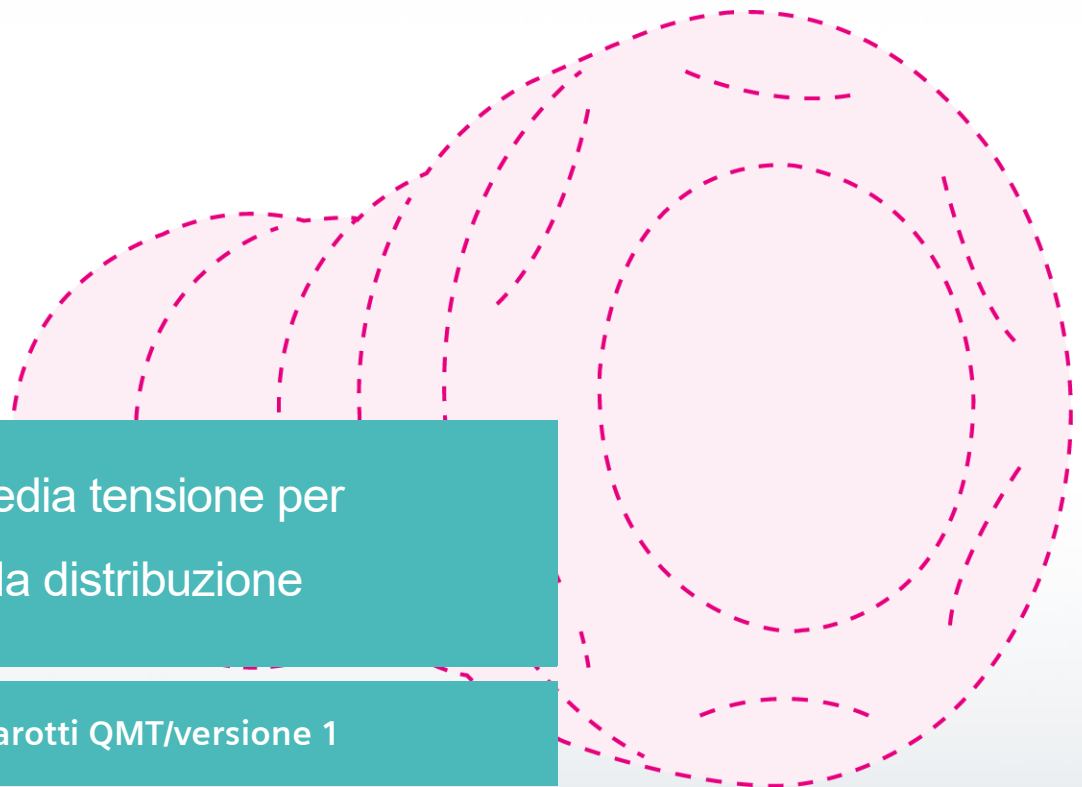


SIEMENS



Quadri di media tensione per
l'industria e la distribuzione

Di Roberto Zanarotti QMT/versione 1

[siemens.it](https://www.siemens.it)

Siemens S.p.A.

Contact: roberto.zanarotti@siemens.com



Recenti cambiamenti negli standard di riferimento per i quadri di media tensione, suggeriscono di sintetizzare le novità e fare alcune riflessioni sui requisiti dei prodotti disponibili sul mercato e sulle loro applicazioni.

INTRODUZIONE

Negli ultimi dieci anni i quadri di MT hanno subito profondi cambiamenti costruttivi e anche le norme relative hanno conosciuto evoluzioni significative. Così le norme della serie IEC 60298, tra il 2003 e il 2007, sono state progressivamente sostituite dalla nuova serie IEC 62271. Inoltre, nel 2011, la nuova IEC/EN/CEI 62271-200 è stata pubblicata in seconda edizione introducendo, fra l'altro, una diversa classificazione delle unità funzionali.

La presente memoria mette a fuoco le maggiori novità normative accompagnandole con alcune riflessioni sulla necessità di alcuni specifici requisiti, richiesti dalle nuove norme per tenere conto dei cambiamenti intervenuti, sia dalla parte del carico (impianti ad alta efficienza, generazione distribuita), sia dalla parte della rete con il moltiplicarsi ad esempio delle cabine di trasformazione inserite direttamente negli edifici.

LE TECNOLOGIE

Sin dagli anni 1970 i quadri di Media Tensione (QMT nel seguito) sono testati con prove di tipo in accordo alla normativa e collaudati dai costruttori che assicurano, attraverso il processo di controllo di qualità della produzione, la costruzione a regola d'arte e quindi la sicurezza per gli utilizzatori grazie anche alla presenza d'interblocchi di sicurezza per la protezione contro il contatto diretto.

Nella costruzione dei QMT si è adottato, inizialmente, l'isolamento misto: aria/solido. Gli isolanti solidi però invecchiano per sollecitazione termica, per effetto del campo elettrico e delle scariche parziali. La ricerca ha quindi portato a realizzare, all'inizio degli anni '80, i primi quadri di media tensione isolati in SF₆ (Gas Insulated Switchgear - GIS). In questi quadri l'arco elettrico, che si sviluppa durante le manovre di manovra di un circuito, viene confinato ed estinto in camere sottovuoto; il gas SF₆ è usato per isolare il sistema ed è contenuto in capsule sigillate per saldatura e totalmente prive di guarnizioni. In questa maniera tutto il circuito di potenza è separato dall'ambiente esterno e non è quindi influenzato dalle condizioni climatiche: temperatura, umidità e inquinamento. I quadri sono prodotti in unità funzionali modulari che possono essere assiemate in cantiere, per ottenere le

configurazioni necessarie, senza necessità di operare con il gas.

I quadri GIS, proprio perché non influenzabili dalle condizioni climatiche, possono essere usati in ambienti difficili come miniere, aree portuali, metropolitane, zone fortemente inquinate e sono fornibili con tutte le taglie di interruttori oggi sul mercato anche per i più elevati valori di corrente termica nominale e di corto circuito.

I SISTEMI DI DISTRIBUZIONE MT E I QMT

I sistemi di distribuzione di media tensione possono essere suddivisi in due tipologie principali:

- **distribuzione primaria:** è la tipica distribuzione per l'industria pesante, quale quella del settore siderurgico, petrolifero, o chimico. L'alimentazione proviene da uno o più trasformatori AT/MT e spesso da generatori di produzione interna allo stabilimento stesso. E' caratterizzata da elevate correnti nominali (tipicamente da 2000-2500 A fino a 5.000 A) e di guasto (tipicamente 31,5 kA fino a 40kA, a volte 50 kA). In ragione della criticità delle utenze alimentate, richiede scelte progettuali e costruttive molto affidabili per assicurare una elevata continuità di servizio: ogni interruzione dell'alimentazione ha grossi impatti economici sia per la mancata produzione sia per possibili danni al processo produttivo e al macchinario. Gli schemi di rete sono studiati per garantire livelli di ridondanza elevati. Elevati requisiti di affidabilità sono richiesti anche per i quadri MT: quasi tutti gli scomparti sono dotati di interruttori con relè di protezione separati. In ragione delle elevate correnti in gioco e dell'elevata frequenza di manovra (in particolare per motori e forni) sono praticamente assenti i fusibili e i sezionatori sotto carico. Spesso nei siti industriali sono presenti due livelli di media tensione: uno più elevato (20,30 o 33 kV) per la distribuzione di grandi potenze su distanze di molte centinaia di metri, e uno inferiore (3 o 6 kV) per l'alimentazione dei motori di potenza superiore ai 250-500 kW. Vi sono poi applicazioni particolari, come ad esempio le ferrovie ad alta velocità, dove sono richieste soluzioni mono o bifase. Nella distribuzione primaria rientrano anche le sottostazioni AT/MT dei distributori di energia che presentano correnti normali e di guasto più contenute rispetto a quelle sulle reti industriali: la tensione "normalizzata" in Italia è 20 kV, anche se sono ancora presenti, per motivi storici, reti a 8,4 -10 - 15 - 20 - 22 - 23 e 30kV).
- **distribuzione secondaria:** un sistema di distribuzione secondaria è alimentato dal distributore di energia, per cui deve essere dimensionato sulla base delle caratteristiche della rete di alimentazione. E' articolata per lo più su schemi di distribuzione di tipo semplice radiale, il più delle volte con livelli di ridondanza limitati. Le correnti nominali raramente arrivano a 1.250 A (valore tipico 630 A), con correnti di guasto il più delle volte inferiori a 20 kA (tipico 16 kA). Per quanto concerne i quadri MT sono ampiamente diffuse le unità funzionali equipaggiate con sezionatore e fusibile per partenze verso trasformatori di bassa potenza (160-250 kVA), considerato che il numero di manovre è limitato a poche manovre/anno.

PRESTAZIONI DEI QUADRI DI MEDIA TENSIONE

Nuove esigenze e nuovi requisiti

Oggi, in tutti i settori, predomina l'esigenza di minimizzare l'attività di manutenzione. I nuovi QMT isolati in SF6, che si caratterizzano come componenti del tipo "maintenance free", sono da questo punto di vista molto apprezzati dal mercato.

Per migliorare l'affidabilità sono state sviluppate le soluzioni GIS con interruttore "fisso", anziché estraibile (soluzione questa estremamente diffusa nella distribuzione industriale). Essendo fisso, quindi non agevolmente sostituibile, l'interruttore deve avere necessariamente ottime doti di affidabilità e la capacità di fare un numero di manovre elevato, così da poter essere particolarmente indicato nella gestione dei moderni sistemi di distribuzione: si pensi alla migliore conduzione di un impianto fotovoltaico che richiede lo "spegnimento" dell'impianto di notte e la "riaccensione" al sorgere del sole, il che equivale a circa mezzo migliaio di manovre l'anno.

Nella prospettiva della prossima trasformazione della rete di distribuzione da "classica" in "smart", i QMT dovranno essere anche di dimensione estremamente ridotta per la necessità di avvicinare ancora di più la trasformazione MT/BT al carico, e quindi dovranno essere ubicati sostanzialmente dentro l'edificio. La prossimità con il pubblico impone più elevati standard di sicurezza: di fatto diventa "obbligatoria" anche la tenuta all'arco interno e l'utilizzo di materiali con basso o nullo carico di incendio.

Con le forme costruttive attuali i quadri isolati in gas, oggi presenti sul mercato, possono coprire le esigenze sia della distribuzione primaria sia della secondaria: sono infatti disponibili GIS dimensionati per correnti di corto circuito sino a 40kA e correnti nominali sino a 2500 A (5000 A sulle sbarre). Solo in casi particolarmente critici, quali quelli che si possono riscontrare in grossi impianti industriali (tipicamente sul livello di tensione 6kV con correnti nominali di 3150 A e correnti di corto circuito di 50kA), la loro applicazione non è possibile e bisogna utilizzare i quadri isolati in aria.

E' evidente che una corretta progettazione dell'impianto elettrico, con un'attenta suddivisione dei carichi e la scelta di schemi di ridondanza adeguati, può consentire l'impiego di soluzioni tecnologiche standard, senza superare i valori previsti dai prodotti "di serie", e sovente con un risparmio anche nei costi di investimento.

Elevata Affidabilità e Impatto sulla progettazione

Sia gli interruttori sottovuoto sia i quadri isolati in gas presentano oggi elevati indici di affidabilità; valori tipici della frequenza di guasto per anno sono:

- interruttori sottovuoto $\lambda = 8210^{-6}$
(corrispondente a 1 guasto ogni 12.200 anni)
- scomparto MT in gas $\lambda = 5210^{-6}$
(corrispondente a 1 guasto ogni 19.300 anni)

Probabilità di guasto così basse, comprovata da centinaia di migliaia di anni-equivalenti di funzionamento, unite a esigenze manutentive ridotte, comportano alcune conseguenze impiantistiche interessanti che possono

portare a rivedere il progetto dei sistemi di distribuzione in ambiente industriale.

Infatti:

- non è più strettamente necessario prevedere quadri con interruttori estraibili, perché il guasto dell'interruttore o la necessità di interventi manutentivi importanti possono essere trascurati, se si prevede l'uso di QMT del tipo GIS;
- l'esigenza di un doppio sistema di sbarre per aumentare la disponibilità dell'alimentazione viene meno, essendo quasi scomparso il guasto sull'interruttore e di fatto scomparso il guasto sulle sbarre vista la struttura costruttiva a sbarre isolate dei quadri in gas e non essendovi esigenze manutentive periodiche su nessun compartimento (solo ispezioni nel lungo periodo);
- il sistema di protezioni dei quadri può essere semplificato e limitato alla protezione dai guasti sulle utenze. In pratica si può valutare l'eliminazione dei complicati sistemi differenziali di sbarra (87SB) che, a volte, hanno nel passato causato disservizi dei quadri da loro teoricamente protetti.

Caratteristiche dei nuovi quadri

L'industria ha anticipato, in qualche modo, le caratteristiche proprie dei QMT di tipo GIS, oggi presenti sul mercato. Doti di elevata affidabilità, elevati endurance e standard di sicurezza erano infatti già richiesti per i quadri delle precedenti generazioni.

La soluzione costruttiva con interruttore estraibile nasce dalla necessità di assicurare continuità dell'alimentazione ai processi industriali che lavorano su cicli continui (tipici sono i settori petrolifero e chimico): la continuità del processo produttivo è strettamente legata all'affidabilità (reliability) e alla disponibilità (availability) dell'alimentazione elettrica. Per aumentare la disponibilità è molto efficace ridurre i tempi di riparazione dei guasti (MTTR - tempo medio di riparazione), riduzione conseguibile anche utilizzando interruttori estraibili e schemi doppio radiale. Per contro la soluzione estraibile richiede un numero più elevato di componenti rispetto alla soluzione fissa: di conseguenza le eliminazioni di parti e la semplificazione del sistema ne migliorerà la disponibilità. Così in un QMT in esecuzione fissa sono eliminati gli otturatori, il sistema di scorrimento dell'interruttore, gli interblocchi, i contatti mobili, i contatti striscianti di terra, le segnalazioni di posizione della parte estraibile, ecc.

I QMT isolati in GIS presentano anche una maggiore economicità d'impiego rispetto ai QMT isolati in aria (AIS - Air Insulated Switchgear) con interruttore estraibile. Nel valutare il costo di un quadro elettrico si è portati a considerare solo l'investimento iniziale; il quadro deve però poi essere sistemato in un locale, collegato ai carichi e al controllo di processo. I QMT tipo GIS presentano dimensioni ridotte di circa un terzo rispetto agli equivalenti QMT AIS: possono quindi essere collocati in locali piccoli, più in prossimità del carico. Sono oggi disponibili sul mercato unità funzionali con interruttore da 7,2kV, 31,5 kA di cortocircuito e 2500 A di corrente nominale con dimensioni: 600mm di fronte, 1100 mm di profondità e 2250mm di altezza.

Anche lo spazio libero sul fronte del quadro è ridotto, perché la soluzione con interruttori estraibili obbliga ad

aumentare le dimensioni delle vie di fuga oltre allo spazio necessario ad aprire la portella del QMT.

Infine l'utente industriale chiede sempre, non solo per gli apparati di processo, ma anche per le apparecchiature dell'impianto elettrico, interfacce "user friendly". Questa specificità è molto semplice da realizzare nei QMT con interruttori in esecuzione fissa, contro la maggior complessità invece del pannello di controllo dei QMT con interruttori in esecuzione estraibile: e questo è molto apprezzamento da parte degli operatori del quadro.

LA NUOVA NORMA IEC/EN/CEI 62271-200

La precedente norma IEC 60298 definiva tutti i quadri elettrici metallici come quadri "metal enclosed" ("quadro protetto"), caratterizzati poi da diverse forme costruttive in funzione dei diversi gradi di separazione fra le parti attive.

Il quadro caratterizzato dalla presenza di segregazioni metalliche tra il compartimento sbarre, il compartimento cavi e il compartimento apparecchio di interruzione prendeva il nome di quadro "metal clad" ("quadro blindato"): questa forma costruttiva permetteva di tenere in tensione le sbarre e accedere agli apparecchi, minimizzando gli impatti sull'impianto e i tempi di manutenzione.

La nuova norma IEC CEI EN 62271-200, definisce un numero doppio di tipologie costruttive, per le unità funzionali che compongono i quadri.

Le unità funzionali con involucro metallico sono classificate sulla base dei seguenti criteri:

- continuità di servizio in caso di manutenzione sull'apparecchiatura;
- necessità o meno di eseguire manutenzione sulle unità funzionali;
- riduzione del rischio per le persone e l'edificio
- riduzione del costo della manutenzione.

La norma introduce il concetto di "*perdita di continuità di servizio*" (LSC-"Loss of Service Continuity") che classifica le unità funzionali dei quadri in funzione di quanto incide, sulla continuità d'esercizio, l'effetto dell'accesso a una parte qualsiasi dello scomparto per ispezione o manutenzione.

Il quadro acquisisce le proprietà delle unità funzionali da cui è formato e il progettista deve porre attenzione a come compone il QMT.

La norma definisce di base due classi LSC1 e LSC2:

- LSC1: durante l'ispezione o la manutenzione, il servizio dello scomparto e di tutto l'impianto è interrotto; anche il semplice accesso ai cavi comporta l'interruzione del servizio; l'uso di queste unità funzionali è destinato ad applicazioni che accettano questa limitazione.
- LSC2: aprendo il compartimento cavi, le sbarre possono rimanere in tensione garantendo la continuità d'esercizio alle altre unità funzionali facenti parte del quadro. L'unità funzionale definita LSC2 non deve avere altri compartimenti o apparecchiature accessibili oltre a quello di connessione e al compartimento sbarre. (Sono in genere i QMT interamente isolati in gas esenti da manutenzione che assicurano il massimo grado di continuità d'esercizio).

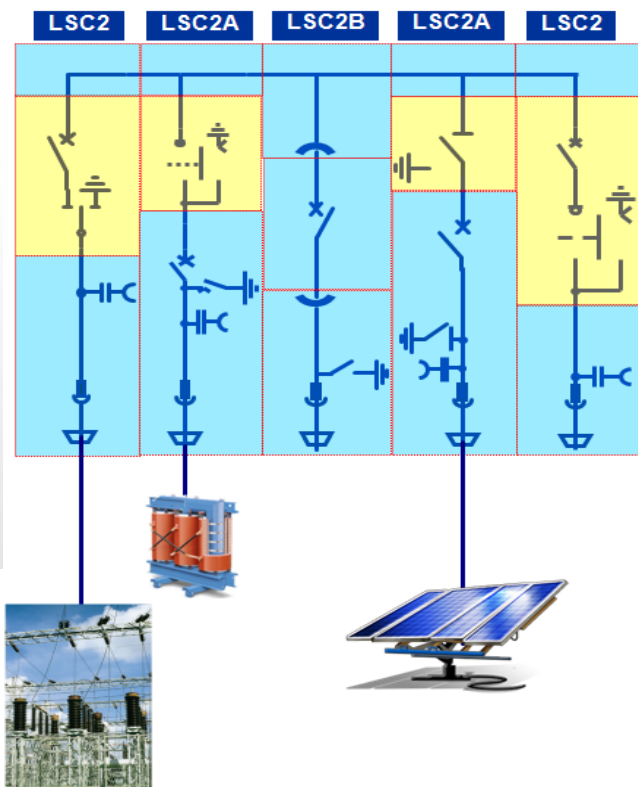
Le unità funzionali classificate LCS2 qualora abbiano altri compartimenti accessibili oltre al compartimento sbarre e quello di connessione (sono ad esempio i QMT non interamente isolati in gas) si classificano ulteriormente in:

- LSC2A: rispetto alla categoria LSC2, la categoria LSC2A ha altri compartimenti (o apparecchi) accessibili e quando si accede a uno di questi, le sbarre possono rimanere in tensione, mentre il compartimento interruttore e cavi sono fuori servizio;
- LSC2B: rispetto alla LSC2, la categoria LSC2B ha altri compartimenti (o apparecchi) accessibili e quando si accede a uno di questi, le sbarre e anche i cavi possono rimanere in tensione. Il grado di continuità d'esercizio dell'impianto aumenta perché non si coinvolge nella manutenzione l'eventuale altro QMT attestato al cavo in partenza.

Come si può capire facilmente quando si scelgono le categorie LSC2, LSC2A e LSC2B, l'impatto delle operazioni di manutenzione sull'operatività dell'impianto è più contenuto.

La fig. 1 rappresenta schematicamente un quadro di media tensione, composto da cinque unità funzionali, realizzato utilizzando tutte le categorie LSC, con diversi gradi di continuità d'esercizio. Le segregazioni tra i compartimenti sono evidenziate in rosso, le parti isolate in gas in giallo e le parti isolate in aria in azzurro.

Figura 1 - Classificazione delle unità funzionali sulla base dei criteri "Loss of Service Continuity"



Nello schema illustrato è possibile fare manutenzione al trasformatore o al compartimento connessione tenendo in esercizio il resto del quadro.

Una ulteriore classificazione concerne le segregazioni interne alle unità funzionali del quadro e gli eventuali otturatori, nella norma "partizioni" (dall'edizione originale inglese "partitions" e in origine dal latino "partitio"); così esse sono classificate:

- PM se le partizioni sono metalliche (si deve verificare la continuità tra le parti metalliche assemblate con il passaggio di 30 A cc ed una caduta di tensione non superiore a 3 V verso il punto di terra);

- PI se le partizioni non sono metalliche (si può dire che dunque sono isolanti).

Il tipo di prova imposta sulle partizioni PM e il fatto che il metallo non degrada mentre gli isolanti organici invecchiano rendono i QMT con segregazioni PM più affidabili dei QMT con segregazioni PI : i QMT PM mantengono meglio nel tempo l'efficacia del sistema isolante, hanno bisogno di intervalli più lunghi di manutenzione e presentano un ridotto carico all'incendio.

QUADRI A TENUTA D'ARCO INTERNO (IAC: Internal Arc Classified).

La nuova norma classifica il quadro a tenuta d'arco interno con l'acronimo IAC ("Internal Arc Classified"). La qualifica IAC si completa poi con una sigla che definisce il tipo di ambiente al quale è destinato il quadro, i lati del quadro che garantiscono la protezione, il valore della corrente di guasto e la sua durata come riportato in Tabella 1, esempio: IAC AFLR 16kA 1s.

Tabella 1 - Classificazione quadri tenuta d'arco interno

| Acronimo | Classificazione IAC |
|------------|---|
| IAC | Classificazione dell'arco interno (Internal Arc Classified) |
| A | Tipo di Accessibilità: Distanza degli indicatori di 300 mm, ossia installazione in vani con accesso per personale autorizzato, cabine elettriche chiuse |
| B | Tipo di Accessibilità: Distanza degli indicatori di 100 mm, ossia installazione con accessibilità per personale generico o pubblico |
| C | Tipo di Accessibilità per quadri montati su palo: indicatori al di sotto del palo in una superficie di (3x3)m ² . |
| FLR | Accesso da: davanti (F = fronte), dai lati (L = lato) e da dietro (R = retro) |
| I | Corrente di prova = corrente di apertura di cortocircuito nominale (in kA) |
| t | Durata dell'arco interno (in secondi) tipicamente t=1s |

Per la qualifica dell'arco interno i quadri devono ovviamente essere sottoposti a prove in conformità alla nuova norma; il numero massimo degli scomparti ammesso per la prova (in genere due o eventualmente tre unità) nonché la nuova modalità d'iniezione dell'energia elettrica di alimentazione dell'arco interno hanno reso considerevolmente più severi i requisiti definiti per le unità. Tutti i quadri certificati a norma CEI-EN 62271-200 devono soddisfare, senza eccezioni, tutti e cinque criteri imposti dalla prova d'arco interno.

Oggi sono disponibili sul mercato quadri conformi alla qualifica IAC A FLR per correnti di cortocircuito fino a 50 kA e tempi di cortocircuito di un secondo.

Oltre alla nuova classificazione per i quadri IAC la norma contiene anche una guida per la scelta del QMT: così al paragrafo 8.104.4 la norma recita che *“la probabilità che si verifichi un arco interno deve essere affrontata con l’obiettivo di eliminare il rischio per il personale specializzato e per il pubblico.”* Al paragrafo 8.3 sono anche elencate le cause che possono provocare l’arco interno, quali: errata installazione, cedimento dell’isolamento, errata manovra, corrosione, cortocircuito sul lato bassa, tensione per i trasformatori di tensione, manutenzione insufficiente, errore del personale, invecchiamento elettrico, inquinamento, umidità, ingresso di polvere, insetti, sovratensioni.

Si tratta per la maggior parte di cause che possono essere minimizzate utilizzando QMT con isolamento in GAS, classificati PM (quindi con trascurabile utilizzo di resina) e con isolatori passanti protetti dal contatto con l’ambiente esterno e quindi esenti dal fenomeno delle scariche superficiali dovuto al deposito di materiali inquinanti.

UNITA' FUNZIONALI QMT EQUIPAGGIATE CON CONTATTORI

I contattori di media tensione sono molto utilizzati in ogni settore industriale, con utilizzi tipici per partenze motori, frenatura o inversione di motori, manovre frequenti di trasformatori o di reattori, manovre su forni o banchi di condensatori.

Il contattore apre la corrente di carico, stabilisce la corrente di corto circuito ma non la apre, da cui la necessita di combinarlo con fusibili per la protezione contro il corto circuito. In posizione di aperto non garantisce la distanza di sezionamento che può essere ottenuta con un’installazione su carrello estraibile.

I contattori standard di media tensione oggi sul mercato utilizzano come mezzo di estinzione dell’arco sia il vuoto (la maggior parte) sia il gas SF6: sono costruiti con grado di protezione IP00, da 1 kV fino a 12 kV secondo lo standard EN 62271-106, standard che riporta anche le categorie di utilizzo (AC-1, AC-2, AC-3, AC-4).

I contattori nella esecuzione sottovuoto hanno un’endurance che raggiunge 1 milione di manovre elettriche o 3 milioni di manovre meccaniche; essi assicurano elevata disponibilità grazie all’esercizio esente da manutenzione.

I contattori in vuoto sono equipaggiati con attuatore con magneti permanenti in esecuzione fissa o sezionabile, per quadri isolati in aria o anche in versioni speciali per quadri isolati in gas. La ritenuta può essere elettrica o meccanica, il valore della corrente strappata è contenuto (uguale o inferiore a 0,5 A).

I contattori con camera di estinzione in SF6 sono disponibili fino a 12 kV, realizzati con i tre poli integrati in un involucro, in esecuzione fissa ed estraibile, con ritenuta magnetica o aggancio meccanico. L’endurance standard per questi contattori è di 100.000 manovre meccaniche, si può arrivare fino a 300.000 manovre.

Sopra il livello 12 kV oggi sono disponibili anche contattori in vuoto per l’esercizio sino a 24 kV. Nati nel 1998 per la trazione (nel progetto Transrapid MAGLEV realizzato a Shanghai) sono oggi utilizzabili per tutte le applicazioni. Sono in grado di gestire fino a un milione di cicli di funzionamento e sono usati sovente per manovrare con

telecontrollo motori a 13.8kV o banchi di rifasamento a 24kV.

L’unità funzionale “contattore” è oggi disponibile sul mercato anche in esecuzione GIS fino a 15 kV, 31.5 kA 3 s, 450 A e fino a 24 kV, 25 kA 3 s, 450 A, con elevato numero di manovre (da 100.000 a 500.000).

La costruzione tipica prevede: protezione da cortocircuito con fusibili, camera d’estinzione dell’arco in vuoto incapsulata in contenitore ermetico in acciaio inox, sigillato con saldatura, partenza cavo equipaggiata eventualmente con limitatori di sovratensioni.

CONCLUSIONI

Oggi i quadri di media tensione sono prodotti più sicuri e con disponibilità (continuità d’esercizio) più elevata rispetto al passato. Nell’esecuzione con isolamento in gas (GIS) queste caratteristiche si conservano nel tempo, senza la necessità di manutenzione periodica (solo ispezioni). Con i GIS l’industria può semplificare gli schemi e contenere i costi dell’investimento e del ciclo di vita; solo in impianti con corrente di guasto superiori a 31.5 kA è ancora necessario ricorrere ai QMT isolati in aria che però devono essere sottoposti a regolari cicli di manutenzione. La tenuta all’arco interno, per norma facoltativa ma per buona progettazione e buon senso obbligatoria, è un requisito che con i nuovi quadri può essere soddisfatto in maniera più semplice ed economica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ansgar Müller: “Mittelspannungstechnik Schaltgeräte und Schaltanlagen”, Edizione 19D0 • 2005-07 Siemens AG
- [2] Paolo Pinceti: “L’impianto di distribuzione in media tensione. Fondamenti e soluzioni per la distribuzione secondaria”, Edizione 2009 Siemens S.p.A.
- [3] “Brochure ANIE 2012 „CEI EN 62271-200 sui quadri elettrici in media tensione