

La progettazione dei quadri elettrici per l'automazione

Rapida panoramica dei compromessi ingegneristici del progettista di quadri elettrici

Fonte: www.enel.it

MASSIMO GIUSSANI

Il termine 'quadro' per descrivere quello che le attuali normative indicano come 'apparecchiatura assiemata di protezione e manovra' ha origine quando l'impiantistica elettrica muoveva i primi passi e le prime installazioni, con i dispositivi di sezionamento montati a giorno su supporti isolanti in marmo e spesso incorniciati da un profilo in bronzo, assomigliavano a vere e proprie opere d'arte.

I moderni quadri elettrici hanno perso il loro fascino estetico a vantaggio di una razionalizzazione volta a soddisfare le accresciute esigenze di funzionalità e sicurezza. Il contributo creativo del progettista si concentra oggi sulla razionalizzazione delle tecniche costruttive in osservanza delle normative vigenti.

Quadri e problematiche di progetto

I quadri elettrici, siano essi quadri di distribuzione primaria o secondaria, condotti a sbarre, quadri di controllo motori, quadri di comando, misura e protezione, pulpiti, pannelli di controllo a bordo macchina, sono oggetto di normative specifiche che stabiliscono i criteri di sicurezza, le condizioni di prova e le responsabilità del costruttore. La tabella 1 fornisce un elenco parziale delle principali normative applicabili. L'impiantista permette al costruttore di accedere a tutte le informazioni necessarie alla realizzazione del quadro elettrico, come lo schema elettrico, i valori nominali delle grandezze in gioco, le dimensioni

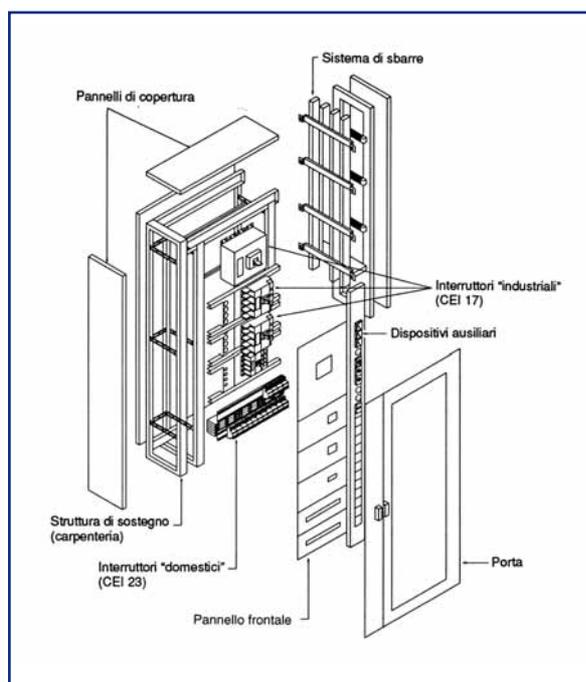


Figura 1 - Struttura di un tipico quadro di distribuzione (tratto da 'Quadri Elettrici', V. Carrescia, V. Scarioni, TNE 2007)

massime di ingombro e le condizioni d'installazione. Il costruttore del quadro, che ai fini della legge 46/90 è il soggetto responsabile, provvede poi ad adottare le soluzioni progettuali più adatte a soddisfare i vincoli normativi compatibilmente con le esigenze dell'impiantista. Sarà

Normative pertinenti

Norma	Ed.	Anno	Descrizione sommaria:
			Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione (quadri BT)
EN60439-1	4a ed.	2000	Parte 1: Apparecchiature soggette a prove di tipo (AS) e apparecchiature parzialmente soggette a prove di tipo (ANS)
EN60439-2	2a ed.	2000	Parte 2: Prescrizioni particolari per condotti a sbarre
EN60439-3	1a ed.	1992	Parte 3: Prescrizioni particolari per quadri di distribuzione
EN60439-4	2a ed.	2005	Parte 4: Prescrizioni particolari per quadri di cantiere
EN60439-5	1a ed.	1998	Parte 5: Prescrizioni particolari per cassette di distribuzione in cavo
CEI 11-26	EN60865-1	2002	Calcolo degli effetti delle correnti di corto circuito
CEI 17-43	2a ed.	2000	Determinazione delle sovratemperature nei quadri BT non di serie
CEI 17-52	1a ed.	1994	Determinazione della tenuta al corto circuito nei quadri non di serie (ANS)
CEI 64-8	4a ed.	1998	Protezione contro i contatti diretti e indiretti

Tabella 1 - Principali norme che regolamentano la produzione dei quadri elettrici

il produttore a scegliere le soluzioni atte a tenere sotto controllo le sollecitazioni termiche ed elettrodinamiche e a definire i parametri di targa del prodotto finito, nonché le eventuali protezioni richieste a monte del quadro stesso. La struttura di un tipico quadro di distribuzione è rappresentata in figura 1, mentre due esempi di schemi elettrici semplificati sono riportati in figura 2. Fisicamente, i collegamenti sono realizzati con barre o cavi, a nudo o avvolti da guaina isolante, che vengono ancorati alla strut-

prevenire danni all'apparecchiatura e agli operatori. Il dimensionamento dei componenti costitutivi un quadro elettrico deve tenere conto delle problematiche generate dai fenomeni elettrodinamici e termici associati al passaggio della corrente nei conduttori.

Isolamento

Nei quadri di bassa e media tensione le geometrie sono tali da non consentire, nelle condizioni nominali di fun-

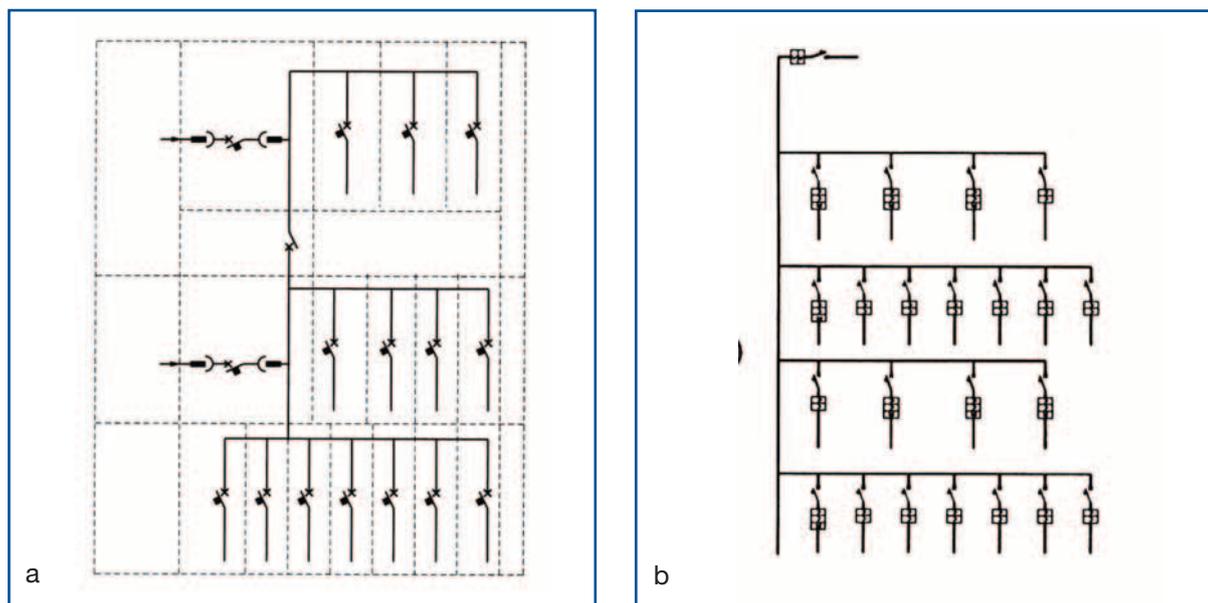


Figura 2 - Schemi elettrici unifilari di un quadro principale (a) e di un quadro secondario di distribuzione (b)

tura per mezzo di opportuni supporti isolanti. I dispositivi di sezionamento accessibili agli operatori sono fissati a un'intelaiatura ed eventualmente protetti da un involucro dotato di sportelli di accesso. Ogni quadro è dotato inoltre di una serie di dispositivi di sicurezza che servono a

dimensionamento, la formazione di archi elettrici in aria o la perforazione dei materiali isolanti (a meno di improbabili gravi difetti costitutivi). Non è in generale richiesto un intervento del progettista a questo livello in quanto le distanze tra i conduttori e gli spessori dei materiali iso-

lanti, imposti da vincoli strutturali, di resistenza meccanica e dimensionamento termico, sono più che sufficienti a rendere impossibile la ionizzazione dell'aria alle basse tensioni in gioco. Può invece rappresentare un problema la perdita di isolamento superficiale, intendendo con questo la formazione di percorsi conduttivi sulle superfici che separano i conduttori per accumulo di condensa, polvere e inquinanti vari.

La severità del problema è legata alle condizioni ambientali in cui il quadro si trova ad operare (e in particolare al grado di umidità e di inquinamento dell'ambiente) e alla natura e qualità dei materiali sui quali la pellicola conduttiva può formarsi.

Per certi materiali il fenomeno è particolarmente insidioso in quanto può autoalimentarsi: la deposizione di uno strato conduttivo comporta un passaggio di corrente tra zone a differente potenziale che va ad alterare la superficie dell'isolante rendendola ancor più conduttiva fino al completo cedimento dell'isolamento. Altri materiali, come il vetro e la ceramica sono esenti a questo fenomeno, detto di tracking. Apposite tabelle riportano il valore minimo di distanza superficiale di isolamento per tipo di materiale, grado di inquinamento e tensione nominale di isolamento.

Il progettista deve scegliere i materiali e impostare le distanze superficiali in modo da scongiurare la possibilità di scariche sui percorsi superficiali.

A questo proposito va notato che le distanze superficiali sono da valutare seguendo il profilo della superficie (fanno eccezione i solchi con larghezza inferiore a un certo valore) e che la presenza di nervature e creste non solo incrementa le distanze superficiali ma riduce anche la possibilità di accumulo di materiale conduttivo in prossimità dei picchi rendendo così più difficoltoso l'abbattimento dell'isolamento.

Protezione dai contatti diretti e indiretti

L'isolamento appena descritto è essenziale ai fini della funzionalità del quadro elettrico ma non costituisce di per sé la soluzione ai rischi di folgorazione del personale che ha accesso all'apparecchiatura.

Il costruttore deve fare in modo che solo il personale specializzato possa accedere alle parti in tensione e che in caso di guasto o cedimento dell'isolamento per un utilizzo oltre i limiti massimi concessi nessuna parte della macchina che possa entrare in contatto con l'utilizzatore possa rimanere sotto tensione.

La folgorazione può avvenire per contatto diretto (l'operatore tocca una parte attiva, ossia in tensione in condizioni di normale funzionamento) o indiretto (l'operatore tocca ad esempio una parte della struttura metallica del quadro che è entrata in contatto con una parte attiva). L'isolamento delle parti attive della macchina volto a evitare i contatti diretti e indiretti prende il nome di isolamento principale. Il livello di protezione dai contatti diretti è descritto dalla norma CEI 64-8 e dipende dal grado di

preparazione del personale che ha accesso al quadro: se si tratta esclusivamente di personale addestrato, è sufficiente una protezione parziale nei confronti dei contatti accidentali con le parti in tensione. Spesso questo si traduce in strutture, come barriere, corrimano e catenelle, che hanno il solo scopo di indicare all'operatore i limiti della zona di sicurezza.

Se il quadro si trova in un ambiente cui ha accesso anche personale non addestrato, allora la protezione deve essere totale, ossia il contatto accidentale con le parti attive del quadro deve essere impedito per mezzo di barriere, involucri e isolamenti.

L'isolamento, in particolare, deve essere resistente alle sollecitazioni meccaniche, chimiche e termiche e non deve essere possibile rimuoverlo se non distruggendolo. Il quadro stesso deve essere dotato di un involucro con grado di protezione minimo IPnB (con n e m dipendenti dal grado di isolamento richiesto dalle condizioni ambientali), ossia deve essere impossibile raggiungere le parti attive infilando un dito nell'involucro (per le prove di conformità viene utilizzato un ben definito dito articolato meccanico).

Le superfici orizzontali a portata di mano devono inoltre essere dotate di grado di protezione IPnD, il che implica l'impossibilità di raggiungere le parti attive anche con un filo rigido di 10 cm di lunghezza e 1 mm di diametro. Sono infine necessari dispositivi di sicurezza che consentano l'apertura degli sportelli del quadro e l'accesso ai componenti interni solo dopo aver tolto tensione o, in alternativa, le parti attive devono essere protette da un ulteriore involucro interno di grado IPnB.

Se l'isolamento principale viene meno, una parte attiva può entrare in contatto con una parte del quadro normalmente non in tensione (la massa dell'apparecchiatura) esponendo l'utilizzatore a un contatto indiretto. Si tratta di un'evenienza particolarmente insidiosa in quanto l'operatore non è portato a esercitare lo stesso livello di attenzione riservato nei confronti delle parti attive. Compito del costruttore è fare in modo che questo non si verifichi o non costituisca pericolo per il personale, con ulteriori misure di protezione che dipendono dalla classe di utilizzo dell'apparecchio. In particolare si hanno le seguenti classi:

Classe 0: apparecchiatura dotata di isolamento principale e massa non connessa a terra. L'isolamento aggiuntivo viene supplied dall'ambiente (locale isolante con resistenza verso terra superiore a 50 kOhm).

Classe I: apparecchiatura dotata di isolamento principale e massa connessa a terra. Opportuni dispositivi di interruzione provvedono a togliere tensione in caso di dispersione verso massa.

Classe II: apparecchiatura con doppio isolamento. In questo caso l'involucro metallico non va collegato a terra.

Classe III: apparecchiatura alimentata da un sistema a bassa tensione per mezzo di un trasformatore a doppio isolamento o con schermatura messa a terra per impedire il contatto con il circuito primario.

Corto circuito

Quando viene meno l'isolamento previsto tra due punti del circuito che devono trovarsi a potenziale differente nelle normali condizioni di funzionamento, si ha un corto circuito che comporta l'erogazione di una sovracorrente. Il progettista deve fare in modo che il quadro sia in grado di sopportare senza danni la corrente di corto circuito per tutto il tempo necessario all'intervento del meccanismo di protezione.

In assenza di dispositivi di protezione dalle sovracorrenti, una semplice modellizzazione circuitale del circuito a monte del guasto di isolamento permette di ricavare l'e-

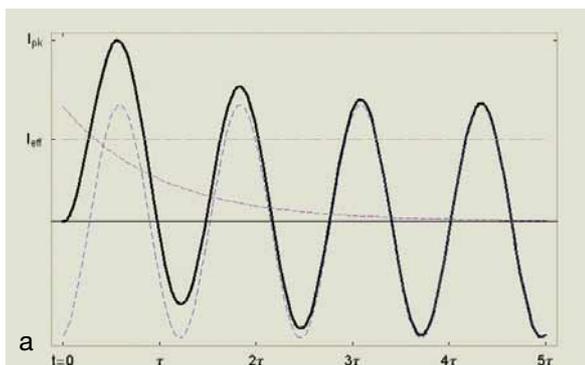
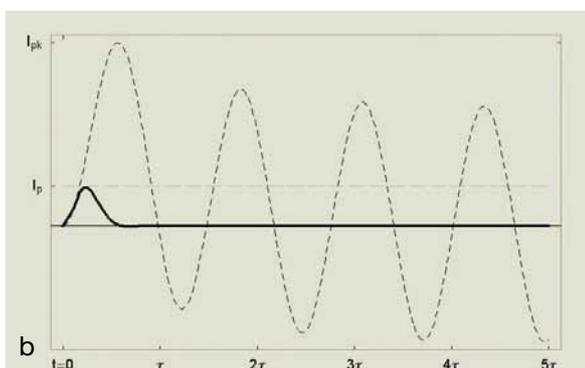


Figura 3 - Modellizzazione della corrente di corto circuito in assenza di protezioni (a) e in presenza di un dispositivo di interruzione (b)



spressione della corrente di c.c. come sovrapposizione di una componente sinusoidale e di una componente esponenziale decrescente (figura 3a). In un quadro reale, tuttavia, è sempre presente un dispositivo di protezione che sfrutta gli effetti termici e/o elettrodinamici associati al passaggio di corrente in eccesso per limitare ed eventualmente interrompere l'erogazione di corrente prima che il sistema venga danneggiato.

La corrente viene limitata dall'impedenza interna del dispositivo e interrotta dall'apertura dei contatti, solitamente associata alla formazione di un arco elettrico che si estingue quando la corrente di c.c. passa per il suo primo zero (figura 3b). La condizione di corto è quella in cui i conduttori percorsi da corrente sono soggetti alle sollecitazioni elettrodinamiche e termiche peggiori. Le barre e i supporti isolanti che costituiscono le linee di derivazione

del quadro vanno dimensionati in modo da resistere meccanicamente alla forza che si sviluppa tra i conduttori percorsi da corrente e che risulta essere proporzionale al prodotto delle correnti e inversamente proporzionale alla distanza che li separa.

$$F \propto \frac{i_1 i_2}{d}$$

Dato che durante il funzionamento le correnti oscillano alla frequenza di rete, la sollecitazione meccanica che si sviluppa è periodica con frequenza doppia e, nel caso reale, ha un'intensità che dipende anche dalla forma e dalla disposizione relativa dei conduttori, dalla presenza di vincoli e dalle caratteristiche meccaniche dei materiali. Se si considerano, come è in genere il caso, sbarre di rame a sezione rettangolare disposte parallelamente tra loro e separate da supporti intervallati da una distanza l , una stima di massima della forza che i supporti devono gestire quando nei conduttori passa una corrente I è data da:

$$F \cong 0,173 Kl \frac{I^2}{d}$$

Dove I è la corrente massima in kA, l è la separazione in metri tra i due supporti, d è la distanza in metri tra le sbarre e K è un coefficiente che tiene conto della configura-

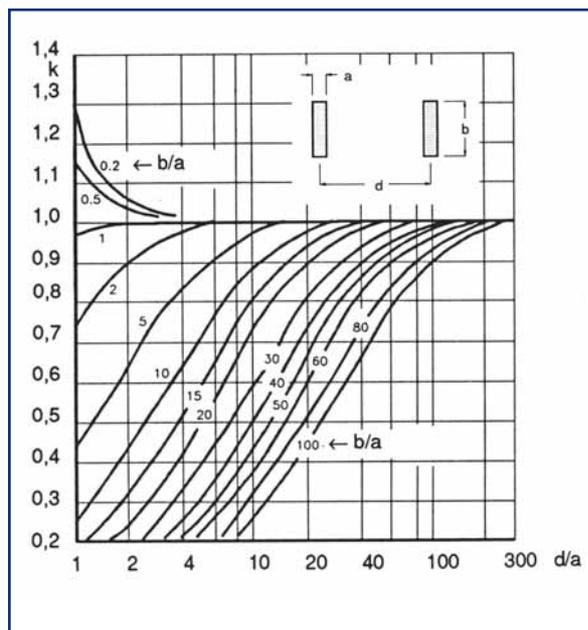


Figura 4 - Grafico per la determinazione del coefficiente K in base alla geometria (tratto da 'Quadri Elettrici', V. Carrescia, V. Scarioni, TNE 2007)

zione geometrica come indicato dal diagramma di figura 4. Compito del progettista è fare in modo di ottenere un valore F al di sotto del massimo carico ammissibile per i supporti.