

Secondo la Guida CEI 17-97/1

## L'applicazione delle caratteristiche nominali di cortocircuito

La Guida CEI 17-97/1, entrata in vigore nel settembre 2008, riassume le condizioni di corretto coordinamento in cortocircuito fra dispositivi di protezione e componenti da proteggere. Destinata ai progettisti di impianti e quadri elettrici, richiama norme e concetti complessi che abbisognano di alcuni chiarimenti

di Riccardo Bellocchio

Il cortocircuito è pericoloso per l'ambiente e dannoso per l'impianto, nel senso che può essere causa di incidenti che coinvolgono le cose e le persone e di danno ai componenti elettrici.

Si considerano inammissibili i rischi d'incendio e di lesioni per le persone e perciò occorre (almeno e in ogni caso) un dispositivo d'intervento in grado di interrompere il cortocircuito prima che si generino i suddetti pericoli.

Fino alla fine degli anni '80 le Norme CEI si limitavano a tale prescrizione, disinteressandosi dei danni ai componenti.

Il concetto di proteggere anche i componenti dell'impianto venne introdotto nella normativa, iniziando dall'obbligo della protezione delle condutture (anno 1987) ed estendendosi successivamente ai quadri, agli avviatori e, ultimamente, anche ad alcuni componenti degli impianti per usi domestici e similari (figura 1).

Il coordinamento delle caratteristiche di cortocircuito riguardanti la protezione delle condutture è stato trattato esaurientemente, per oltre un ventennio, dalla Norma CEI



64-8 e può dirsi oramai un concetto correttamente assimilato e applicato. Non altrettanto si può dire per i quadri e per gli apparecchi, trattati dalla Norma CEI 17-44, nota solo a pochi specialisti. A tale lacuna si sono aggiunti, in tempi recentissimi, gli apparecchi di protezione applicabili a componenti per usi domestici e similari (SCP, RCBO, ACP, ecc) che interessano la generalità degli impiantisti. In questa situazione la nuova Guida costituisce un ausilio prezioso. Essendo indirizzata ai progettisti e supponendo noti i principi basilari, abbisogna di alcune richiami, a beneficio di chi non ha seguito l'intero iter evolutivo di questa disciplina. Per questa

ragione la recensione, pur nella necessità di sintetizzare un argomento molto complesso, richiama anche questioni che la Guida trascura, dandole per acquisite.

#### Dati fondamentali di coordinamento in cortocircuito

La Guida inizia con un elenco, in ordine alfabetico, delle definizioni delle grandezze che interessano la specifica trattazione, indicando, voce per voce, il paragrafo di pertinenza.

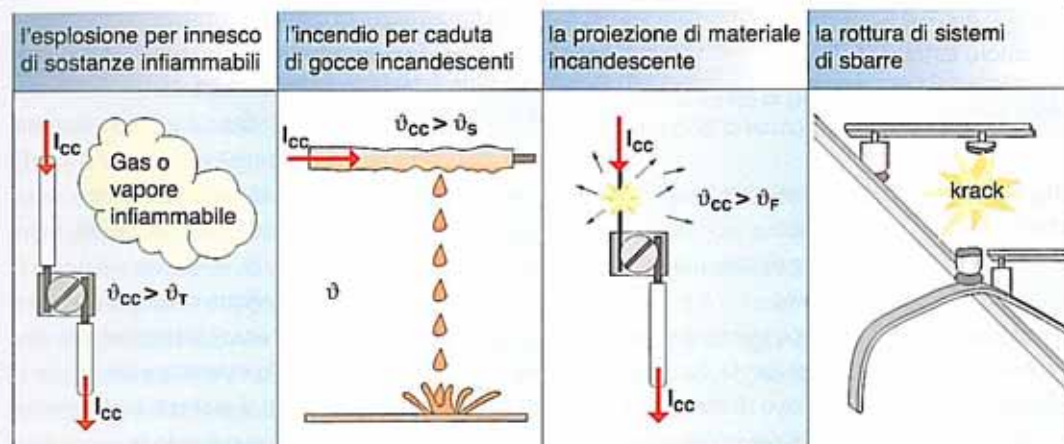
È necessario riportare almeno le più importanti definizioni, tratte dalla Norma CEI 17-44, 4ª edizione, stralciate dal lungo elenco dell'articolo 4. Si precisa che i simboli sono quelli adottati nel

citato elenco, quando esistenti, o, in mancanza, quelli di uso corrente.

$I_n$  - *Corrente nominale di un dispositivo*  
È la corrente assegnata dal costruttore per condizioni specificate di funzionamento. In genere coincide con la corrente che il componente può portare in servizio ininterrotto.

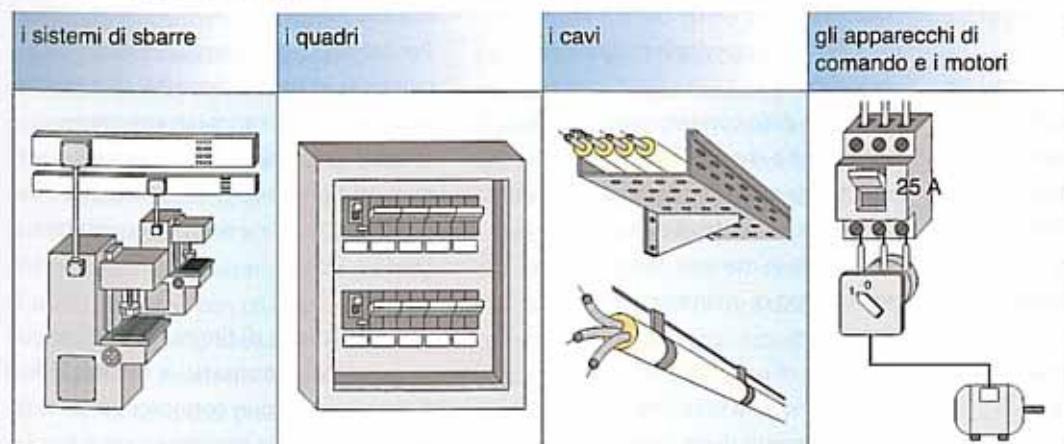
$I_u$  - *Corrente nominale di impiego*  
È la corrente che un dispositivo è in grado di stabilire, mantenere e interrompere in funzione della tensione nominale di impiego, del servizio nominale, e della categoria di utilizzazione. Un dispositivo che ammette più categorie di utilizzazione, in genere, ha altrettante correnti di impiego.

Fino alla soglia degli anni 90 si riteneva sufficiente evitare, mediante adeguato potere di interruzione,

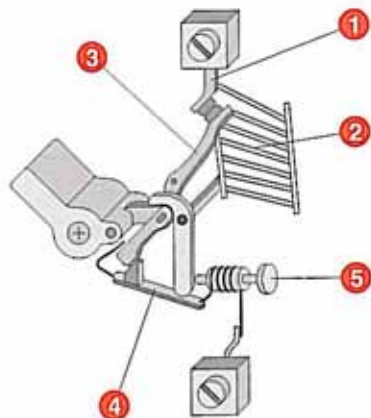


1 L'evoluzione del concetto di protezione dal cortocircuito

Dopo, gradualmente, si sono introdotte le regole per salvaguardare, mediante limitazione delle sollecitazioni di cortocircuito

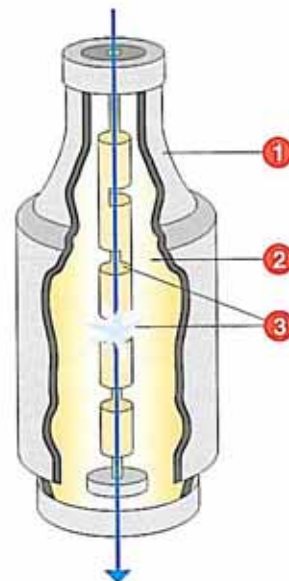


1



- 1) Caratteristiche di tenuta all'arco del materiale costituente i contatti
- 2) Corsa di apertura dei contatti ed efficacia delle celle spegniarco
- 3) Accelerazione della leva del contatto mobile
- 4) Tenuta alle sollecitazioni termiche di cortocircuito del bimetallo dello sganciatore termico
- 5) Eventuale effetto acceleratore del percussore azionato dallo sganciatore elettromagnetico

2



- 1) Forma e dimensioni che influiscono sulla dissipazione termica e sulla capacità termica del fusibile
- 2) Caratteristiche dielettriche e granulometria della polvere spegniarco
- 3) Sezione, forma e resistenza termica ed elettrica dell'elemento fusibile

3

$(I_{RL})$  - Corrente di picco interrotta limitata

È il valore istantaneo massimo di corrente che un dispositivo, destinato a interrompere cortocircuiti, lascia passare nella fase di apertura in corrispondenza di un determinato valore della corrente presunta di cortocircuito. Questo valore è dato dai principali costruttori sotto forma di diagramma, in funzione della corrente presunta di cortocircuito.

$I_{CV}$  - Corrente nominale ammissibile di breve durata

È la massima corrente (valore efficace) che un componente è in grado di sopportare per un tempo limitato indicato (in genere 1 s) agli effetti termici. Si ricorda che  $I_{2CW} = I_{CV}$  quando la breve durata è di 1 s.

$I_{pk}$  - Corrente nominale ammissibile di picco

È il valore della corrente massima di picco che un componente può sopportare ai fini delle sollecitazioni

elettrodinamiche durante un cortocircuito.

$I_{cm}$  - Potere di chiusura nominale su cortocircuito

È il massimo valore di picco della corrente presunta di cortocircuito che un dispositivo di manovra è in grado di chiudere senza che si producano danni per l'operatore e mantenendo condizioni residue definite dal tipo di coordinamento (se ne parlerà in seguito).

$I_{CNC}$  - Corrente nominale condizionale di cortocircuito

È il valore della corrente presunta di cortocircuito che un componente protetto da uno specificato dispositivo di protezione contro il cortocircuito può sopportare in maniera soddisfacente per il tempo di intervento di questo dispositivo.

Categorie di utilizzazione

Definiscono una modalità di funzionamento di un dispositivo

di manovra per la quale le norme stabiliscono valori convenzionali di coordinamento.

Prefissata la categoria di utilizzazione, il coordinamento tra i dispositivi di protezione e/o manovra e gli altri componenti si realizza, molto semplicemente, scegliendo la corrente di impiego non superiore alla corrente nominale  $I_n$  del componente manovrato.

Per esempio, un interruttore con categoria di utilizzazione AC21 è idoneo alla manovra di carichi leggermente induttivi senza dover considerare le correnti transitorie di inserzione ma ponendo semplicemente la condizione  $I_e \geq I_n$ .

Caratteristiche di limitazione degli interruttori automatici e dei fusibili

Il coordinamento in cortocircuito, secondo l'attuale tendenza, come si

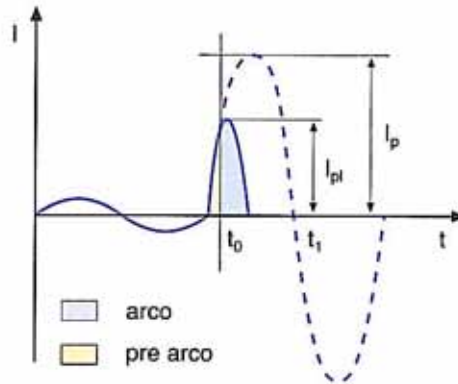
è accennato parlando di evoluzione normativa, non conta più sulla sola capacità di interrompere il guasto (a quei tempi chiamata coerentemente "capacità di rottura) ma fa largo affidamento sulla capacità degli interruttori e dei fusibili di intervenire in tempi talmente brevi da non consentire alla corrente di cortocircuito di raggiungere il valore massimo. Se si suppone che il cortocircuito inizi al passaggio per lo zero della corrente alternata, si può dire che, se il tempo di prearco è inferiore a 5 ms (¼ di periodo a 50 Hz), la resistenza d'arco si inserisce prima del raggiungimento del valore naturale di picco e ciò comporta riduzioni delle sollecitazioni di cortocircuito (energia termica specifica passante, forza elettrodinamica di repulsione). Sotto questo aspetto gli interruttori automatici si comportano diversamente dai fusibili.

Con riferimento alla figura 2 gli interruttori automatici limitatori devono avere cinematismi leggeri, contatti di materiale resistente all'arco (lega argento tungsteno o argento cadmio) celle spegniarco a lamelle sagomate in modo da frazionare l'arco e raffreddarlo (effetto deion).

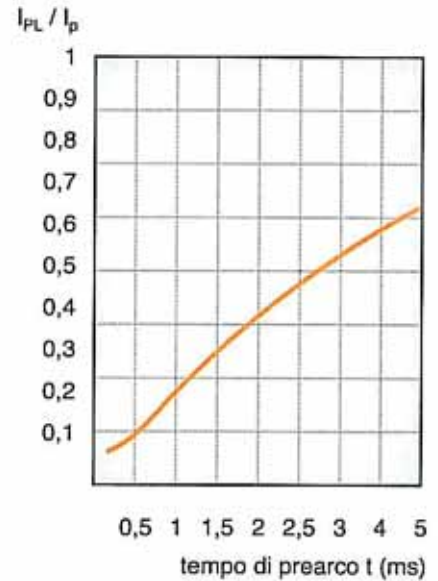
Negli interruttori fortemente limitatori si adottano meccanismi a ginocchiera sulla quale agisce da percussore il giogo mobile dello sganciatore magnetico; si vincono con tale accorgimento gli attriti di ingancio, riducendo il tempo di prearco a 0,6-0,8 ms.

I fusibili a cartuccia, riempita di granuli deionizzanti (figura 3), per tempi di pre-arco non superiori a 10 ms, hanno energie specifiche passanti molto minori di quelle ottenibili con gli interruttori automatici di pari grandezza.

Per entrambi i dispositivi, la limitazione dipende dal tempo di prearco, secondo una funzione approssimativa



Valori indicativi del rapporto  $I_{PL} / I_p$  in funzione del tempo di prearco



Quando il tempo di prearco è inferiore a 5 ms la resistenza d'arco si interpone prima che la sovracorrente raggiunga il valore massimo: si ha una limitazione del valore di picco da  $I_p$  a  $I_{PL}$ .

Gli interruttori hanno tempi di prearco originati dall'inerzia dei meccanismi; i fusibili hanno tempi di prearco dipendenti dalla sovracorrente

4

rappresentata in figura 4. La differenza sostanziale è insita nel tempo di prearco che negli interruttori automatici non può scendere sotto 0,6 ms mentre nei fusibili può ridursi in ragione inversa al quadrato della corrente di cortocircuito.

Si nota che per entrambi i dispositivi la limitazione è pressoché nulla ( $I_{PL}/I_p=1$ ) per tempi di prearco superiori a 5 ms.

#### Le correnti di cortocircuito nei sistemi a bassa tensione

Questo argomento non è trattato dalla Guida. Occorre solo ricordare alcuni concetti basilari. I tre parametri convenzionali che misurano il cortocircuito nei sistemi TN sono:  
- la componente simmetrica della corrente di cortocircuito, data dalla relazione:

$$I_{cc} = \frac{U_c}{Z_1}$$

2 L'importanza delle caratteristiche strutturali degli interruttori automatici che influiscono sul potere di limitazione delle sollecitazioni di cortocircuito

3 L'importanza delle caratteristiche strutturali dei fusibili che influiscono sul potere di limitazione delle sollecitazioni di cortocircuito

4 La limitazione delle corrente di picco in funzione del tempo di prearco

dove  $U_e$  è la tensione nominale del circuito e  $Z_s$  l'impedenza dell'anello di guasto

- il fattore di potenza di cortocircuito, dato dalla relazione:

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{R_s}{Z_s}$$

dove  $Z_s$  è la impedenza e  $R_s$  la resistenza dell'anello di guasto;

- il valore massimo di sovracorrente raggiunto dal transitorio, determinato convenzionalmente in base al valore della corrente presunta di cortocircuito (vedere la tabella in figura 5).

Si devono distinguere, nei sistemi trifase a 4 fili con secondario del trasformatore collegato a stella, tre tipi di cortocircuito:

- fase - fase;
- fase - neutro;

c) cortocircuito simmetrico ed equilibrato sulle tre fasi.

La situazione peggiore è rappresentata dal caso c che va considerato per il calcolo di  $I_{cc}$  nei sistemi trifase equilibrati, tipici degli impianti industriali.

Per i sistemi TT la tensione nominale verso terra va divisa per la resistenza di terra del dispersore dell'utente, considerando trascurabile quella del dispersore di cabina di proprietà della società distributrice.

È interessante rimarcare che, come precisato nella Norma CEI 11-25, il calcolo della corrente presunta di cortocircuito nei sistemi a bassa tensione va riferito alla componente simmetrica e non al transitorio di

cortocircuito, che darebbe risultati non coerenti con le caratteristiche trattate nella Guida.

### La tenuta al cortocircuito dei componenti da salvaguardare

Si devono distinguere due casi:

- i componenti statici, ovvero privi di contatti che potrebbero chiudere il cortocircuito danneggiandosi (cavi, sbarre, morsetti, ecc.);
- i componenti che contengono contatti di manovra manuale o automatica che potrebbero danneggiarsi chiudendo un cortocircuito.

La corrente di cortocircuito che interessa un componente elettrico statico può generare due tipi di danno:
 

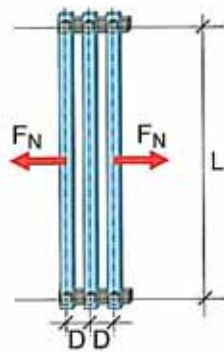
- uno shock termico, consistente in un impulso di sovratemperatura, della durata di qualche decina di millisecondi, che può accorciare la vita degli isolanti organici o, al limite, provocarne la carbonizzazione;

– una forza elettrodinamica fra elementi vicini percorsi dalla corrente di cortocircuito, che si concreta in uno shock meccanico, simile a una martellata, che può deformare o rompere il componente. La resistenza allo shock termico è valutata dall'energia specifica massima sopportabile dal componente, espressa dalla nota relazione  $I^2 t \leq K^2 S^2$ , sulla quale non occorre soffermarsi (è trattata dall'articolo 434.3 della norma CEI 64-8).

La resistenza allo shock meccanico e ricordata in figura 5.

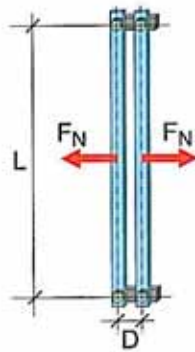
I componenti che contengono contatti si comportano in modo diverso se il cortocircuito avviene a contatti chiusi, durante la chiusura o durante l'apertura. A contatti chiusi le condizioni di protezione sono quelle viste per i componenti statici. Negli

#### Cortocircuito trifase



$$F_N = 17,4 I_p^2 \frac{L}{a}$$

#### Cortocircuito monofase



$$F_N = 20 I_p^2 \frac{L}{a}$$

#### Valore convenzionale di $I_p$ in funzione della corrente presunta di cortocircuito

$I_{cc}$ (kA)	$I_p / I_{cc}$
$\geq 5$	1,5
$> 5 \leq 10$	1,7
$> 10 \leq 20$	2
$> 20 \leq 50$	2,1
$> 50$	2,2

$I_p$  corrente di cortocircuito in kA (valore di picco)

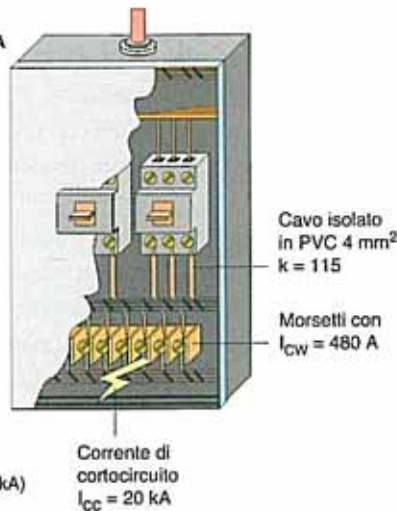
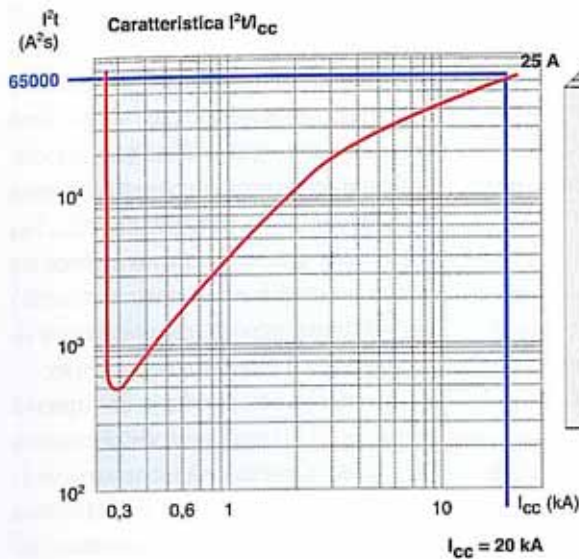
$L$  distanza tra i supporti in m

$a$  interdistanza tra i conduttori in cm

$F_N$  forza di repulsione in newton

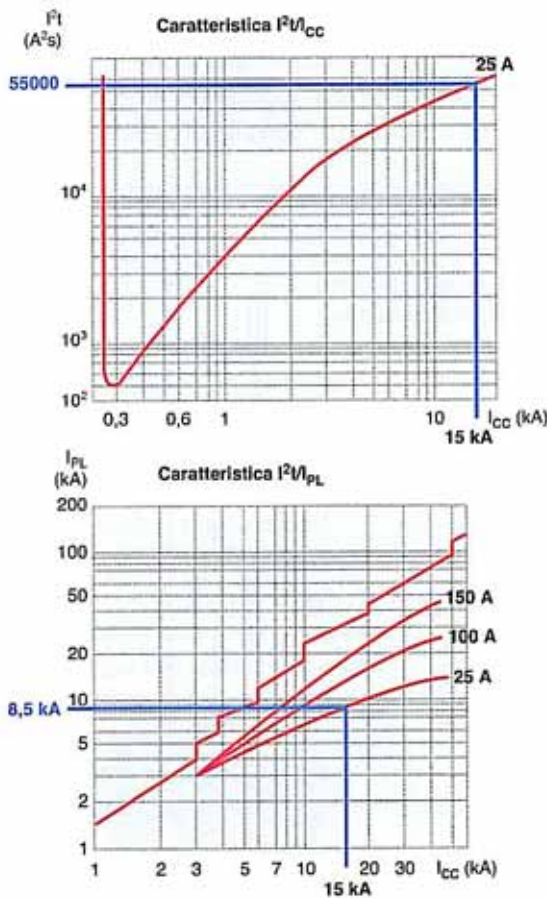
Le sollecitazioni elettrodinamiche in genere sono trascurabili per i cavi multipolari e per correnti di cortocircuito fino a 10 kA. Per i sistemi di sbarre prefabbricate la protezione è assicurata se  $I_{PL}$  non supera i valori della corrente di picco deducibili dalla tabella





**Verifiche:**  
 Energia specifica limitata dall'interruttore  $65000 \text{ A}^2\text{s}$   
 Energia specifica ammissione per il cavo  $K^2S^2 = 211600 \text{ A}^2\text{s}$  } Il cavo è correttamente protetto  
 Energia specifica ammissibile per i morsetti  $I_{CW}^2 = 230000 \text{ A}^2\text{s}$  } I morsetti sono correttamente protetti. 6

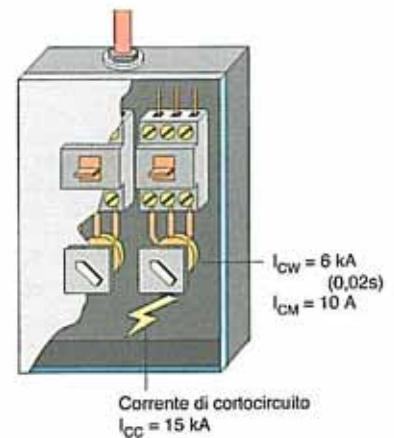
impianti utilizzatori realizzati a regola d'arte l'apertura di un cortocircuito da parte di dispositivi di manovra o di comando è da considerarsi un evento eccezionale da non prendere in considerazione. Bisogna invece considerare la possibilità di chiusura su cortocircuito che si verifica quando l'utilizzatore o l'impianto subiscono un guasto nel periodo di inattività (evento abbastanza probabile, specialmente per gli utilizzatori trasportabili o mobili o in occasione di opere di manutenzione). In questi casi il cortocircuito si stabilisce fra i contatti dell'apparecchio manovrato che devono sopportare la corrente di picco IP e la sollecitazione termica ( $\text{A}^2\text{s}$ ) lasciata passare dal dispositivo di protezione posto a monte. La situazione è molto gravosa: infatti in fase di chiusura i contatti subiscono una serie di rimbalzi (almeno 3 o 4) e sono chiamati ad aprire ripetutamente la corrente di picco. L'attitudine a



5 Gli effetti elettrodinamici del cortocircuito

6 La verifica della tenuta alle sollecitazioni termiche di cortocircuito del cablaggio di un quadro

7 La verifica della tenuta al cortocircuito di un interruttore di manovra posto in un quadro



**Verifiche:**  
 Energia specifica limitata dall'interruttore automatico  $55000 \text{ A}^2\text{s}$ .  
 Energia specifica ammissione per l'interruttore di manovra  $0,02 I_{CW}^2 = 720000 \text{ A}^2\text{s}$ .  
 L'interruttore di manovra è correttamente protetto contro le sollecitazioni termiche.  
 Potere nominale di chiusura in cortocircuito  $I_{CM} = 10 \text{ kA}$ .  
 Corrente di picco limitata dall'interruttore automatico  $I_{PL} = 8,5 \text{ kA}$ .  
 L'interruttore di manovra è correttamente protetto contro la corrente di picco.

chiudere in situazioni di guasto è valutata dal potere di chiusura nominale in cortocircuito ( $I_{cm}$ ), che esprime, in kA, la massima corrente di picco che può essere sopportata mantenendo determinate condizioni residue.

Si considerano soddisfacenti le condizioni dell'interruttore di manovra se dopo la chiusura del cortocircuito non si verifica un incollaggio irreversibile dei contatti (cioè se si staccano agendo sul dispositivo di comando) e se sono ancora in grado di portare la corrente nominale senza surriscaldamenti; gli isolanti e i cinematismi non devono subire danni rilevanti che impediscano il riutilizzo dell'apparecchio.

In alternativa a  $I_{cm}$ , il costruttore può fornire il valore della corrente nominale condizionale di cortocircuito  $I_{cc}$  riferito a uno specifico apparecchio di protezione e che deve garantire le suddette condizioni residue in caso di chiusura del cortocircuito mediante l'interruttore di manovra.

#### Esempio di applicazione ai quadri

Le condizioni di tenuta al cortocircuito dei quadri, secondo la Norma CEI 17-13/1, sono le seguenti:

1. per le apparecchiature con una sola unità di entrata dotate di dispositivo di protezione dal cortocircuito (DPCC), la corrente nominale di breve durata, la corrente nominale di picco, oppure la corrente di cortocircuito condizionata non devono superare gli omonimi valori pertinenti alla corrente presunta di cortocircuito;
2. per le apparecchiature la cui entrata è priva di dispositivo di protezione, si deve installare a monte un dispositivo avente corrente nominale condizionata indicata dal costruttore. Tale corrente deve essere precisata in termini di corrente nominale, potere di interruzione, caratteristica  $I^2t/I_{cc}$  e caratteristica  $I_p/I_{cc}$ ;
3. per apparecchiature aventi più di una unità di entrata non previste per funzionamento contemporaneo, la tenuta al cortocircuito deve essere indicata per ognuna delle entrate

con i criteri indicati ai punti 1 e 2;

4. in casi più complessi (più unità di entrata funzionanti contemporaneamente o più condizioni di funzionamento), la tenuta al cortocircuito è oggetto di accordo diretto tra committente e costruttore; equivalgono a un accordo diretto le specificazioni riportate nella documentazione ufficiale che accompagna il prodotto (per esempio, il costruttore può riportare in un foglio istruzioni una tabella che indichi il dispositivo di protezione idoneo a diversi fattori di contemporaneità). Se il cablaggio del quadro è tale da rendere improbabile il cortocircuito interno (barre rigide, cavi distanziati o a doppio isolamento), è lecito considerare, ai fini del coordinamento, solo la corrente presunta ai morsetti di uscita del quadro; in questo caso si ha il vantaggio di poter considerare la protezione di back-up che può realizzarsi dalla serie costituita dall'interruttore generale e da quello divisionale, ubicati nel quadro; ciò, non solo abbassa la corrente di cortocircuito, ma consente di utilizzare interruttori divisionali con potere di interruzione più basso, anche inferiore alla corrente presunta di cortocircuito (rivedere il concetto di protezione di back up non trattato dalla Guida in recensione).

È di fondamentale importanza rimarcare che la verifica della tenuta al cortocircuito può essere omessa:

- per quadri che hanno corrente nominale di breve durata o correnti nominali di cortocircuito condizionate non superiori a 10 kA;
- per quadri protetti con dispositivi limitatori, aventi correnti di picco limitate a non più di 17 kA, in corrispondenza della corrente presunta di cortocircuito.

