'inverter applicata al compressore
- Utilizzo di funzioni di controllo integrate nell'inverter per controllare la pressione di aspirazione o la temperatura di evaporazione. Sono in genere basate sul controllo PI (proporzionale + integrale).

Un regolatore avanzato può inoltre controllare la pressione di aspirazione (o la temperatura di evaporazione) in modalità "flottante", per consentire un funzionamento al più alto valore ammissibile, minimizzando il consumo di energia.

È inoltre possibile utilizzare funzioni per ottimizzare il ritorno dell'olio e per assicurare che il compressore operi all'interno del campo di applicazione ed entro i limiti elettrici.

Diverse importanti limitazioni devono essere rispettate per assicurare un funzionamento affidabile del VsC con una lunga vita in servizio, fra cui:

- Numero di avviamenti all'ora
- Tempo di funzionamento minimo
- Tempo minimo fra gli avviamenti

Il controllo del compressore a velocità variabile (VsC) in un sistema multi-compressore è in genere combinato con il controllo dei compressori a velocità fissa (FsC), adottando le medesime limitazioni descritte sopra. Qui, ci sono principalmente due metodi di controllo:

- Il metodo di controllo della capacità del rack di compressori a "zona neutra" consente di aumentare/diminuire la velocità del VsC in funzione delle variazioni del carico, quando la pressione di aspirazione supera/scende al di sotto della zona neutra definita. Quando il VsC raggiunge la velocità massima/minima e non vi è ulteriore aumento/diminuzione della pressione di aspirazione, l'FsC si inserisce/disinserisce dopo un ritardo definito.
- Attivazione di un ulteriore FsC quando il VsC viene azionato alla massima frequenza, per un periodo superiore ad un tempo definito (ritardo). Allo stesso modo, disattivazione di un FsC quando il VsC viene azionato alla minima frequenza, per un periodo superiore ad un tempo definito.

Il fattore di controllo (CF), a cui abbiamo accennato nella Sezione 2, è molto importante per conseguire un funzionamento stabile, con risparmio di energia.

Con i metodi di controllo del VsC di cui sopra, è possibile compensare le variazioni di capacità durante il normale funzionamento. Solo quando è presente una notevole variazione nella capacità, sarà necessario attivare o disattivare un FsC del rack. Ciò si traduce in un

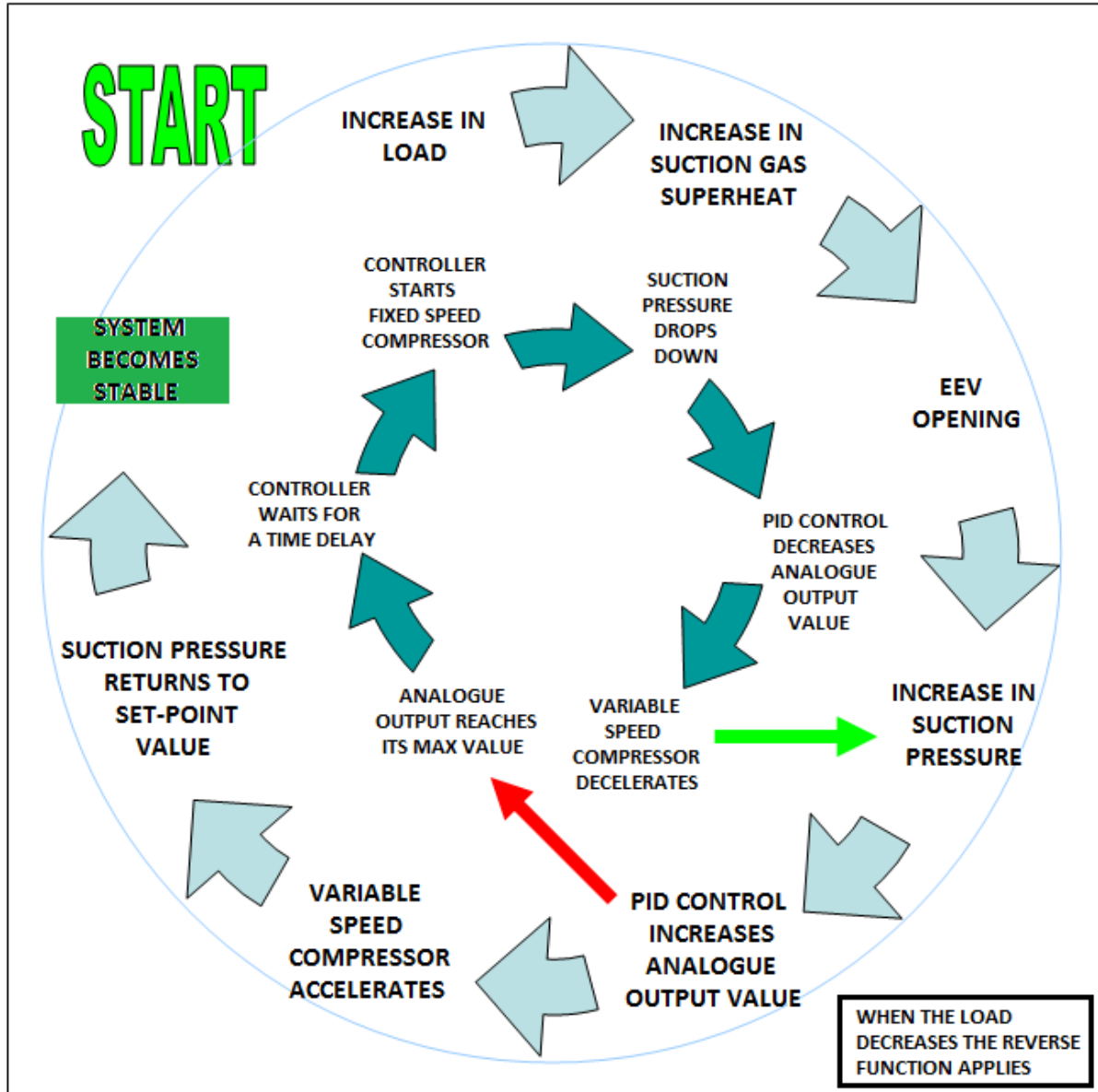
Ultimo aggiornamento: settembre 2017

aumento della vita utile dei compressori in quanto il numero di avviamenti e arresti viene considerevolmente ridotto.

Questo metodo di controllo è illustrato nella Fig. 10, dove:

- L'anello esterno mostra il funzionamento del VsC con compensazione delle normali variazioni nella capacità frigorifera
- L'anello interno mostra il ciclo di funzionamento quando un ulteriore FsC è necessario per soddisfare i requisiti di capacità.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017



**OUTER LOOP: CONTRIBUTE BY Vs COMPRESSORS**  
**INNER LOOP: CONTRIBUTE BY Fs AND Vs COMPRESSORS**

Fig. 10 – Illustrazione del metodo di controllo di un rack con compressori a velocità variabile



Ultimo aggiornamento: settembre 2017

## 5 STABILITÀ DELLE CONDIZIONI DI LAVORO E RISPARMIO ENERGETICO

Le installazioni basate su uno o più compressori a velocità fissa hanno sempre una deviazione intrinseca rispetto alla temperatura di evaporazione (capacità troppo alta o troppo bassa). La deviazione effettiva dipende dalla progettazione del sistema.

Se si utilizza un sistema con compressori a velocità variabile (VsC) correttamente progettato, questa deviazione può essere tipicamente ridotta di un fattore 5 (spesso più elevato); vedere la Fig. 11. Un'analisi dei dati del compressore indica che questa soluzione comporta una notevole riduzione dei consumi energetici.

Inoltre, il controllo della valvola di espansione (con un tempo di risposta relativamente lento) assicura un riempimento dell'evaporatore ottimale, un altro importante aspetto per minimizzare il consumo di energia.

Poiché gli scambiatori di calore sono progettati per funzionare a pieno carico, la possibilità di funzionare in maniera stabile a carico parziale con un inverter, consente temperature di evaporazione più alte e temperature di condensazione più basse per lo stesso fabbisogno di raffreddamento. Il coefficiente di prestazione (COP) dei compressori è più alto con un minore consumo di energia. Questo è particolarmente importante, in quanto i tempi di funzionamento in condizioni di carico parziale sono generalmente prevalenti.

Le condizioni di funzionamento più stabili dei sistemi di compressori basati su inverter offrono inoltre i seguenti vantaggi:

- Negli impianti con chiller, i serbatoi di accumulo dell'acqua sono spesso usati per minimizzare le variazioni di temperatura. Con un controllo preciso della temperatura, è possibile ridurre le dimensioni del serbatoio di accumulo associato.
- Migliore controllo della temperatura per le applicazioni critiche, come nella trasformazione alimentare e nelle macchine per lo stampaggio a iniezione della plastica. Un miglior controllo della temperatura consente di ridurre considerevolmente gli sprechi di processo.

Le figure 11e 12 illustrano la riduzione del consumo di energia e il miglioramento del COP in condizioni di carico parziale.

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

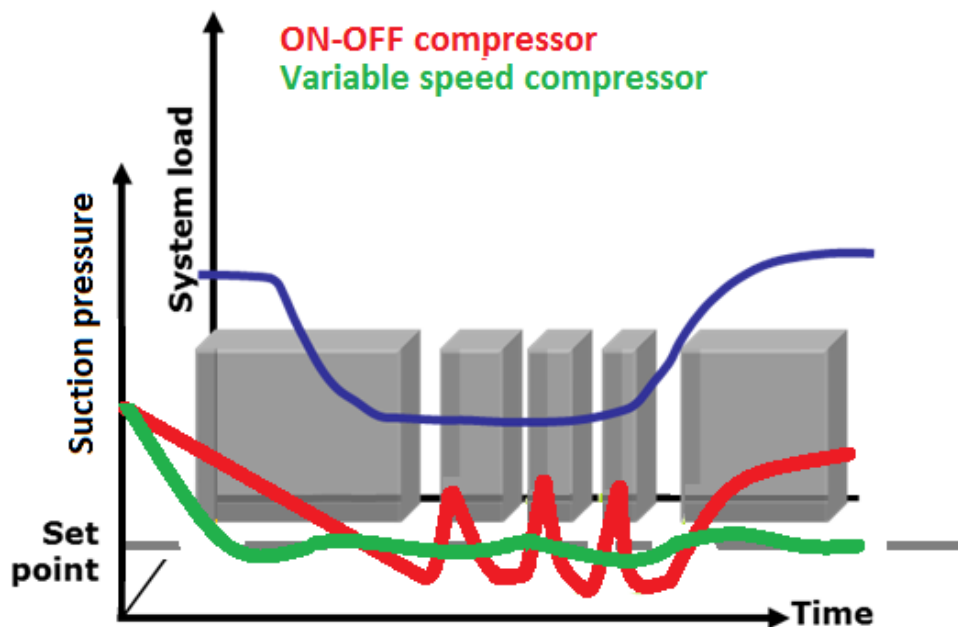
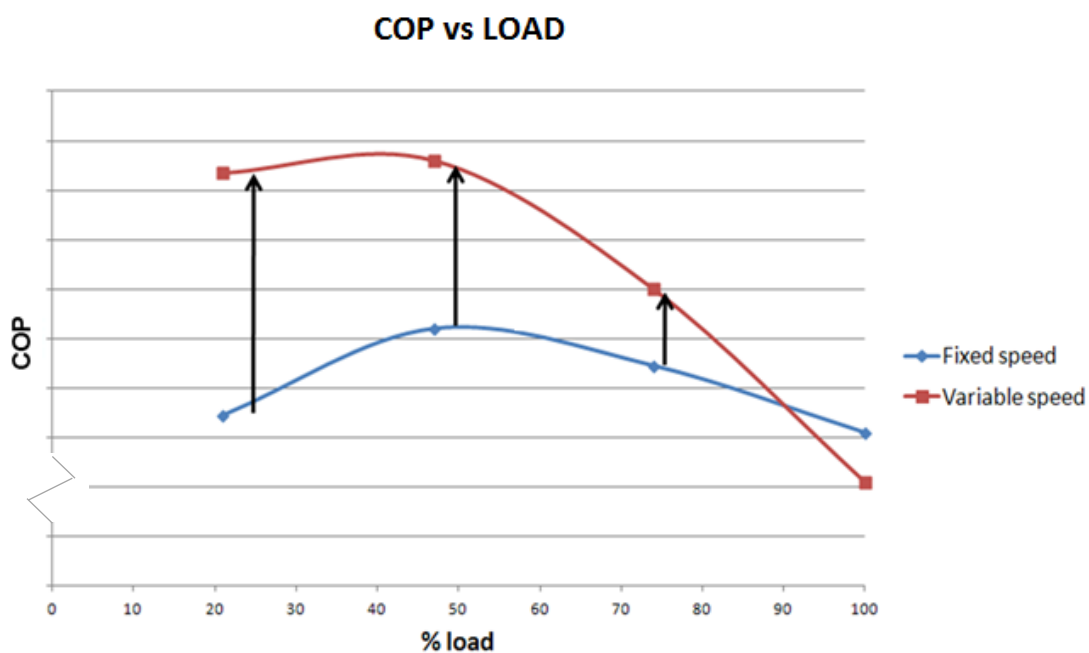


Fig 11. – Illustrazione del controllo della pressione di aspirazione – velocità variabile rispetto al controllo ON/OFF



Ultimo aggiornamento: settembre 2017

Fig. 12 – Esempio di caratteristica del COP di un compressore a velocità variabile rispetto a un compressore a velocità fissa con controllo di capacità meccanico

## 6 PROLUNGAMENTO DELLA VITA UTILE - AFFIDABILITÀ

### 6.1 Affidabilità del compressore

- Sequenza avvio/arresto

La maggior parte dell'usura meccanica in un compressore avviene durante una notevole variazione delle condizioni di funzionamento, in particolare durante l'avvio.

Il compressore a velocità variabile funzionerà per la maggior parte del tempo, con conseguenti cicli ON/OFF molto bassi. Questo è applicabile anche ai compressori a velocità fissa in un rack di compressori, in quanto si accenderanno/spegneranno con meno frequenza. Questo implica:

- minore sollecitazione elettrica sull'avvolgimento motore.
- minore sollecitazione meccanica su tutte le parti in movimento dei compressori.

- Avviamento graduale (soft start)

Con i parametri dell'inverter impostati correttamente, l'aumento controllato della velocità riduce la sollecitazione sulle parti meccaniche del compressore. La ridotta corrente di spunto dall'inverter ridurrà inoltre la sollecitazione sull'avvolgimento del motore.

- Protezioni dell'inverter

La maggior parte degli inverter è dotata di una funzione di monitoraggio della corrente che riduce la velocità del compressore in caso di sovraccarico.

La protezione contro i cicli brevi, la perdita di una fase e la rotazione inversa sono caratteristiche comuni negli inverter

Queste funzioni prolungano in genere la vita in servizio dei compressori.

### 6.2 Affidabilità di un rack di compressori:

- Vibrazioni

La più importante limitazione in termini di funzionamento di un rack di compressori è costituita dalle vibrazioni generate dai compressori a velocità variabile. L'ampio campo di velocità può potenzialmente aumentare il rischio di un funzionamento vicino alla frequenza naturale di risonanza del rack. Questo aspetto deve essere controllato attentamente al momento dell'installazione. Alcuni inverter sono in grado di "bypassare" determinati intervalli di frequenza per prevenire forti risonanze e

Ultimo aggiornamento: settembre 2017

conseguenti rotture dei tubi o del telaio. Le frequenze da ignorare sono inserite manualmente come parametri dell'inverter.

Questa funzione può essere utilizzata anche sul campo quando il rack è installato nel sistema di refrigerazione. La frequenza naturale del rack può cambiare quando le tubazioni sono collegate e quando il rack viene fissato in posizione.

- Usura delle tubazioni  
La riduzione del numero di avvii/arresti dei compressori ridurrà anche l'usura delle tubazioni del rack.

## 7 CONFORMITÀ AGLI STANDARD DI SICUREZZA

I regolamenti per gli impianti di refrigerazione fanno riferimento alla norma di sicurezza EN 60204-1

(Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine - Parte 1: Regole generali)

È una prassi stabilita e comprovata che i circuiti di sicurezza (compresi i dispositivi di limitazione della pressione) siano dotati di dispositivi elettromeccanici quali relè o contattori.

Non è consentito utilizzare controlli di automazione standard basati su software (per esempio, PLC) in quanto non sono funzionalmente fail-safe e/o perché un errore software può causare condizioni operative pericolose.

In caso di emergenza (per esempio, raggiungimento del limite della pressione) la Categoria di arresto 0 (immediato scollegamento dell'alimentazione) è appropriata.

L'interruzione della corrente elettrica al compressore tramite contattore è una tecnica collaudata per l'arresto immediato e sicuro dei motori dei compressori in una condizione di emergenza.

La funzione Safe Torque-Off (STO) integrata in alcuni convertitore di frequenza può essere utilizzata come metodo alternativo, a condizione che un contattore di bypass non venga utilizzato. Con una corretta installazione, un livello di integrità di sicurezza 3 (SIL3 – Safety Integrity Level) può essere conseguito.

Un circuito di sicurezza tipico in genere comprende i seguenti elementi:

- Dispositivi essenziali rilevanti per la sicurezza, per esempio pressostati per sovrappressione
- Dispositivi opzionali, come pressostati per bassa pressione, dispositivi per il monitoraggio della pressione o del livello dell'olio
- Dispositivi sensibili come relè di sovratemperatura motore

Gli standard e le raccomandazioni precedentemente descritti sono linee guida generali per la progettazione di un'installazione dotata dei necessari dispositivi di sicurezza.

Tuttavia, è responsabilità dell'installatore o della società che fornisce il sistema valutare il rischio di ogni singolo impianto, assicurando che tutte le misure di sicurezza siano adeguate e funzionali.

# LINEE GUIDA



Ultimo aggiornamento: settembre 2017

---

Queste raccomandazioni sono rivolte ai professionisti e ai produttori/installatori di sistemi di refrigerazione industriali, commerciali e domestici. Sono state redatte sulla base di ciò che *ASERCOM* ritiene essere lo stato delle conoscenze scientifiche e tecniche al momento della redazione; tuttavia, *ASERCOM* e le aziende associate non possono accettare alcuna responsabilità ed, in particolare, non possono presumere l'affidabilità delle misure - azioni o omissioni - adottate sulla base di tali raccomandazioni.

---