

6.13 Considerazioni sulle protezioni per i motori asincroni trifase

Si potrebbe supporre che motori progettati, dimensionati, installati, messi in funzione e sottoposti a manutenzione nel modo corretto non dovrebbero presentare problemi. Tuttavia queste condizioni raramente corrispondono alla realtà. I guasti che si verificano più frequentemente sui motori dipendono dalle condizioni specifiche di funzionamento.

Le statistiche mostrano che, ogni anno, bisogna calcolare un tasso di guasti che varia da 0,5% a 4%. La maggior parte deriva dal sovraccarico termico.

I difetti di isolamento provocano dispersione verso terra; i cortocircuiti tra le spire oppure negli avvolgimenti derivano dalle sovratensioni o da agenti inquinanti come umidità, olio, grasso, polvere o sostanze chimiche.

La tab. 6.18 mostra una panoramica sulle cause di guasti più frequenti nei motori asincroni trifase, i loro effetti e i possibili danni.

Cause	Effetti	Guasti possibili
Sovraccarico termico: Condizioni di avviamento estreme Rotore bloccato Sovraccarico di lunga durata Sottotensione Funzionamento intermittente non consentito	Sovracorrente e conseguente riscaldamento non consentito negli avvolgimenti	Gabbia del rotore dissaldata, avvolgimenti statorici bruciati
Problemi di raffreddamento: Raffreddamento limitato Temperatura ambientale troppo alta	Riscaldamento non accettabile	Avvolgimenti statorici bruciati
Cause elettriche: Avviamento monofase Tensione asimmetrica Cortocircuito verso terra Cortocircuito tra le spire Cortocircuito tra gli avvolgimenti	Asimmetria della sovracorrente, riscaldamento non accettabile a seconda della dimensione del motore e del carico	Avvolgimenti singoli o parti di avvolgimenti bruciati
Cause meccaniche: Equilibratura non assiale Trasmissione non assiale del motore Trasmissione del motore montata impropriamente (per esempio, carico dei cuscinetti troppo alto con cinghie trapezoidali)	Consumo non regolare dei cuscinetti	Danni ai cuscinetti

Tab. 6.18 - Cause, effetti e guasti possibili, per le avarie dei motori asincroni trifase.

In base alle norme, ogni costruttore di motori elettrici garantisce che, in condizioni normali di funzionamento, le parti critiche della macchina non subiscano un surriscaldamento eccessivo e che sovraccarichi di breve durata non abbiano alcuna influenza sul buon funzionamento del motore.

Il dispositivo per la protezione del motore deve permettere il pieno utilizzo della macchina e, di conseguenza, il corretto funzionamento del motore al suo rendimento massimo. Contemporaneamente esso deve tenere sotto controllo il sovraccarico termico, in modo da intervenire rapidamente.

I motori elettrici sono macchine che convertono l'energia elettrica assorbita in energia meccanica. Questa trasformazione è tuttavia accompagnata da perdite sotto forma di calore. Le perdite globali sono ottenute sommando le perdite delineate nelle righe che seguono.

Perdite indipendenti dalla corrente assorbita. Queste perdite sono praticamente costanti e sono presenti anche durante il funzionamento a vuoto. Sono le perdite nel ferro, che comprendono le perdite per isteresi magnetica e per correnti parassite, e le perdite meccaniche, dovute ad attrito e alla ventilazione.

Perdite dipendenti dalla corrente assorbita. Queste perdite variano in funzione del carico, cioè in funzione della corrente assorbita. Sono le perdite per effetto Joule nello statore e nel rotore. La potenza dissipata è proporzionale al quadrato della corrente, che è proporzionale, a sua volta, allo scorrimento del motore.

All'avviamento, il rotore del motore è bloccato e la corrente che circola nello statore, come riportato nella fig. 6.65a, è la massima corrente di avviamento pari a $4\div 8 I_n$.

La potenza complessiva è trasformata in calore e, di conseguenza, se il rotore rimane bloccato, la temperatura dell'avvolgimento dello statore e del rotore sale velocemente, in quanto una parte del calore non è trasmessa immediatamente al pacco lamellare. Nel caso in cui il motore non sia fermato in tempo, gli avvolgimenti dello statore e del rotore possono bruciarsi.

La parte di potenza trasformata in calore diminuisce con l'aumento della velocità. Una volta raggiunta la velocità nominale, la temperatura sale ulteriormente, secondo una curva esponenziale, mostrata nella fig. 6.65b, fino a raggiungere la temperatura di regime. Qualsiasi aumento della corrente assorbita genera dunque una temperatura finale più elevata.

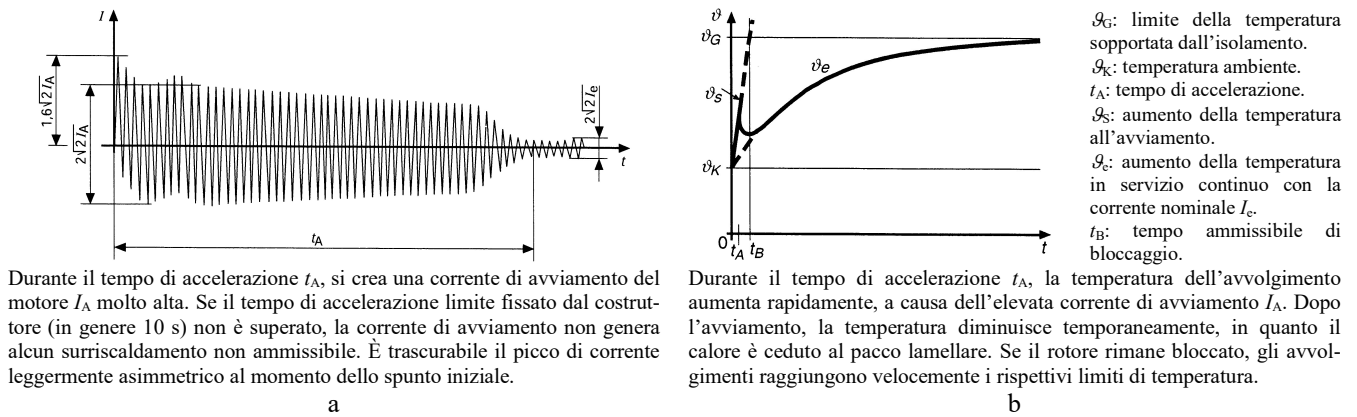


Fig. 6.65 - a) Inserzione di un motore asincrono a gabbia di scoiattolo con avviamento diretto - **b)** Variazione della temperatura nell'avvolgimento del motore (AB).

Vale la pena ricordare che, sotto l'aspetto termico, i motori elettrici non sono insiemi omogenei, perché l'avvolgimento, il ferro dello statore e il rotore presentano capacità e conducibilità termiche differenti. In seguito a carichi elevati, ma di breve durata, come dopo l'avviamento, si crea un certo equilibrio termico tra le diverse parti del motore. Il calore dell'avvolgimento è assorbito dal ferro più freddo fino al raggiungimento dell'equilibrio termico.

La temperatura massima ammissibile negli avvolgimenti e, quindi, la capacità di carico del motore sono determinate soprattutto dalla classe di isolamento degli avvolgimenti, come illustrato nel Capitolo 7.

La temperatura totale di funzionamento consentita dai materiali isolanti è composta dalla temperatura ambiente, dal limite di sovratemperatura e da una tolleranza al surriscaldamento. Quest'ultimo è un fattore di sicurezza, in quanto la misurazione della temperatura, effettuata attraverso la resistenza ohmica, non stabilisce il punto più caldo dell'avvolgimento.

Per temperature molto elevate, sono costruiti motori con isolamento speciale resistenti al calore, che possono erogare la potenza nominale anche con temperature ambientali elevate.

Un metodo di raffreddamento molto diffuso è l'autoventilazione attraverso l'aria dell'ambiente. I motori autoventilati trasmettono, attraverso un ventilatore montato sull'albero motore, una corrente d'aria nell'alloggiamento interno. Il compito di questo ventilatore è quello di rinnovare continuamente l'aria sulla superficie del motore.

Questo tipo di raffreddamento, che è comunque il più comune, utilizza l'aria dell'ambiente come agente di raffreddamento. La temperatura di quest'aria è chiaramente uguale a quella dell'ambiente che circonda il motore, ma l'efficienza del raffreddamento dipende anche dalla velocità di rotazione del motore.

I rotori dei motori a gabbia di scoiattolo, grazie alla loro costruzione molto semplice (senza isolamento), possono sopportare, in servizio continuo, temperature molto più elevate.

La durata di vita degli avvolgimenti può essere calcolata in circa 100000 h di funzionamento per tutte le classi di isolamento a regime termico raggiunto. Questo corrisponde a circa 12 anni di funzionamento continuo con carico nominale. L'invecchiamento dell'isolamento è come un processo chimico molto accelerato e dipende fortemente dalla temperatura.

In seguito al riscaldamento, una parte del materiale isolante evapora, dando luogo ad una porosità crescente che causa una diminuzione della rigidità dielettrica. Come valore indicativo vale quanto segue: se la temperatura di funzionamento è superiore di 10 K rispetto alla temperatura totale consentita dalla classe di isolamento, la durata di vita elettrica del motore si dimezza.

Questa considerazione indica che si deve prestare particolare attenzione alla temperatura nominale di servizio sui lunghi periodi, mentre brevi sovraccarichi termici non hanno praticamente alcuna influenza sulla durata di vita del motore.

I relè termici con compensazione della temperatura ambiente e regolari con la corrente nominale del motore devono essere progettati secondo quanto indicato dalle norme CEI e IEC, al fine di garantire tempi di intervento tali da preservare i motori dalle problematiche precedentemente accennate.

Mancanza di fase. Durante il funzionamento di un motore asincrono trifase, si può verificare la mancanza di una fase ovvero l'interruzione di un conduttore della linea di alimentazione. Il motore continua a funzionare con due fasi, danneggiandosi.

Una causa può essere, per esempio, l'intervento di un dispositivo di protezione come un fusibile. I motori piccoli e medi sono, nella maggior parte dei casi, a statore avvolto, per cui solo lo statore si può danneggiare. È necessario fare una distinzione tra motori con le fasi collegate a stella e a triangolo, come delineato nelle righe che seguono.

Motori con collegamento a stella (v. fig. 6.66a). Questi motori non si danneggiano in caso di mancanza di una fase, perché le correnti nell'avvolgimento sono, in questo caso, identiche a quelle che passano nei conduttori esterni che ci sia o non ci sia una mancanza di fase (v. fig. 6.66b).

L'aumento della potenza dissipata nei due avvolgimenti percorsi da corrente ha, inoltre, poca influenza sul riscaldamento del motore, poiché una certa compensazione della temperatura avviene con il terzo avvolgimento privo di corrente.

Un relè termico può rilevare la sovracorrente e disattivare il motore. In genere, il collegamento a stella non mette a rischio il motore.

Motori con collegamento a triangolo (v. fig. 6.66c). Nel collegamento a triangolo delle fasi, le correnti di fase, durante il funzionamento normale, hanno un valore di $1/\sqrt{3}$ volte più basso rispetto alle correnti di linea, ovvero $I_{STR} = 0,58 I_n$.

In caso di mancanza di fase, la corrente in un avvolgimento aumenta di circa il 50%, come mostrato nella fig. 6.66d. Nelle altre due fasi collegate in serie, la corrente si abbassa a circa il 67%. Questa situazione si verifica perché il motore mantiene praticamente costante la potenza disponibile all'albero.

L'aumento della corrente negli avvolgimenti in entrambi i conduttori esterni dipende dalla corrente dovuta al carico meccanico applicato.

In particolare, se i motori hanno una potenza nominale inferiore a 10 kW, non necessitano di protezioni speciali in caso di mancanza di fase, a condizione che il relè termico reagisca ad una corrente bifase uguale o inferiore a $1,25 I_n$.

In questo caso, il riscaldamento a seconda del carico, è per lo più uguale o di poco inferiore a quello generato da un carico simmetrico trifase. Per i motori collegati a triangolo, la cui potenza nominale è superiore a 10 kW, si raccomanda di utilizzare dei relè elettronici che rilevino la mancanza di fase (v. fig. 6.60) e che siano in grado, se necessario, di disattivare il motore.

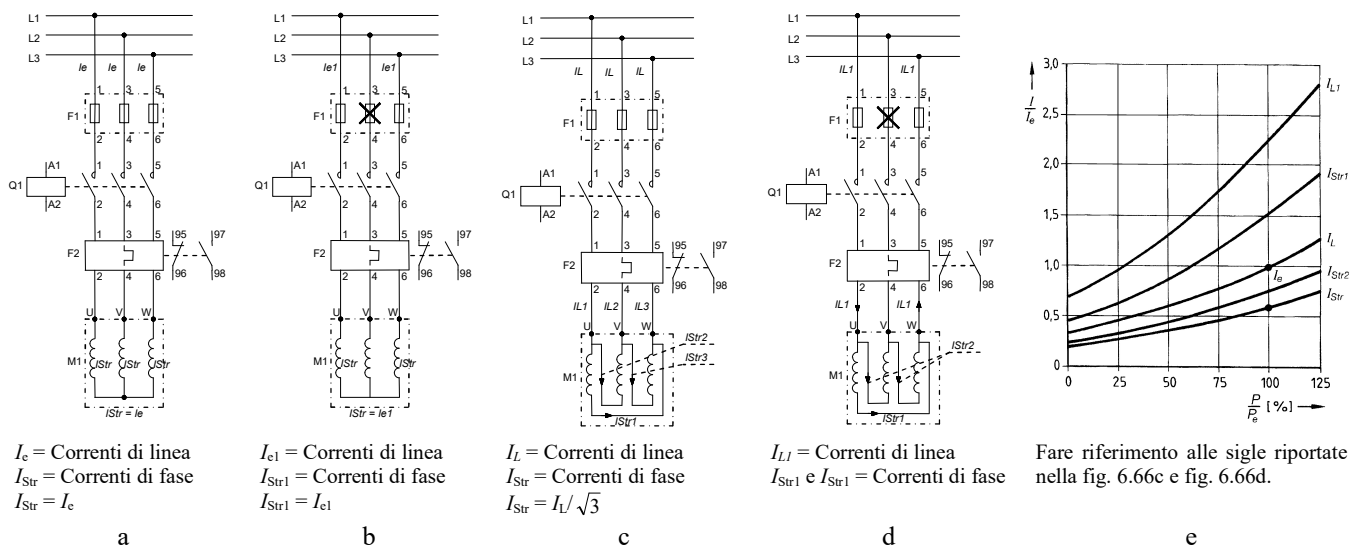


Fig. 6.66 - Collegamento del motore con le fasi: a) Collegate a stella. Funzionamento normale - b) Collegate a stella. Mancanza di una fase - c) Collegate a triangolo. Funzionamento normale - d) Collegate a triangolo. Mancanza di una fase - e) Caratteristica della corrente durante il funzionamento normale e il funzionamento difettoso in funzione del carico con le fasi collegate a triangolo (AB).

Asimmetria. Un altro motivo che porta al surriscaldamento e a una riduzione della durata di vita del motore è l'asimmetria delle tensioni di alimentazione. Infatti, la tensione concatenata e la tensione di fase nella rete di distribuzione possono non essere uguali. In questi casi, è necessario ridurre la potenza in uscita dal motore.

Le cause dell'asimmetria delle tensioni possono essere, per esempio, una rete di alimentazione con linee molto lunghe che portano ad elevate cadute di tensione, contatti difettosi degli interruttori automatici magnetotermici o dei contattori, morsetti di collegamento allentati, fusibili difettosi e, infine, guasti interni al motore (perdita di isolamento).

Un relè elettronico (v. fig. 6.60) di controllo dell'asimmetria può, se necessario, disattivare il motore, evitando, così, pericolosi surriscaldamenti.

Dispersione verso terra. Un'altra causa di guasti è il danneggiamento dell'isolante, provocato, per lo più, da momentanee sovratensioni, che causano frequentemente cortocircuiti della macchina verso terra. Queste sovratensioni sono dovute, spesso, a scariche di fulmini, commutazioni di rete, scariche di condensatori, al funzionamento di apparecchi elettronici di potenza.

Altre cause sono l'invecchiamento e il sovraccarico continuo o intermittente, così come le vibrazioni meccaniche e la penetrazione di corpi estranei. Anche un difetto di isolamento può portare ad una dispersione di corrente verso terra.

Massima corrente e blocco del rotore. Durante il verificarsi di una condizione di massima corrente o di blocco del rotore, è necessaria l'interruzione immediata del sistema, per evitare inceppamenti meccanici e sovraccarichi termici sugli elementi del motore e sul sistema di trasmissione della potenza.

È possibile rilevare e segnalare la presenza di un sovraccarico lento (per esempio, la rottura di un cuscinetto), al fine di evitare rischi di incidenti e la perdita di produzione, riducendo, in questo modo, le conseguenze degli incidenti e i cali di produzione.

La funzione di protezione è attivata dopo il raggiungimento della velocità di regime e il funzionamento a carico nominale del motore. Essa è applicata, per esempio, a nastri trasportatori, miscelatori, betoniere, frantoi e seghe.

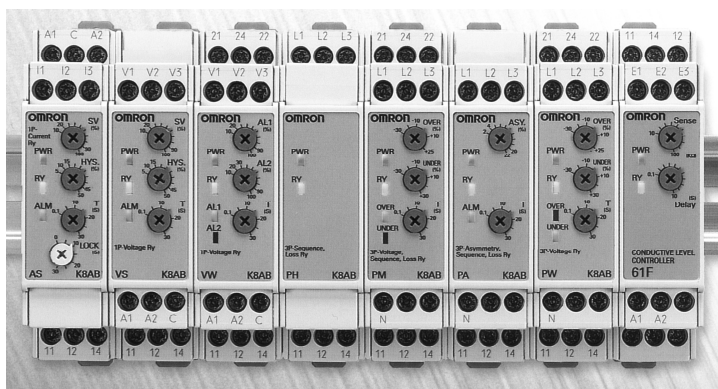
Carico ridotto (minima corrente). I motori che sono raffreddati dal mezzo stesso che mettono in movimento (per esempio, pompe sommerse e ventilatori) possono essere sottoposti ad un surriscaldamento in caso di perdita di carico (per esempio, filtri ostruiti o saracinesche chiuse). In molti casi, queste macchine sono installate in luoghi difficilmente accessibili, che portano a tempi di riparazione lunghi e costi relativamente elevati. Valori di corrente assorbiti al di sotto della corrente nominale di funzionamento del motore possono indicare anche la presenza di guasti meccanici nell'impianto (nastri trasportatori lacerati, pale di ventilatori guaste, giunti difettosi, alberi spezzati o attrezzature usurate).

Queste condizioni non mettono in pericolo il motore, ma comportano una diminuzione della produzione. L'identificazione rapida e tempestiva di questi malfunzionamenti aiuta a contenere i danni. L'intervento per la protezione dal carico ridotto o minima corrente deve essere ritardato allo scopo di disporre di tempo sufficiente, dopo l'avviamento, per l'apertura di una valvola o di una saracinesca, che potrebbe essere rimasta chiusa per varie motivazioni. Queste protezioni sono applicate a pompe sommerse, ventilatori, nastri trasportatori e sistemi di trasmissione meccanici.

Protezione contro l'inversione di fase. Il controllo della sequenzialità delle fasi sulla rete di distribuzione è utile per la protezione del motore, che non deve invertire il senso di rotazione. Si distinguono i seguenti due metodi:

- monitoraggio continuo, con il quale la tensione nominale di rete è controllata costantemente e, in caso di inversione di fase, è impedito l'avviamento del motore;
- reazione solo dopo l'avviamento, con la quale il relè di protezione reagisce solo dopo che il motore è stato avviato e quando è possibile rilevare la corrente in circolazione.

È bene sottolineare che un motore con avviamento lungo che potrebbe avviarsi con senso di rotazione errato e, quindi, danneggiarsi necessita di un tempo di risposta molto rapido.



Legenda (da sinistra).

K8AB-AS. Controllo di corrente monofase AC/DC.

K8AB-VS. Controllo di tensione monofase AC/DC.

K8AB-YW. Controllo di tensione monofase AC/DC (due allarmi).

K8AB-PH. Controllo trifase, sequenza e mancanza di fase.

K8AB-PM. Controllo sovra/sottotensione, mancanza di fase, sequenza fase per reti trifase o trifase con neutro.

K8AB-PA. Controllo sequenza fasi, mancanza di fase ed asimmetrie trifase.

K8AB-PW. Controllo di sovra/sottotensione per rete trifase.

61F. Regolatore di livello per liquidi conduttivi.

Fig. 6.67 - Esempi di relè di controllo e misura per montaggio su guida DIN per il controllo della corrente, della tensione monofase e trifase (Omron).

Controllo del tempo di avviamento. Il tempo di avviamento è controllato. Se l'avviamento non termina entro il tempo preselezionato, la macchina può essere fermata. Questa procedura di controllo è indipendente dallo stato termico del motore.

Questo tipo di protezione è applicato a impianti che richiedono un carico elevato oppure che rilevano, già in fase di avviamento, il bloccaggio della macchina, per evitare gravi danni. Le possibili cause di un ritardo all'avviamento sono: sistemi sovraccaricati e cuscinetti o elementi di trasmissione difettosi.

Bloccaggio durante l'avviamento. Se il motore si blocca durante la fase di avviamento, dopo che il tempo di bloccaggio permesso è finito, esso si surriscalda molto rapidamente e raggiunge la temperatura limite dell'isolamento.

I grossi motori a bassa tensione, e soprattutto i motori in media tensione, hanno tempi di bloccaggio consentiti molto brevi, ma possono effettuare avviamenti significativamente lunghi. Per garantire l'avviamento, il tempo di bloccaggio deve essere spesso aumentato.

Grazie a un trasduttore di velocità esterno (per esempio, un encoder incrementale) oppure mediante un sensore di movimento, il relè di controllo riconosce il bloccaggio e arresta immediatamente il motore. In questo modo, in caso di bloccaggio, il motore e il sistema non sono sottoposti a nessuno stress.

Questo tipo di protezione è applicato a grossi motori a bassa tensione, motori in media tensione, impianti di trasporto, mescolatori, betoniere, frantoi, seghe, gru edili e ponti elevatori.

Controllo della commutazione per l'avviamento stella-triangolo. Poiché la corrente del motore è costantemente controllata, è possibile effettuare il controllo di temporizzazione per un avviamento stella-triangolo indipendente dal carico.

Cortocircuito. Il cortocircuito, le cui cause sono difetti di isolamento o guasti di natura meccanica, è sempre caratterizzato dal passaggio di una corrente elevata e l'importanza dei guasti aumenta proporzionalmente alla sua durata. Di conseguenza, è di estrema importanza rilevare il più rapidamente possibile qualsiasi cortocircuito e arrestare immediatamente, con dei fusibili oppure con un interruttore automatico, il motore.

Protezione dei motori ad anelli. I motori ad anelli non corrono rischi termici neanche con ripetuti avviamenti. Le perdite di calore all'avviamento sono trasmesse alle resistenze di avviamento poste all'esterno del motore. Fondamentalmente, i motori ad anelli a ventilazione autonoma sono più facili da proteggere rispetto ai normali motori a gabbia di scoiattolo, in quanto non si verificano grossi spostamenti di correnti, a meno che non siano fatti funzionare per lungo tempo a scorrimento elevato.

Nel motore ad anelli, sono presenti materiali isolanti sensibili alle temperature, non solo nello statore ma anche nel rotore. Il tempo di intervento è dunque determinato dalla parte termicamente più debole. I moderni relè termici elettronici proteggono anche i reostati di avviamento dal sovraccarico termico.

Protezione dei motori a doppia velocità. I motori a doppia polarità sono realizzati con avvolgimenti separati oppure con avvolgimenti con collegamento Dahlander. Questi avvolgimenti si trovano, in parte, nelle stesse cave e sono strettamente accoppiati da un punto di vista termico, se non addirittura identici. In servizio continuo, gli avvolgimenti dell'una e l'altra sezione si scaldano contemporaneamente e raggiungono entrambi la stessa temperatura. Per la protezione di questi motori, è necessario impiegare, per ogni velocità, un relè termico separato.

Questo metodo ha tuttavia lo svantaggio che, nella commutazione da una velocità all'altra, il secondo apparecchio per la protezione (relè termico) non rileva lo stato termico di esercizio dell'altro. Solo dopo un determinato periodo di funzionamento, il relè termico si riscalda e protegge correttamente il motore. La simulazione corretta della temperatura e una conseguente protezione più sicura sono possibili nel caso in cui l'apparecchio per la protezione offra due diverse regolazioni di corrente e rilevi le correnti del motore in base alle due polarità.

Protezione di motori asincroni trifase con rifasamento. Durante il rifasamento singolo, i condensatori richiesti per la potenza reattiva di rifasamento sono direttamente connessi ai morsetti del motore. In questo modo, il motore e i condensatori sono accesi e spenti contemporaneamente.

La linea di alimentazione della rete e gli apparecchi di comando e di protezione trasmettono esclusivamente la corrente rifasata, in quanto la corrente reattiva circola in prevalenza solo tra condensatori e motore. Il relè termico deve essere regolato con la corrispondente corrente rifasata (di valore inferiore) e non con la corrente nominale di funzionamento.

Nel rifasamento di gruppo o centralizzato, il relè termico trasmette la stessa corrente (non rifasata) del motore e, di conseguenza, deve essere regolato in base alla corrente nominale di funzionamento di quest'ultimo.