

Capitolo 4

Dispositivi di protezione

4.1 Interruttori automatici

Generalità

Gli interruttori automatici, sono dispositivi che oltre ad eseguire le ordinarie operazioni d'apertura e chiusura dei circuiti, come comuni apparecchi di manovra in condizioni di carico normali, sono anche in grado di aprirsi automaticamente quando si verificano condizioni anormali, sotto l'azione di particolari dispositivi detti "sganciatori" o più comunemente "relè". Detti sganciatori possono realizzare la protezione contro le sovracorrenti in due diversi modi costruttivi:

- un primo detto relè elettromagnetico, si basa sull'azione pressoché istantanea di un elettromagnete che, attraversato dalla corrente passante per l'interruttore, ne provoca l'apertura quando questa supera un determinato valore; risulta quindi idoneo alla protezione contro i cortocircuiti o per sovracorrenti molto elevate, quando l'apertura del circuito deve essere la più rapida possibile;
- un secondo tipo detto relè termico, si basa invece sull'azione di un bimetallo dotato di una certa capacità termica che, percorso dalla corrente passante per

l'interruttore, viene riscaldato e curvato; se la corrente supera il valore di taratura, la curvatura aumenta determinando l'apertura dell'interruttore.

Nel secondo tipo di relè, poiché il funzionamento dipende dall'effetto termico della corrente, la sua azione è tanto più rapida quanto maggiore è il valore della corrente stessa; si avrà pertanto un ritardo nell'intervento, con un tempo inversamente proporzionale al valore della corrente, che permette al dispositivo di sopportare, senza intervenire, sovraccarichi d'entità e durata limitata, e in particolare i sovraccarichi funzionali (per esempio, le punte di corrente di inserzione dei motori), intervenendo invece quando l'entità e la durata del sovraccarico siano tali da minacciare l'integrità del carico protetto. Pertanto, in funzione del tipo di relè di cui è munito, l'interruttore è idoneo alla protezione contro i cortocircuiti o contro i sovraccarichi; più comunemente sono presenti entrambi i tipi di relè. Gli sganciatori possono essere anche di tipo diverso, per esempio di minima tensione o per mancanza di fase; in tal modo gli interruttori automatici possono esercitare anche questo tipo di protezione. Nell'interruttore automatico, l'energia necessaria per ottenere l'apertura viene immagazzinata all'atto della chiusura, in genere mediante una molla che viene compressa e si aggancia a un fermo, che viene poi rimosso dall'intervento del relè (ecco perché sganciato), provocando l'apertura dei contatti. L'azione di intervento dello sganciato deve avere la prevalenza sull'azione manuale di chiusura; pertanto, se l'interruttore viene

chiuso su di una linea in cortocircuito, appena la corrente si manifesta e supera il valore di intervento, avviene la riapertura dei contatti anche se permane l'azione manuale di chiusura.

Le Norme CEI trattano gli interruttori automatici con:

Norma 17-5, corrispondente alla Norma Europea EN 60947-2, si appoggia come parte generale alla Norma 17-44 riguardante la normativa base degli apparecchi a bassa tensione; questa Norma, pur riguardando in linea di principio tutti gli interruttori automatici, è particolarmente indirizzata agli interruttori di potenza per uso industriale;

4.1.1 Caratteristiche generali e definizioni

Secondo i dispositivi di protezione di cui sono muniti, gli interruttori automatici possono provvedere:

- alla protezione contro le sovracorrenti;
- alla protezione contro i sovraccarichi;
- alla protezione contro gli abbassamenti di tensione o alla mancanza di una fase.

La protezione contro le sovratensioni viene solitamente delegata ad altri tipi di dispositivi.

Norma CEI 17-5 (EN 60947-2)

- Interruttore

Apparecchio meccanico di manovra, capace di stabilire portare ed interrompere correnti in condizioni normali del circuito, ed anche di stabilire e portare per una durata specificata ed interrompere correnti in specificate condizioni anormali del circuito come per es. quelle di cortocircuito.

- Interruttore con fusibili incorporati

Combinazione in un unico apparecchio di un interruttore automatico e fusibili, con un fusibile in serie ad ogni polo destinato ad essere connesso ad un conduttore di fase.

- Interruttore limitatore di corrente

Interruttore automatico con un tempo di interruzione sufficientemente breve, per impedire che la corrente di cortocircuito raggiunga il valore di picco che altrimenti raggiungerebbe.

La Norma 17-44 (EN 60947-) definisce le principali caratteristiche delle apparecchiature in genere:

- Tensione nominale di impiego U_e

La tensione nominale di impiego di un apparecchio è il valore di tensione che, unitamente alla corrente nominale di impiego, determina l'uso dell'apparecchio stesso.

Per apparecchi unipolari, la tensione nominale di impiego è generalmente espressa come tensione ai capi del polo; per apparecchi multipolari, essa è generalmente espressa come tensione concatenata tra le fasi. Per gli interruttori rispondenti alla norma CEI EN 60947-2 tale limite è 1000V a.c. o 1500V d.c.

- Frequenza nominale

Frequenza di alimentazione per la quale l'apparecchio è progettato e alla quale gli altri valori caratteristici corrispondono.

Nota - Allo stesso apparecchio, possono essere assegnate più frequenze o un campo di frequenze nominali, o essere previsto per l'uso sia in corrente alternata sia in corrente continua.

- Tensione nominale di isolamento U_i

E' il valore al quale si riferiscono le tensioni delle prove dielettriche e le distanze di sicurezza e di isolamento superficiale.

In nessun caso la tensione nominale di impiego può essere superiore alla tensione di isolamento. Nel caso in cui non venisse indicato alcun valore di tensione di isolamento, è necessario considerare come tensione di isolamento il valore della tensione di impiego.

- Tensione nominale di tenuta all'impulso U_{imp}

E' un valore di picco di una tensione ad impulso di caratteristiche ben definite dalle norme che l'apparecchio può sopportare senza danneggiamento.

La prova viene effettuata ad interruttore aperto, verificando che non s'innescino scariche tra i contatti di una stessa fase o tra una fase e massa. Questo valore viene impiegato per realizzare il corretto coordinamento dell'isolamento nell'impianto.

- Corrente convenzionale termica in aria libera I_{th} o in involucro I_{the}

Sono i valori in base ai quali vengono effettuate le prove di riscaldamento (per le apparecchiature in genere), rispettivamente in aria libera o in uno specifico involucro.

Per queste correnti non deve essere superato il suo limite di sovratemperatura. Quest'ultimo valore deve essere almeno uguale a quello della corrente nominale di impiego in involucro per un servizio di otto ore;

- Corrente nominale di impiego I_n

Per gli interruttori, la corrente nominale di impiego coincide con la corrente termica convenzionale in aria libera I_{th} , e rappresenta quel valore di corrente che l'apparecchio può portare in servizio ininterrotto. Per gli interruttori conformi alla norma CEI 17-5 non sono definiti limiti.

Norma CEI 17-5 (EN 60947-2) per definizioni relative agli interruttori

- Corrente nominale ammissibile di breve durata I_{cw}

La corrente nominale ammissibile di breve durata è il valore della corrente di breve durata ammissibile dell'interruttore, assegnata dal costruttore.

Il valore di tale corrente è il valore efficace della componente alternata della corrente di cortocircuito presunta, nell'assunzione che essa rimanga costante per tutta la durata del tempo di ritardo previsto.

La durata del tempo di ritardo previsto associata alla corrente nominale di breve durata ammissibile deve essere almeno di 0,05 s, con la preferenza per i seguenti valori:

- 0,05 - 0,1 - 0,25 - 0,5 - 1- in secondi.

Per questi valori di ritardo gli interruttori devono avere una I_{cw} minima come definito nella Tabella di seguito.

$I_n \leq 2500A$	$I_{cw} = \text{il maggiore tra } 12 I_n \text{ e } 5 \text{ kA}$
$I_n > 2500A$	$I_{cw} = 30 \text{ kA}$

Tabella 3 della Norma CEI 17-5

4.1.2 Tipi di servizio e categorie di utilizzazione

Per gli interruttori si possono definire i seguenti tipi di servizio:

- Servizio di otto ore

Servizio nel quale i contatti principali di un apparecchio rimangono chiusi, percorsi da una corrente costante per un periodo di tempo sufficiente a consentire il raggiungimento dell'equilibrio termico, ma comunque non superiore a 8 ore, senza interruzione.

Note:

- Questo è il servizio fondamentale secondo il quale vengono determinate le correnti convenzionali termiche I_{th} e I_{the} dell'apparecchio.
- Interruzione significa interruzione della corrente per effetto della manovra dell'apparecchio.

- Servizio ininterrotto

Servizio in cui non vi sono intervalli senza corrente, e i contatti principali dell'apparecchio rimangono chiusi, percorsi da una corrente costante, per durate di tempo superiori a 8 ore (settimane, mesi o anche anni);

Nota - Questo tipo di servizio è tenuto separato da quello di 8 ore, in quanto ossidi e sporcizia possono accumularsi sui contatti e portare a un progressivo riscaldamento. Si può tenere conto del servizio ininterrotto o mediante un coefficiente di declassamento, o adottando speciali soluzioni di progetto (per es. contatti in argento).

- Categoria di utilizzazione A

Questo tipo di classificazione, definita dalla norma CEI EN 60947-2, consente di suddividere gli interruttori in due tipologie, in funzione della loro capacità di realizzare la selettività cronometrica in cortocircuito. Gli interruttori classificati di categoria A, non sono idonei per costruzione e caratteristiche a realizzare la selettività cronometrica in cortocircuito, e di conseguenza intervenire con un certo ritardo breve intenzionale, nel coordinamento con altri dispositivi di protezione presenti nel circuito. In conseguenza di ciò non è prevista per questi apparecchi la corrente ammissibile di breve durata I_{cw} .

- Categoria di utilizzazione B

Gli interruttori classificati di categoria B, sono invece idonei per costruzione e caratteristiche a realizzare la selettività cronometrica in cortocircuito. Questi apparecchi sono in grado di intervenire su cortocircuito con un certo ritardo intenzionale fisso o regolabile. Per poter essere però classificati di categoria

B, è necessario anche che siano in grado di sopportare i valori di I_{cw} definiti dalla norma e necessariamente dichiarati e garantiti dal costruttore.

Categoria di utilizzazione	Applicazione per la selettività
A	Interruttori non specificamente previsti per la selettività nelle condizioni di cortocircuito, rispetto ad altri dispositivi di protezione posti in serie lato carico, cioè senza ritardo intenzionale applicabile in condizioni di cortocircuito, e perciò senza specificazione di corrente nominale di breve durata.
B	Interruttori specificamente previsti per la selettività in condizioni di cortocircuito, rispetto ad altri dispositivi di protezione posti in serie lato carico, cioè con un ritardo intenzionale (che può essere regolabile) applicabile in condizioni di cortocircuito. Questi interruttori hanno specificata la corrente nominale di breve durata.

Tabella 4 della Norma CEI 17-5

4.1.3 Correnti convenzionali

- Corrente convenzionale di non intervento I_{nf}

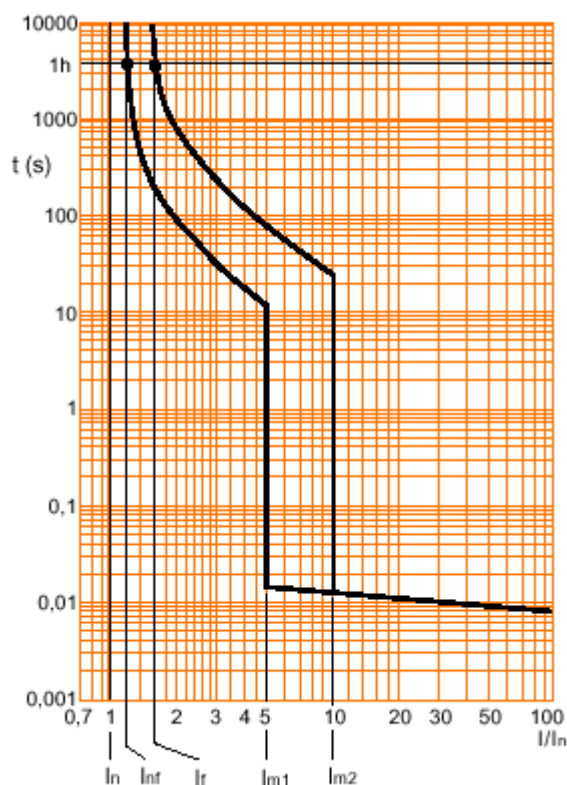
Questo valore rappresenta la sovracorrente per la quale non si realizza l'apertura di un interruttore magnetotermico (o elettronico) in un dato tempo convenzionale.

Questo valore cambia a seconda della norma di riferimento alla quale l'interruttore risponde come riportato di seguito.

- Corrente convenzionale di intervento I_f

Questo valore rappresenta invece la sovracorrente per la quale si realizza l'apertura di un interruttore magnetotermico (o elettronico) nel tempo convenzionale indicato nelle norme.

Norma	I_{nf}	I_f	Tempo convenzionale
CEI EN 60898 per impianti domestici e similari	$1.13 I_n$	$1.45 I_n$	1 ora per $I_n \leq 63A$ 2 ore per $I_n > 63A$
CEI EN 60947-2 per impianti industriali	$1.05 I_n$	$1.3 I_n$	1 ora per $I_n \leq 63A$ 2 ore per $I_n > 63A$



Caratteristica tempo corrente di un interruttore automatico magnetotermico

4.1.4 Potere di chiusura e di interruzione

Le definizioni dei poteri di chiusura e interruzione, vengono specificate dalla Norma:

- **Potere di interruzione nominale estremo in cortocircuito I_{cu}**

Rappresenta la massima prestazione che un interruttore ha in condizioni di cortocircuito.

Il valore dichiarato coincide con la massima corrente di cortocircuito presunta in KA (valore efficace della componente simmetrica della corrente di c.c.) che l'interruttore, rispondente alla norma CEI 17-5 EN 60947-2, può interrompere ad una determinata tensione di impiego, alla frequenza nominale e per determinato fattore di potenza, secondo la sequenza di prova O-t-CO.

Nota: O indica la manovra d'apertura (Open)

CO indica la manovra di chiusura e apertura senza intervallo

t indica l'intervallo tra due manovre successive

La suddetta stringa si legge nel seguente modo:

apre - resta aperto per un intervallo pari a t - chiude e apre senza ritardo

In seguito alla prova l'interruttore deve essere in grado di operare correttamente in apertura e chiusura, garantire la protezione dal sovraccarico, ma può non essere in grado di portare con continuità la sua corrente nominale.

I costruttori possono attribuire ad uno stesso apparecchio più poteri

d'interruzione riferiti però a tensioni di prova differenti. Non sono previsti limiti per il potere d'interruzione estremo.

- Potere d'interruzione nominale di servizio in cortocircuito I_{cs}

Questo valore dalle CEI 17-5 (EN 60947-2), rappresenta il massimo valore di corrente di cortocircuito presunta (valore efficace della componente simmetrica della corrente di c.c.) che l'interruttore può interrompere, ad una determinata tensione di impiego, alla frequenza nominale e per determinato fattore di potenza, secondo la sequenza di prova O-t-CO-t-CO.

Per questo valore è prevista un'interruzione in più su cortocircuito rispetto alla prova prevista per I_{cu} . In seguito alla prova l'interruttore deve essere in grado di operare correttamente in apertura e chiusura, garantire la protezione dal sovraccarico e deve portare con continuità la sua corrente nominale.

Per gli apparecchi conformi alla norma CEI EN 60947-2 questo valore è espresso in percentuale di I_{cu} scegliendolo tra 25-50-75-100%.

- Potere di chiusura nominale in cortocircuito I_{cm}

E' espresso dalla Norma CEI 17-5 (EN 60947-2) come massimo valore di picco della corrente presunta, riferito ad una determinata tensione di impiego alla frequenza nominale e ad un determinato fattore di potenza. Il legame tra

I_{cm} ed il potere di interruzione in cortocircuito è definito nella Tabella di seguito.

Potere di interruzione estremo in cortocircuito (KA)	Fattore di potenza	Valore minimo del fattore $n = \text{Potere di chiusura} / I_{cu}$
$4.5 < I_{cu} \leq 6$	0,7	1,5
$6 < I_{cu} \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I_{cu} \leq 20$	0,3	2,0
$20 < I_{cu} \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I_{cu}$	0,2	2,2

Tabella 2 Norma CEI 17-5

4.1.5 Dati caratteristici dell'Interruttore

I dati caratteristici dell'interruttore, da riportare in modo indelebile sullo stesso, sono principalmente i seguenti:

- tensione e corrente nominale
- tipo di corrente (alternata o continua)
- categoria di utilizzazione
- potere di interruzione nominale
- potere di chiusura nominale

All'esterno deve figurare almeno l'indicazione della corrente nominale e della posizione di aperto o chiuso; se gli sganciatori sono di tipo regolabile, la corrente regolata o il campo di regolazione, devono essere indicati sulla scala graduata o sullo stesso sganciatore, se invece quest'ultimi non sono regolabili,

la corrente di intervento può essere indicata direttamente sull'interruttore. Se gli sganciatori soddisfano le prescrizioni della Tabella 6 delle norme (ultima riga della Tabella precedente), è sufficiente che l'interruttore sia marcato con la sua corrente nominale. Le norme non citano, fra le caratteristiche dell'interruttore, l' $I^2 t$ di intervento, che si rileva assai importante nella scelta e nel coordinamento delle protezioni.

Ne viene però fornita la definizione dalla Norma CEI 17-5:

- Caratteristica $I^2 t$ o integrale di joule di un interruttore

Informazione di solito sotto forma di curva, che fornisce i massimi valori di $I^2 t$, relativi alla durata massima d'interruzione in funzione della corrente presunta (valore efficace della componente simmetrica), fino al massimo valore della corrente presunta, corrispondente al potere d'interruzione nominale e alla tensione associata.

4.1.6 Sganciatori di sovracorrente

Sono definiti sganciatori i dispositivi di protezione che determinano l'apertura automatica dell'interruttore.

La Norma CEI 17-5 (EN 60947-2) ne considera diversi tipi per i quali si riportano le seguenti definizioni:

- Sganciatore di corrente in chiusura

Sganciatore che provoca l'apertura dell'interruttore senza ritardo intenzionale, durante un'operazione di chiusura, se la corrente stabilita supera un valore determinato, e che è reso inoperante quando l'interruttore è nella posizione di chiuso.

- Sganciatore di cortocircuito

Sganciatore di sovracorrente destinato alla protezione contro il cortocircuito.

- Sganciatore di cortocircuito con tempo di ritardo breve

Sganciatore di sovracorrente destinato a provocare l'apertura dell'interruttore alla fine del breve tempo di ritardo.

Il funzionamento degli sganciatori, dipende dal tipo di protezione che s'intende realizzare. La protezione contro i cortocircuiti, viene ottenuta con sganciatori di massima corrente ad azione istantanea o con un breve ritardo indipendente dal valore della corrente (questo quando si desidera realizzare una selettività fra interruttori in serie fra loro). La protezione contro i sovraccarichi, viene invece ottenuta con sganciatori il cui tempo d'intervento dipende dall'entità del sovraccarico (a tempo dipendente o ad azione termica). Si possono infine avere sganciatori di minima tensione, che provocano

l'apertura dell'interruttore in caso di mancanza di tensione o se la tensione scende al di sotto di un determinato valore.

I vari tipi di relè o sganciatori vengono così definiti dalla norma CEI 17-44 (EN 60947-1):

- Relè o sganciatore Istantaneo

Relè o sganciatore che interviene senza alcun ritardo intenzionale.

- Relè o sganciatore di sovracorrente

Relè o sganciatore che provoca l'apertura di un dispositivo meccanico di manovra con o senza ritardo intenzionale, quando la corrente nel relè o sganciatore supera un valore predeterminato.

Nota - In certi casi, tale valore può dipendere dalla velocità d'aumento della corrente.

- Relè o sganciatore di sovracorrente a ritardo indipendente

Relè o sganciatore di sovracorrente che agisce con un ritardo definito che può essere regolabile, ma è indipendente dal valore della sovracorrente.

- Relè o sganciatore di sovracorrente a tempo inverso

Relè o sganciatore di massima corrente, che agisce dopo un tempo inversamente proporzionale al valore della sovracorrente.

Nota - Un relè o sganciatore del genere, può essere realizzato in modo che il ritardo si avvicini ad un minimo definito per valori elevati di corrente.

- Relè o sganciatore primario di sovracorrente

Relè o sganciatore di massima corrente direttamente alimentato dalla corrente del circuito principale del dispositivo meccanico di manovra.

- Relè o sganciatore secondario di sovracorrente

Relè o sganciatore di massima corrente alimentato dalla corrente del circuito principale di un dispositivo meccanico di manovra, tramite un trasformatore di corrente o un derivatore.

- Relè o sganciatore di sovraccarico

Relè o sganciatore di massima corrente destinato alla protezione contro il sovraccarico

- Relè o sganciatore termico di sovraccarico

Relè o sganciatore di sovraccarico a tempo inverso la cui azione (compreso il ritardo) è determinata dall'effetto termico della corrente che percorre il relè o sganciatore stesso.

- Relè o sganciatore magnetico di sovraccarico

Relè o sganciatore di sovraccarico la cui azione è determinata dalla forza generata dalla corrente circolante nel circuito principale eccitando la bobina di un elettromagnete.

Nota - Un tale relè o sganciatore generalmente ha una caratteristica inversa tempo di ritardo/corrente.

- Predisposizione del tempo d'intervento degli sganciatori di sovracorrente

Norma CEI 17-5 (EN 60947-2)

a) Sganciatori con ritardo indipendente dalla sovracorrente

Il tempo di ritardo di questi sganciatori è indipendente dalla sovracorrente. Il tempo di ritardo predisposto, deve essere stabilito come durata in secondi del tempo d'apertura dell'interruttore se il ritardo non è regolabile, o come valori estremi del tempo d'apertura se il ritardo è regolabile.

b) Sganciatori di sovracorrente a tempo inverso

Il tempo di ritardo di questi sganciatori dipende dal valore della sovracorrente. Le caratteristiche tempo-corrente devono essere date in forma di curve fornite dal costruttore. Esse devono indicare come il tempo d'apertura, partendo da freddo, vari con la corrente entro il campo d'intervento dello sganciatore.

Queste curve devono essere date per i valori limite superiore e inferiore della corrente regolata, e se il ritardo prestabilito per una data corrente regolata è a sua volta regolabile, è raccomandato che esse siano date anche per ogni valore limite della regolazione del ritardo.

Il **tempo d'intervento convenzionale**, per gli sganciatori a tempo inverso, deve comunque corrispondere a quanto indicato dalla Tabella 6 della Norma CEI 17-5:

lo sganciatore, percorso dal primo valore di corrente, non deve intervenire per un tempo inferiore a quello convenzionale; percorso successivamente dal secondo valore di corrente, deve intervenire sicuramente entro tale tempo.

Tutti i poli percorsi da corrente		
Corrente convenzionale di non intervento	Corrente convenzionale d'intervento	Tempo convenzionale (ore)
1,05 volte la corrente regolata	1,30 volta al corrente regolata	2 per $I_n > 63$ A 1 per $I_n < 63$ A

Caratteristiche d'intervento degli sganciatori di sovracorrente alla temperatura di riferimento

Tabella 6 della Norma CEI 17-5

Per gli sganciatori con ritardo indipendente dalla sovracorrente, l'intervento deve avvenire entro il tempo determinato, con le seguenti tolleranze rispetto al valore di regolazione:

± 20% per gli sganciatori di cortocircuito;

$\pm 10\%$ per gli sganciatori di sovraccarico.

Il valore d'intervento può essere fisso o regolabile, come indica l'articolo seguente:

Norma CEI 17-5 (EN 60947-2)

- Corrente regolata degli sganciatori di sovracorrente

Per gli interruttori muniti di sganciatori regolabili, la corrente regolata (o il campo di regolazione della corrente, se applicabile) deve essere indicata sullo sganciatore o sulla sua scala graduata. L'indicazione può essere data direttamente in ampere, o espressa come multiplo del valore della corrente indicata sullo sganciatore. Per gli interruttori muniti di sganciatori non regolabili, l'indicazione può essere data sull'interruttore. Se le caratteristiche d'intervento dello sganciatore di sovraccarico soddisfano le prescrizioni della Tabella 6, è sufficiente che l'interruttore sia marcato con la sua corrente nominale I_n .

Nel caso di sganciatori indiretti (secondari) alimentati da trasformatori di corrente, l'indicazione di corrente può essere riferita alla corrente primaria del trasformatore attraverso cui essi sono alimentati, oppure può essere la corrente regolata dello sganciatore di sovracorrente. In entrambi i casi deve essere indicato il rapporto del trasformatore di corrente.

Se non diversamente specificato:

- il valore d'intervento degli sganciatori di sovracorrente che non siano di tipo termico è indipendente dalla temperatura ambiente entro i limiti da -5 a +40°C;
- per gli sganciatori di tipo termico, i valori indicati valgono per una temperatura ambiente di 30 ± 2 °C. Il costruttore deve poter precisare l'influenza delle variazioni della temperatura ambiente.

4.1.7 Caratteristiche d'intervento magnetico

La norma CEI EN 60898 (che si occupa d'interruttori automatici per impianti domestici e similari) indica tre diverse soglie d'intervento magnetico alle quali gli interruttori automatici possono intervenire. Le soglie d'intervento B,C,D rappresentano, di fatto, degli specifici campi di applicazione nei quali gli interruttori possono operare.

Curva	Soglia di intervento	Campo di applicazione
B	$3 \div 5 I_n$	Protezione di generatori o di cavi di notevole lunghezza
C	$5 \div 10 I_n$	Protezione di cavi ed impianti che alimentano utilizzatori normali
D	$10 \div 20 I_n$	Protezione di cavi che alimentano utilizzatori con elevate correnti di spunto

La norma CEI EN 60947-2 (che si occupa degli interruttori automatici per impianti industriali) non indica alcuna caratteristica di intervento magnetico

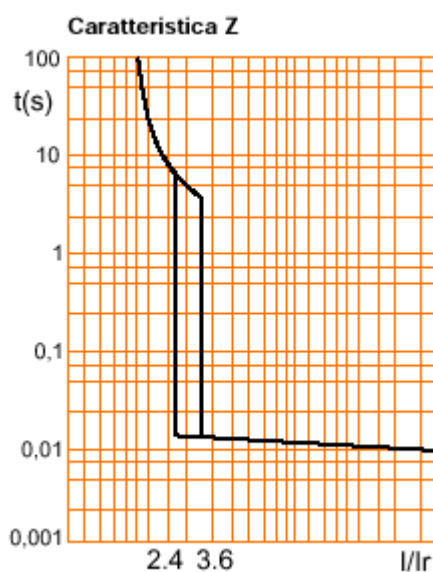
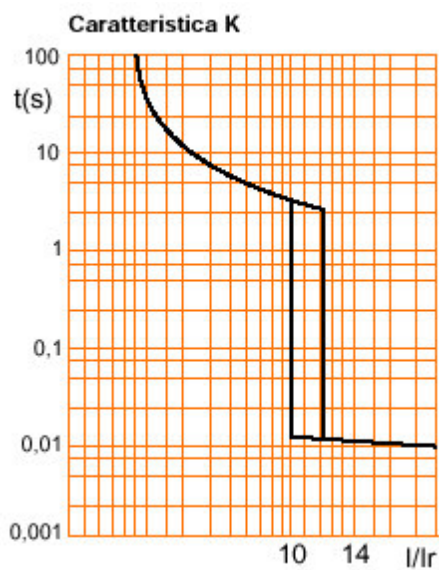
lasciando al costruttore la libertà di realizzare apparecchi con soglie differenziate.

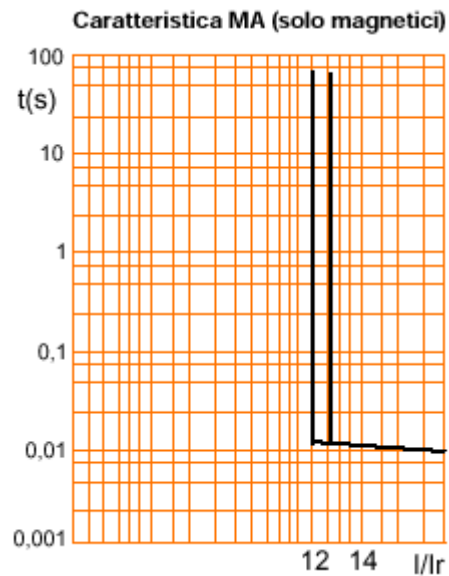
- Caratteristiche di intervento magnetico K-Z-MA

Queste caratteristiche vengono definite dal costruttore che le riferisce alla norma CEI EN 60947-2 e rappresentano delle soglie magnetiche di intervento differenti.

Gli apparecchi con queste caratteristiche possono essere impiegati come riportato nella Tabella di seguito.

Curva	Soglia di intervento	Campo di applicazione
Z	$2,4 \div 3,6 I_n$	Protezione dei circuiti elettronici
K	$10 \div 14 I_n$	Protezione dei cavi che alimentano elevate correnti di spunto
MA	$12 \div 14 I_n$	Protezione dei motori dove non è richiesta la protezione termica





4.1.8 Tempi di apertura, d'arco, d'interruzione e di chiusura

Altre grandezze caratteristiche degli interruttori, implicitamente introdotte parlando di apertura e chiusura di un circuito, riguardano la durata delle suddette manovre.

Tra l'istante in cui viene applicato il comando al dispositivo di apertura, e l'istante in cui i contatti si allontanano e scocca l'arco, intercorre un intervallo di tempo che dipende dal tempo proprio di funzionamento dell'interruttore e da quello del dispositivo che consente l'apertura; quest'intervallo di tempo viene chiamato durata o tempo di apertura. Nel caso di un interruttore azionato direttamente dalla corrente da interrompere, l'inizio del tempo di apertura è l'istante corrispondente all'inizio di una corrente abbastanza intensa da causarne l'apertura. L'arco, una volta adescato, dura per un certo

periodo di tempo; l'intervallo di tempo intercorrente tra gli istanti di inizio e di estinzione definitiva dell'arco viene chiamato durata o tempo d'arco. L'intervallo somma della durata di apertura e di quella d'arco è detto durata o tempo di interruzione. Per quanto riguarda le operazioni di chiusura, l'intervallo di tempo tra l'istante di comando di chiusura ed il congiungimento dei contatti in tutti i poli, viene chiamato durata o tempo di chiusura.

Sempre con riferimento alle operazioni di apertura e di chiusura, vi è da fare una osservazione molto importante relativa al fatto che, per eliminare i guasti transitori (cioè quelli che si autoestingono), è particolarmente utile dotare gli interruttori di dispositivi di richiusura automatica. In caso di cortocircuito l'interruttore apre, ma in seguito si richiude automaticamente dopo un tempo brevissimo (richiusura rapida); se il guasto è transitorio questo si elimina. In alcuni casi è presente anche una successiva richiusura lenta, da usare nel caso di fallimento della prima. I benefici che si ottengono in termini di continuità del servizio sono evidenti.

4.1.9 Classificazione degli interruttori

Una prima classificazione degli interruttori, usualmente adottata, è legata al tipo di dielettrico impiegato quale mezzo di estinzione dell'arco. Tali dielettrici sono l'aria a pressione atmosferica, l'olio, l'esafluoruro di zolfo e il vuoto; essi assegnano il nome agli interruttori stessi che, pertanto, sono detti:

- interruttori in aria a deionizzazione magnetica
- interruttori in olio
- interruttori ad esafluoruro di zolfo
- interruttori sotto vuoto

Gli interruttori possono classificarsi anche in base al valore della tensione d'arco, che si stabilisce tra i poli durante il loro intervento. Si parla, infatti, di:

- interruttori a bassa resistenza d'arco, in cui la tensione d'arco è un'aliquota trascurabile della tensione del sistema;
- interruttori ad alta resistenza d'arco, in cui la tensione d'arco assume valori tali da modificare significativamente l'andamento nel tempo delle grandezze che interessano il fenomeno di interruzione.

In quest'ultimo tipo di interruttori, la tensione d'arco esercita un effetto benefico ai fini dell'interruzione per cui è possibile impiegare, come mezzo dielettrico tra i contatti dopo lo spegnimento naturale dell'arco stesso, un mezzo di qualità non eccelse quale l'aria. In questa categoria di interruttori sono inclusi gli interruttori in aria a pressione atmosferica.

Negli interruttori a bassa resistenza d'arco, in cui non si hanno i benefici derivanti dall'elevata tensione d'arco, è invece necessario impiegare come mezzo dielettrico tra i contatti dopo lo spegnimento naturale dell'arco, un dielettrico di buona qualità che garantisca un rapido ripristino della rigidità

dielettrica. Di questa categoria di interruttori fanno parte gli interruttori in olio e quelli ad esafluoruro di zolfo.

- Interruttori in aria a pressione atmosferica

Il principale tipo di interruttore in aria oggi in uso, è l'interruttore detto a soffio magnetico.

In quest'interruttore, quando il contatto mobile abbandona il contatto fisso, si produce un arco che per effetto termico si sposta verso l'alto, trasferendosi sui contatti ausiliari e determinando così l'inserzione di una bobina ausiliaria, detta bobina di soffio, che percorsa in serie dalla corrente d'arco, produce un campo magnetico. L'arco percorso da corrente, essendo immerso nel suddetto campo magnetico, è soggetto ad uno spostamento che, per come sono realizzate le connessioni della bobina, avviene verso delle piastre isolanti di materiale ceramico ad elevata capacità termica, le quali sono sagomate in modo tale da far sì che, mentre l'arco si allunga, esso segua un cammino sempre più lungo e tortuoso. In questo modo, l'arco si assottiglia, si allunga e viene facilmente raffreddato e deionizzato, per cui, al primo passaggio per lo zero della corrente, l'arco s'interrompe definitivamente.

Sempre nel campo degli interruttori in aria, un ulteriore tipo è l'interruttore limitatore.

La limitazione della corrente, si ottiene:

- riducendo al massimo il tempo di separazione dei contatti;
- facendo in modo che la tensione d'arco, che nasce all'atto della suddetta separazione, raggiunga in tempi brevissimi valori molto elevati, superiori al valore di picco della tensione di alimentazione, così da portare la corrente rapidamente a zero.

La separazione rapida dei contatti si può ottenere in svariati modi; uno dei più semplici ed impiegati, è quello in cui la separazione si ottiene sfruttando le forze elettrodinamiche di repulsione, che si stabiliscono tra i contatti percorsi dalla corrente di cortocircuito. I contatti fisso e mobile dell'interruttore, sono percorsi da correnti in senso opposto, il che dà luogo ad una chiara forza repulsiva di natura elettrodinamica tra gli stessi, che si va a sommare a quella di natura meccanica di allontanamento normalmente presente. Queste due azioni congiunte, ma soprattutto la prima, fanno sì che i contatti si allontanino in modo molto repentino. Poi per rendere particolarmente elevato il valore della tensione d'arco, si ricorre a particolari accorgimenti costruttivi delle camere di interruzione. Ad esempio, possono essere presenti due camere di estinzione, una superiore e l'altra inferiore, in cui vengono inviati per il raffreddamento e l'allungamento i due archi che scoccano tra i contatti ausiliari e mobili. Gli interruttori in aria sono impiegati principalmente nei sistemi di prima categoria; trovano applicazioni anche nel campo dei sistemi di seconda categoria e nessuna nel campo dei sistemi di terza categoria.

- Interruttori in olio

In questi interruttori l'arco si forma nell'olio, che a spese dell'energia posseduta dall'arco stesso si decompone e vaporizza, con produzione di prodotti carboniosi e di una considerevole quantità di idrogeno. Quest'ultimo riveste un ruolo fondamentale nel processo di interruzione, grazie soprattutto alla sua grande conducibilità termica dovuta all'elevata velocità delle sue leggerissime molecole. Gli interruttori utilizzati oggi sono a volume d'olio ridotto, in cui il processo di interruzione viene confinato entro camere di dimensioni ridotte, dette di interruzione, capaci di sopportare pressioni anche elevatissime (100-150 bar). Le suddette camere, delimitano la zona in cui l'arco può svilupparsi; esse sono di tre tipi, (a soffiaggio assiale, trasversale o misto), a seconda del verso di deflusso dei prodotti della decomposizione dell'olio. Il meccanismo di interruzione di questi interruttori si può descrivere in questo modo: al distacco meccanico dei poli scocca l'arco, che viene stirato verticalmente nella camera di interruzione che è piena d'olio; l'energia messa in gioco dall'arco determina la decomposizione e la vaporizzazione dell'olio, con notevole produzione di idrogeno che facilita lo scambio termico tra arco e dielettrico circostante; nello stesso tempo, attorno all'arco si ha anche la formazione di bolle, che generano elevati valori di pressione nei pressi dell'arco stesso, e quindi elevate differenze di pressione tra l'interno e l'esterno della camera di interruzione. In particolare, queste

differenze di pressione hanno un notevole effetto benefico, in quanto fanno in modo che:

- il gas defluisca rapidamente verso l'esterno attraverso gli ugelli di soffiaggio appositamente previsti e dimensionati;
- venga richiamato all'interno della camera, e quindi a contatto con l'arco, olio fresco in modo da aiutare il raffreddamento.

Il processo precedentemente esposto è detto di autosoffiaggio, proprio perché è l'arco stesso con la sua energia, senza interventi dall'esterno, a vaporizzare l'olio ed a creare i gradienti di pressione necessari al ricambio dell'olio stesso.

In questi interruttori è presente una sorta di autoregolazione, in quanto la massa d'olio interessata al processo di interruzione è proporzionale al calore prodotto, e quindi all'intensità della corrente da interrompere. Quando l'arco si spegne naturalmente per il passaggio per zero della corrente che lo percorre, si ha un rapidissimo ripristino della rigidità dielettrica, grazie soprattutto all'azione dei gradienti di pressione, che provvedono a sostituire velocemente il dielettrico consumato (olio decomposto) con olio fresco. Ne deriva da ciò che la curva di ripristino della rigidità dielettrica nel tempo, ha pendenza molto elevata. Gli interruttori a volume d'olio ridotto, hanno quindi un ottimo comportamento in presenza di tensioni di ritorno con velocità di crescita molto elevata. Gli interruttori a volume d'olio ridotto, possono essere costituiti da una o più camere di interruzione per polo poste in serie tra loro; il

ricorso alla interruzione multipla si ha al crescere della tensione. Gli interruttori in olio trovano applicazione nel campo dei sistemi di seconda e terza categoria e non hanno nessuna applicazione nei sistemi di prima categoria.

- Interruttori ad esafluoruro di zolfo (SF₆)

La molecola di SF₆ ha al centro un atomo di zolfo i cui sei elettroni di valenza sono utilizzati da sei atomi di fluoro per completare il guscio elettronico periferico; i sei atomi di fluoro sono posizionati attorno all'atomo di zolfo alle sei sommità di un ottaedro. L'interruzione, nel gas SF₆, è facilitata dalle seguenti favorevoli caratteristiche di questo gas:

- elevata rigidità dielettrica;
- elevato potere deionizzante;
- elevata conducibilità termica.

Il primo grosso pregio dell'SF₆ risiede nell'alto valore della rigidità dielettrica, superiore a quella dell'aria o di altri isolanti gassosi. Questo vantaggio è dovuto alle grosse dimensioni della sua molecola e alla sua capacità di dar luogo a collisioni anelastiche, che gli permettono di rallentare efficacemente eventuali elettroni liberi che il campo elettrico tende ad accelerare, e che costituiscono, come ben noto, i germi dell'arco. Alle suddette proprietà collisionali, si aggiunge un'ulteriore proprietà della

molecola di SF₆, che è quella di catturare temporaneamente un elettrone libero per formare uno ione negativo, meno mobile e quindi, meno capace di dar luogo ad ulteriori ionizzazioni. Questa attitudine, è conseguenza del carattere fortemente elettronegativo del fluoro, e dei suoi composti, i cui atomi sono delle vere e proprie “trappole” per gli elettroni. Questa azione di cattura, è particolarmente utile quando l’arco si spegne; la formazione immediata di ioni, tra l’altro pesanti e poco mobili, fa sì che si abbia un’accelerazione del processo di deionizzazione, e quindi, un’elevatissima velocità di ripristino della rigidità dielettrica. Durante la presenza dell’arco, entrano in gioco le particolari caratteristiche di conducibilità termica dell’SF₆, il quale raffredda fortemente quest’ultimo per convezione, e quindi gli viene sottratta un’elevata quantità di energia. Quando entra in azione l’interruttore, il contatto mobile si allontana da quello fisso e nasce l’arco; durante la corsa del contatto mobile l’arco si allunga, e nello stesso tempo l’SF₆ contenuto all’interno di una camera cilindrica, è compresso da un pistone e soffiato verso la zona in cui è scoccato l’arco. Durante l’operazione di apertura il nucleo dell’arco si dilata e ostacola l’efflusso di gas attraverso i contatti (effetto tappo) causando un ulteriore aumento della pressione nella camera cilindrica. All’approssimarsi dello zero di corrente l’effetto tappo scompare, e l’esafluoruro di zolfo in pressione defluisce rapidamente verso l’esterno sottraendo energia all’arco; è evidente che l’effetto tappo, causato dalla dilatazione del gas ad alta

temperatura, risulta molto utile nel caso di interruzioni di forti correnti, perché bloccando l'uscita del gas, permette di conservarne all'interno della camera una certa quantità, e di accrescerne la pressione, favorendo così il lavaggio dell'arco quando l'effetto tappo scompare all'approssimarsi dello zero di corrente. La curva di ripristino della rigidità dielettrica in tali interruttori, si presenta qualitativamente simile a quella degli interruttori ad olio ridotto. Un grande vantaggio dell' SF_6 , risiede nella proprietà di mantenere le caratteristiche dielettriche nel tempo, e quindi richiede pochissima manutenzione, ed inoltre si possono costruire apparecchiature di modeste dimensioni d'ingombro.

A fronte dei vantaggi, l' SF_6 pone qualche problema:

- mentre l' SF_6 non è tossico, i prodotti della sua decomposizione sono aggressivi specie quando sono presenti anche minime tracce di umidità;
- a una pressione di 18 atm, l' SF_6 diventa liquido alla temperatura di 14 °C, per cui se l'interruttore funziona a questa pressione e deve essere usato all'aperto, dovrà essere riscaldato. Gli interruttori a SF_6 trovano applicazione nel campo dei sistemi di seconda e terza categoria e non hanno nessuna applicazione nei sistemi di prima categoria.

- Interruttori sotto vuoto

Il meccanismo di interruzione nel vuoto, è essenzialmente diverso da quello di tutti gli altri tipi di interruttori. In presenza di un dielettrico “materiale”, l’arco è mantenuto dagli ioni dello stesso. Il vuoto è invece un dielettrico ideale, per cui idealmente non dovrebbe nascere alcun arco; le sue eccezionali caratteristiche di rigidità dielettrica, non sono dovute alla capacità che ha un gas di subire collisioni anelastiche che tolgono energia agli elettroni, ma al fatto che nel vuoto, teoricamente, di collisioni non se ne hanno, e pertanto non si può innescare il processo di formazione a valanga degli elettroni che sostengono l’arco. Nella realtà l’arco è presente anche negli interruttori sotto vuoto; esso è sostenuto da vapori metallici emessi dalle superfici dei contatti al momento della loro separazione, a causa del riscaldamento delle stesse superfici. Infatti, è proprio il vapore metallico ionizzato proveniente dallo strato superficiale dei contatti, che costituisce il veicolo di propagazione dell’arco. All’interno della camera, oltre ai soliti contatti fisso e mobile, è montato uno schermo metallico, sul quale si depositano i vapori metallici emessi dai contatti. Quando inizia l’allontanamento dei contatti, il passaggio della corrente attraverso le piccole asperità superficiali degli stessi, causa la formazione di vapore metallico, il quale sostiene l’arco che si stabilisce dopo la loro separazione. Al passaggio per lo zero della corrente, l’arco si estingue e cessa l’asportazione di particelle metalliche dai contatti, e quelle che erano

presenti nell'arco si condensano sui contatti e sullo schermo metallico all'uopo predisposto. Il ripristino della rigidità dielettrica avviene in pochi microsecondi. Grazie agli elevati valori di rigidità dielettrica, gli interruttori sotto vuoto hanno ingombri molto ridotti, potendosi ridurre la distanza tra i contatti a interruttore aperto. Gli interruttori sotto vuoto vengono utilizzati in genere nei sistemi di seconda categoria.

4.1.10 Effetto di limitazione dell'arco in corrente alternata

Prima di concludere la panoramica sugli interruttori, è necessario soffermare l'attenzione sul fenomeno della limitazione della corrente di cortocircuito da parte della tensione d'arco. Questo fenomeno, di cui si è già parlato precedentemente, assume una particolare importanza nel campo della bassa tensione, dove viene sfruttato in alcuni tipi di interruttori che sono detti appunto limitatori, già definiti precedentemente; tali interruttori evitano che la corrente di cortocircuito assuma il valore massimo, facendo in modo che la tensione d'arco assuma in tempi brevissimi un valore superiore al valore massimo della tensione di alimentazione. Per rendersi conto, in linea di principio, di come funzioni un dispositivo limitatore della corrente di cortocircuito, è sufficiente considerare lo schema di Figura 4.1.1, dove è stata trascurata la resistenza rispetto alla reattanza. Se si indica con $e(t)$ la tensione

di alimentazione del circuito, e con $v_a(t)$ la tensione d'arco che si stabilisce nel dispositivo di interruzione,

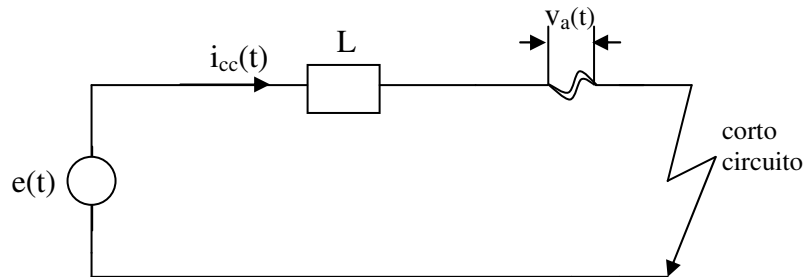


Figura 4.1.1

si ha ai valori istantanei:

$$e(t) = L \frac{di_{cc}(t)}{dt} + v_a(t)$$

perché la corrente diminuisca, invece di crescere, deve essere:

$$\frac{di_{cc}(t)}{dt} = \frac{1}{L} [e(t) - v_a(t)] < 0$$

e quindi:

$$v_a(t) > e(t)$$

Se quindi la tensione d'arco $v_a(t)$ supera quella d'alimentazione del circuito, prima che la corrente raggiunga il suo valore massimo, il dispositivo

d'interruzione funge da limitatore della corrente di cortocircuito. La Figura 4.1.2 sintetizza bene quanto fin qui detto:

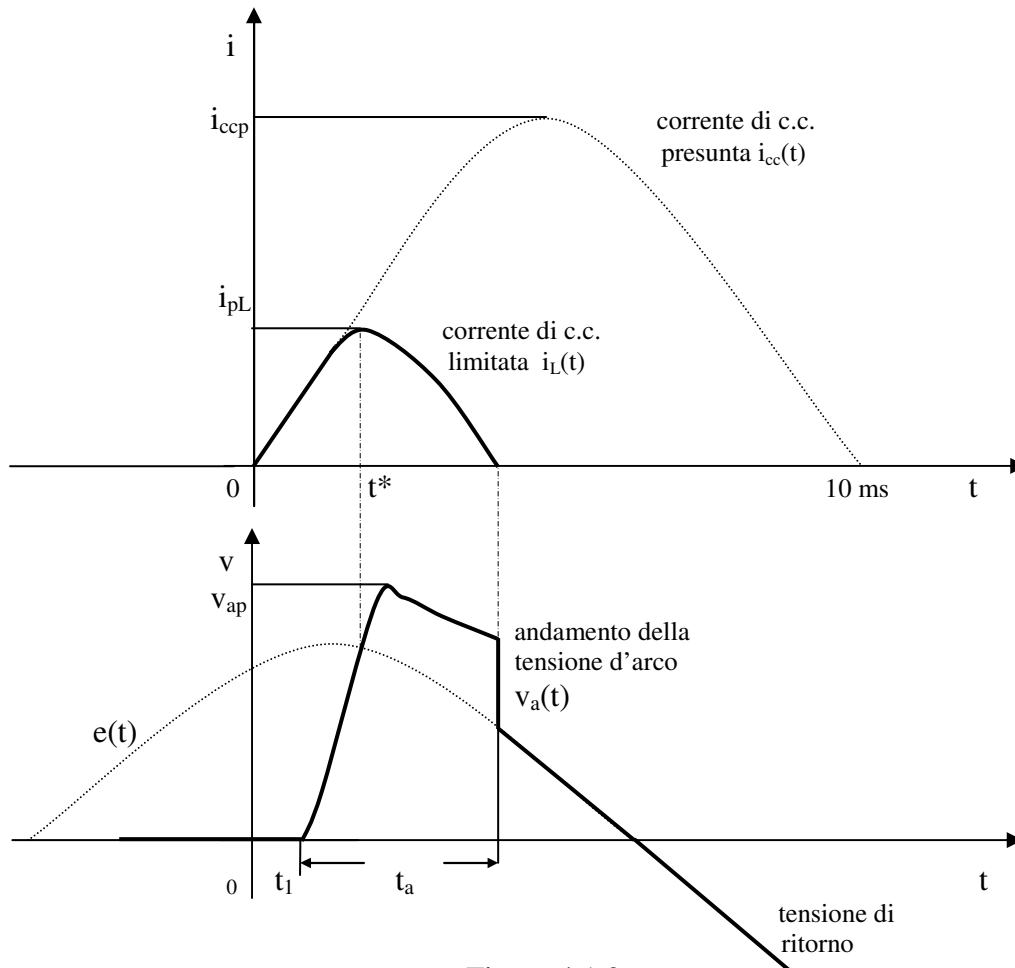


Figura 4.1.2

In essa si è indicato con $i_{cc}(t)$ l'andamento nel tempo della corrente di cortocircuito, in assenza dell'effetto limitatore, e con $i_L(t)$ il corrispondente andamento in presenza di tal effetto; nella stessa Figura si è anche indicato, con $e(t)$ la tensione d'alimentazione e con $v_a(t)$ quella d'arco; da notare la

corrispondenza tra il massimo della corrente limitata i_{pL} e l'istante in cui la tensione d'arco $v_a(t^*)$ uguaglia quella di rete $e(t^*)$.

Un fusibile è per sua natura un limitatore di corrente; ma anche un interruttore, se opportunamente progettato, può limitare la corrente di cortocircuito. L'interruttore limitatore, è realizzato tecnologicamente in modo tale che:

- i suoi contatti cominciano ad allontanarsi in tempi brevissimi, in modo da diminuire quello d'apertura (ad es. utilizzando le forze elettrodinamiche per favorire l'allontanamento dei contatti);
- aumento rapido della tensione d'arco (mediante allungamento, raffreddamento e frazionamento dell'arco).

In un tal tipo d'interruttore si avrà che la tensione d'arco $v_a(t)$, compare ai capi dei poli dell'interruttore pochissimi istanti dopo il cortocircuito, t_1 nella Figura. A partire da quest'istante, man mano che i poli dell'interruttore si allontanano, la tensione d'arco cresce rapidamente e raggiunge, nell'istante t^* , il valore della tensione d'alimentazione, per poi superare tale valore negli istanti successivi. A partire dall'istante t^* , la derivata della corrente diventa negativa, e tende a diminuire fino ad annullarsi. Come appare chiaramente dalla Figura, la corrente di cortocircuito limitata, assume un valore massimo i_{pL} decisamente inferiore al valore di picco della corrente di cortocircuito presunta i_{ccp} , che è assunto in assenza dell'effetto limitatore.

Il rapporto:

$$C = i_{pL} / i_{ccp}$$

è detto coefficiente di limitazione dell'interruttore.

Un altro rapporto notevole è quello tra il valore di picco della tensione d'arco v_{ap} e il valore massimo della tensione di rete e_p :

$$K = v_{ap} / e_p$$

Il coefficiente di limitazione C è funzione diretta del tempo di pre-arco (apertura) e funzione inversa della tensione d'arco.

Dal diagramma di Figura 4.1.3, che quantifica tale fenomeno si può dedurre che anche gli interruttori di tipo standard con lunghi tempi di pre-arco (3 ms) e tensioni d'arco assai scarse (25% di e_{max} di rete) hanno coefficienti di limitazione attorno al valore 0,8 (cioè limitano di circa il 20% la corrente di picco teorica).

Gli interruttori limitatori dell'ultima generazione possono avere tempi di pre-arco inferiori a 1 ms e tensioni d'arco elevate realizzando coefficienti di limitazione inferiori a 0,2. Ciò significa che, per esempio, una corrente di picco teorica di 10 kA è limitata a solo 2 kA.

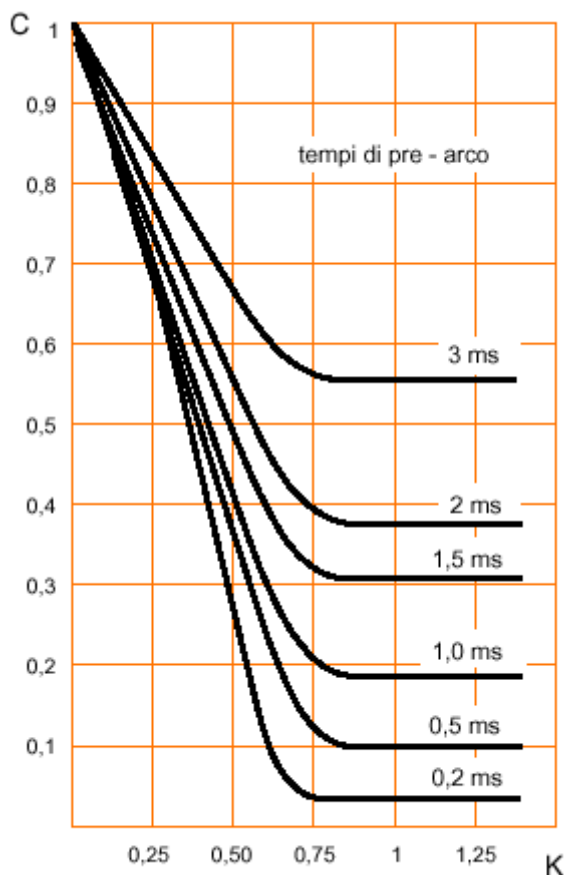


Figura 4.1.3

Curve d'andamento del coefficiente di limitazione C in funzione del rapporto v_{ap} / e_p , parametrizzate ai tempi di pre-arco

L'interruttore limitatore di corrente, grazie al suo modo di operare, ha un potere d'interruzione molto più elevato dei normali interruttori automatici. Da quanto sopra emerge chiaramente che un dispositivo limitatore di corrente, per funzionare come tale, genera nel circuito delle sovratensioni; nelle norme sono stabiliti i limiti che non devono essere oltrepassati, nella costruzione dei dispositivi limitatori, per evitare eccessive sollecitazioni all'isolamento dei componenti dell'impianto. Disporre di interruttori limitatori, vuol dire ridurre gli effetti termici con conseguente riduzione del surriscaldamento dei cavi, gli effetti meccanici ed elettromagnetici, migliorare la selettività ed il back-up nel coordinamento tra più apparecchi.

La caratteristica di limitazione di un dispositivo limitatore indica, per ciascun valore efficace I_{cc} della corrente di cortocircuito presunta, il valore (di picco) della corrente limitata, in condizioni specificate. Esempi di caratteristiche di limitazione sono riportati nella Figura 4.1.4:

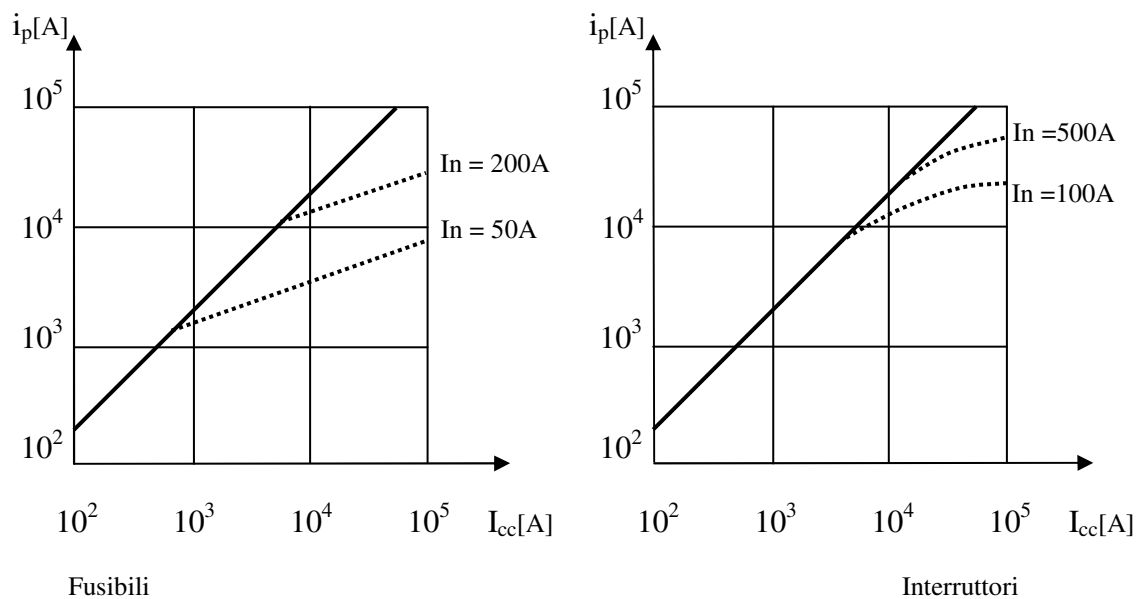


Figura 4.1.4

La retta a tratto pieno indica il valore di primo picco che, nelle condizioni di massima asimmetria (funzione della fase iniziale della tensione, ed è massima quando questa è nulla) e per $\cos\phi = 0,25$ è pari a 2,1 volte il valore efficace della corrente presunta. In altri termini, lungo la retta a tratto pieno il dispositivo di interruzione non si comporta come un limitatore di corrente. Le linee tratteggiate indicano le correnti limitate (valori di picco) per ciascun valore (efficace) della corrente presunta di cortocircuito. La Figura mostra

chiaramente che un dispositivo limita la corrente solo oltre un determinato valore della corrente presunta di cortocircuito. Va da sé che, limitando la corrente di cortocircuito, si riduce l' I^2t passante attraverso il dispositivo di protezione, e soprattutto diminuiscono le sollecitazioni elettrodinamiche dei componenti dell'impianto, le quali come noto, dipendono dal quadrato della corrente di cortocircuito. Le Figura 4.1.5, mostra qualitativamente come le caratteristiche d'intervento e dell' I^2t passante di due interruttori, dei quali l'uno "rapido" e l'altro limitatore siano sovrapposte fino al punto "a", ed in seguito si biforcano dando luogo a caratteristiche differenti; si nota come vi sia differenza sia sui tempi d'intervento, sia sull' I^2t passante, per correnti superiori a quella che interseca le curve nel punto "a".

Per giustificare il differente comportamento sull' I^2t passante, si può considerare la Figura 4.1.6, dove sono rappresentati i diversi andamenti relativi alle correnti lasciate passare, rispettivamente, da un interruttore limitatore e da uno a zero di corrente (rapido). Si può notare che mentre nel primo la corrente si annulla in tempi brevissimi, nel secondo la corrente va a zero dopo 10ms (cioè nel suo passaggio naturale per lo zero).

Considerando che, l'area racchiusa dalla corrente limitata (tratteggiata nella Figura), è in parte (si deve considerare la $i^2(t)$) rappresentativa dell'energia $\int i^2 dt$ lasciata passare dagli interruttori, si può quindi facilmente osservare la differenza di comportamento tra i due tipi di interruttori.

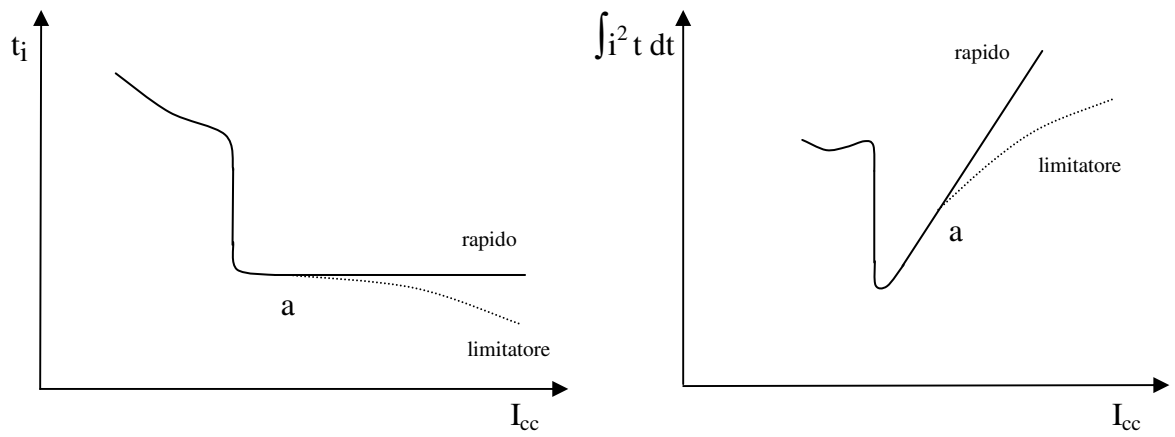


Figura 4.1.5

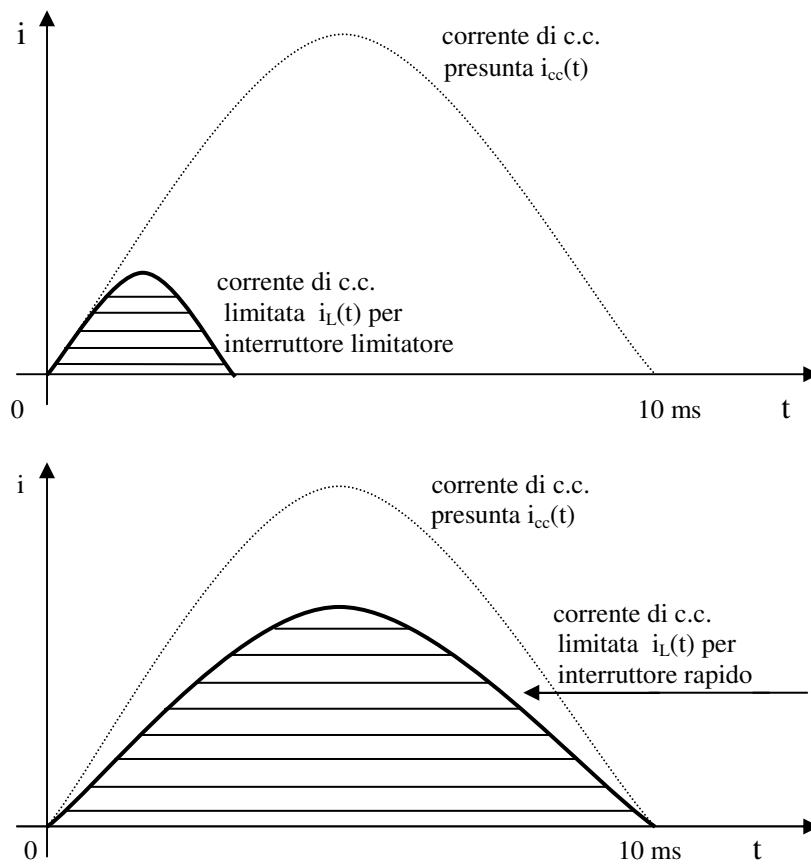


Figura 4.1.6

Bisogna infine ricordare che alla categoria degli interruttori limitatori appartiene anche “l’interruttore automatico con elevata impedenza intrinseca”.

In questi interruttori automatici l’impedenza delle vie di corrente, con gli avvolgimenti di riscaldamento delle lamine bimetalliche e le bobine dello sganciatore elettromagnetico istantaneo di cortocircuito, è molto elevata. L’impedenza è di valore così elevato che smorza qualsiasi corrente di cortocircuito, a un valore tale da poter essere interrotto e sopportato termicamente e dinamicamente dall’apparecchio. Per questo l’apparecchio con queste caratteristiche è detto “autoprotetto”.

4.2 Fusibili

Generalità

Scopo del dispositivo denominato fusibile, è quello di proteggere linee e apparecchi da sovracorrenti. Il fusibile è un componente che, mediante la fusione di una sua parte, interrompe automaticamente la corrente nel circuito in cui è inserito, quando questa supera un determinato valore, per una durata sufficiente. Esso è in grado di interrompere le correnti di sovraccarico e di cortocircuito; la protezione si realizza quindi con l'interruzione dello stesso dispositivo. Il fusibile presenta caratteristiche costruttive e un principio di funzionamento, completamente diversi da quelli degli altri apparecchi di protezione. In esso è, infatti, presente una "parte sottile" detta elemento fusibile, che è costituita da uno o più conduttori a forma di filo o di nastro, e che fondendo determina l'interruzione della corrente. E' evidente, che affinché l'elemento fusibile fonda, è necessario che entri in gioco un'opportuna quantità di energia termica. Il processo di fusione è irreversibile, ne consegue che il fusibile, una volta intervenuto, va sostituito; questo è il suo principale inconveniente.

L'elemento completo si compone generalmente di due parti, una fissa detta portafusibile, alla quale sono portati i conduttori di collegamento, e una mobile detta anche cartuccia, costituita dal fusibile vero e proprio che, dovendo essere sostituita dopo ogni intervento, deve risultare asportabile e

inseribile con facilità. In alcuni casi, per fusibili speciali, il portafusibile manca e la cartuccia stessa è collegata all'apparecchiatura tramite bulloni. Le Norme CEI riguardanti i fusibili e relativi accessori, sono contenute in una serie di fascicoli aventi come titolo comune:

Fusibili a tensione non superiore a 1000 V c.a. ed a 1500 V c.c. (altri fascicoli si occupano di fusibili a tensione più elevata).

Fascicolo 32-1 Parte I: prescrizioni generali.

Questo fascicolo, conforme alla Norma Europea EN 60269-1 ed alla pubblicazione IEC 269-1, riguarda in modo generale, definizioni, classificazioni e metodo di prova.

Fascicolo 32-4 Parte II: prescrizioni supplementari per uso di fusibili da parte di persone addestrate (principalmente per uso industriale).

Questo fascicolo è conforme alla Pubblicazione IEC 269-2 e completa la parte I per quanto riguarda i fusibili in questione.

Fascicolo 32-5 Parte III: prescrizioni supplementari per uso di fusibili da parte di persone non addestrate (principalmente per applicazioni domestiche e simili). Conforme alla Pubblicazione IEC 269-3, completa la parte I per quanto riguarda i fusibili in questione;

Fascicolo 32-7 Parte IV: Norme supplementari per le cartucce a protezione di dispositivi a semiconduttori.

Contiene la traduzione della Pubblicazione IEC 269-4 e completa la parte I per quanto riguarda i fusibili in questione.

4.2.1 Caratteristiche generali e definizioni

Le principali definizioni dei termini usati nei fascicoli suddetti sono le seguenti:

Norma CEI 32-1 (EN 60269-1)

- Fusibile

Dispositivo che mediante la fusione di uno o più elementi fusibili, a tal fine progettati e proporzionati, apre il circuito nel quale è inserito interrompendo la corrente, quando essa supera un valore specificato per una durata sufficiente. Il fusibile comprende tutte le parti che costituiscono il dispositivo completo.

- Supporto della cartuccia

Assieme di base e portacartuccia. In questa Norma, quando si usa il termine supporto della cartuccia, si intende la base del fusibile e il portacartuccia, se non è necessaria una netta distinzione tra i due termini.

- Base del fusibile

Parte fissa del fusibile, munita di contatti e morsetti ed eventuali calotte.

- Portacartuccia

Parte amovibile del fusibile prevista per tenere in posto le cartucce.

- Cartuccia

Parte del fusibile comprendente l'elemento fusibile (o gli elementi fusibili) prevista per essere sostituita dopo che il fusibile ha operato.

- Elemento fusibile

Parte della cartuccia prevista per fondere quando il fusibile opera. La cartuccia può comprendere più elementi fusibili in parallelo.

- Calibratore

Parte addizionale della base destinata ad assicurare un grado di non intercambiabilità.

- Cartuccia a fusione chiusa

Cartuccia nella quale l'elemento fusibile o gli elementi fusibili sono completamente racchiusi in modo tale che durante il funzionamento, entro i

valori nominali, non si produca alcuna manifestazione esterna pericolosa dovuta per esempio a sviluppo d'arco, a emissione di gas o a eiezione di fiamma o di particelle metalliche.

- Cartuccia limitatrice di corrente

Cartuccia che, operando in un determinato campo di valori di corrente, limita la corrente ad un valore notevolmente inferiore al valore di picco della corrente presunta.

- Cartuccia g (precedentemente cartuccia per uso generale)

Cartuccia limitatrice di corrente, in grado di interrompere in condizioni specificate, tutte le correnti che provocano la fusione dell'elemento fusibile fino al proprio potere di interruzione nominale.

- Cartuccia a (precedentemente cartuccia per uso combinato)

Cartuccia limitatrice di corrente, in grado di interrompere, in condizioni specificate, tutte le correnti comprese tra la minima corrente di interruzione, ed il proprio potere di interruzione nominale.

Nota - Le cartucce **a**, sono generalmente usate nella protezione contro i cortocircuiti. Per la protezione contro le sovracorrenti di valore inferiore alla

minima delle cartucce di tipo **a**, quest'ultime devono essere usate in combinazione con altri apparecchi atti ad interrompere tali sovracorrenti.

- Categoria di utilizzazione (di una cartuccia)

Insieme di prescrizioni specificate, relative alle condizioni nelle quali la cartuccia soddisfa alla propria funzione, scelte per rappresentare un gruppo caratteristico di applicazioni pratiche.

- Fusibili per uso da parte di persone addestrate

(precedentemente fusibili per applicazioni industriali)

Fusibili intesi per essere utilizzati in installazioni dove le cartucce sono accessibili e sostituibili soltanto da persone addestrate.

Nota - Per persone addestrate, si intendono persone adeguatamente informate o sorvegliate da persone addestrate o esperte, in modo da evitare i pericoli che l'elettricità può presentare, oppure persone con conoscenze tecniche o esperienza sufficienti, tali da consentire loro di evitare i pericoli dell'elettricità.

- Fusibili per uso da parte di persone non addestrate

(precedentemente fusibili per applicazioni domestiche e similari)

Fusibili intesi per essere utilizzati in installazioni dove le cartucce sono accessibili e sostituibili da persone non addestrate.

Nota - Per questi fusibili la protezione contro i contatti diretti con parti attive è raccomandata, e la non intercambiabilità può essere richiesta, se necessaria.

- Non intercambiabilità

Limitazioni concernenti forma e/o dimensioni dei fusibili, con lo scopo di evitare che in una base specificata, possano essere usate inavvertitamente cartucce aventi caratteristiche elettriche diverse da quelle che assicurano la protezione prevista.

- Valori nominali

Termine generale usato per indicare i valori caratteristici ai quali sono riferiti i parametri di funzionamento, in base ai quali le prove sono determinate e per i quali l'apparecchio è previsto.

Nota - I valori nominali generalmente indicati per i fusibili considerati nella presente Norma sono: tensione, corrente, potere di interruzione, potenza dissipata e ammissibile, e frequenza se è il caso.

Nel caso di corrente alternata, la tensione nominale e la corrente nominale indicate sono valori efficaci simmetrici; nel caso di corrente continua, se vi

sono ondulazioni, per la tensione nominale si intende il valore medio, per la corrente nominale il valore efficace.

Quanto sopra si applica a qualsiasi valore di tensione e corrente, salvo indicazioni contrarie.

- Corrente presunta di un circuito

Corrente che circolerebbe nel circuito se, il fusibile che si trova inserito fosse sostituito da una connessione di impedenza trascurabile.

La corrente presunta, è la grandezza alla quale sono generalmente riferiti il potere d'interruzione e le caratteristiche del fusibile, per esempio le caratteristiche I^2t e di limitazione.

- Porta

Valori limite entro i quali le caratteristiche, per esempio le caratteristiche tempo/corrente, devono essere contenute.

- Potere d'interruzione di una cartuccia

Valore (efficace per corrente alternata) della corrente presunta che una cartuccia è in grado di interrompere a una tensione determinata e in condizioni specificate d'uso e di comportamento.

- Campo di interruzione

Campo di correnti presunte all'interno del quale il potere di interruzione di una cartuccia è assicurato.

- Corrente limitata

Massimo valore istantaneo, raggiunto dalla corrente durante l'operazione o l'interruzione effettuata da una cartuccia, quando essa opera in modo da impedire che la corrente raggiunga il valore massimo altrimenti raggiungibile.

- Caratteristica di limitazione

Curva che dà i valori della corrente limitata in funzione della corrente interrotta presunta, in condizioni di funzionamento specificate.

Nota - Nel caso di corrente alternata, i valori della corrente limitata sono i valori massimi raggiunti con qualsiasi grado di asimmetria.

- Corrente massima ammissibile (di un supporto della cartuccia)

Valore di corrente limitata che il supporto della cartuccia può sopportare.

Nota - Il valore massimo della corrente ammissibile, non è inferiore al più alto valore di corrente limitata di qualsiasi cartuccia che il supporto della cartuccia è destinato a ricevere.

- Durata di pre-arco

Intervallo di tempo fra l'inizio di una corrente sufficiente per provocare la fusione dell'elemento fusibile e l'istante in cui inizia la formazione dell'arco.

- Durata d'arco

Intervallo di tempo fra l'inizio dell'arco, e l'istante in cui questo è definitivamente estinto.

- Durata di funzionamento

Somma della durata pre-arco e della durata d'arco.

- $I^2 t$ o integrale di Joule

Integrale del quadrato della corrente esteso ad un determinato intervallo di tempo: $I^2 t = \int i^2 dt$ tra due estremi t_1 e t_2

Note:

- L' $I^2 t$ di pre-arco è l'integrale $I^2 t$ esteso alla durata di pre-arco del fusibile.

- L' $I^2 t$ di funzionamento è l'integrale $I^2 t$ esteso alla durata di funzionamento del fusibile.

- L'energia di Joule dissipata nella resistenza di 1Ω in un circuito protetto da un fusibile è uguale al valore dell' $I^2 t$ di funzionamento, espresso in $A^2 s$.

- Caratteristica $I^2 t$

Curva che dà i valori di $I^2 t$ ($I^2 t$ di pre-arco e/o $I^2 t$ di funzionamento) in funzione della corrente presunta per condizioni di funzionamento specificate.

- Corrente nominale di una cartuccia I_n

Valore di corrente che la cartuccia può portare in modo continuo, senza deteriorarsi, in condizioni specificate.

- Caratteristiche tempo/corrente

Curve, Figura 4.2.1, che danno il tempo di pre-arco o il tempo di funzionamento in funzione della corrente di c.c. presunta, in condizioni specificate.

Nota - Per tempi superiori a 0,1s (come dalla Figura sotto), la differenza fra il tempo di pre-arco ed il tempo di funzionamento è, ai fini pratici, trascurabile.

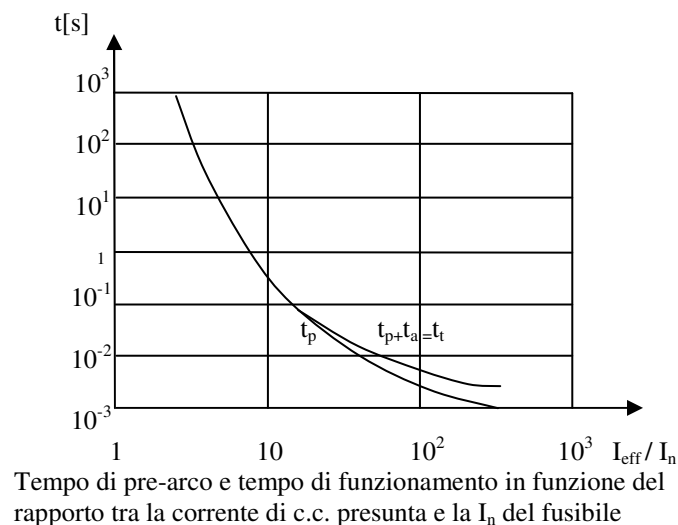


Figura 4.2.1

- Corrente convenzionale di non fusione I_{nf}

Valore di corrente specificato che la cartuccia è in grado di portare per un tempo specificato (tempo convenzionale) senza che si verifichi la fusione dell'elemento fusibile.

- Corrente convenzionale di fusione I_f

Valore di corrente specificato che provoca il funzionamento della cartuccia entro un tempo specificato (tempo convenzionale).

Corrente nominale per cartucce gG	Tempo convenzionale	Corrente convenzionale I_{nf}	Corrente convenzionale I_f
$16 \leq I_n \leq 63$	1	1,25 I_n	1,6 I_n
$63 < I_n \leq 160$	2		
$160 < I_n \leq 400$	3		
$400 < I_n$	4		

Tabella 2 Norma CEI 32-1

- Curva di sovraccarico di una cartuccia tipo a

Curva che indica il tempo per il quale una cartuccia tipo a deve essere in grado di portare la corrente senza deteriorarsi.

- Tensione di ritorno

Tensione che si presenta ai terminali di un fusibile dopo l'interruzione della corrente.

- Tensione d'arco

Tensione che appare ai terminali di un fusibile durante l'arco.

- Temperatura dell'aria ambiente T_a

Il limite superiore della temperatura dell'aria ambiente è 40 °C, il suo valore medio, nelle 24h, non supera 35 °C ed il suo valore medio annuale è inferiore a quest'ultimo limite. Il limite inferiore della temperatura dell'aria ambiente è -5 °C.

Note:

- le curve caratteristiche tempo/corrente sono riferite a una temperatura dell'aria ambiente di 20 °C. Esse sono applicabili approssimativamente anche per una temperatura di 30 °C.
- nei casi in cui le condizioni di temperatura si discostino sensibilmente dai valori indicati, ciò deve essere tenuto in considerazione per la sovratemperatura di funzionamento ecc.

- Altitudine

L'altitudine del luogo di installazione non supera i 2000 m sopra il livello del mare.

4.2.2 Classificazione dei fusibili

Occorre anzitutto premettere che, le Norme considerano praticamente solo i fusibili con cartuccia a fusione chiusa e limitatrice di corrente, come sopra definiti.

Una prima classificazione riguarda il campo di impiego; le Norme distinguono fra fusibili destinati a essere utilizzati da persone addestrate, e quelli idonei anche all'impiego da parte di persone non addestrate; precedentemente le due categorie erano definite: "per uso industriale" e "per uso domestico e similare", e tali rimangono principalmente i relativi campi di impiego, anche se fusibili della seconda categoria possono essere impiegati in usi industriali, se le loro caratteristiche lo consentono. Infatti, la differenza fra le due categorie consiste essenzialmente nella protezione contro i contatti accidentali, durante le operazioni di sostituzione delle cartucce, protezione che deve risultare evidentemente più accurata se detta operazione viene effettuata da persona non addestrata.

Una seconda classificazione riguarda invece la capacità di interrompere correnti; mentre, infatti, le cartucce di tipo "g" (di uso generale), sono idonee ad interrompere qualsiasi corrente al di sopra del loro valore nominale, fino al limite della loro capacità di rottura, quelle di tipo "a" (per uso combinato), riescono ad interrompere correnti solo se queste sono sensibilmente superiori al valore nominale. In effetti, per correnti appena al di sopra del valore

nominale, la fusione avviene lentamente, e allora l'arco che si sprigiona non riesce a essere interrotto. Applicazione tipica dei fusibili a uso combinato è l'impiego associato a quello di contattori con relè termici: in tal modo, in caso di sovraccarichi di lieve entità può intervenire il relè termico tramite il contattore, mentre in caso di cortocircuito, per valori di corrente che il contattore non sarebbe in grado di interrompere, interviene il fusibile.

Un terzo criterio riguarda il campo di applicazione; per esempio, i fusibili inseriti sulla linea di alimentazione di un motore devono sopportare, senza fondere, le punte di corrente di avviamento (come nel caso dei motori asincroni che sono pari a 5-6 volte la corrente nominale), per la durata di alcuni secondi. Fenomeni analoghi, sia pure di durata più breve, si hanno all'inserzione di trasformatori. Pertanto, il funzionamento dei fusibili destinati a detto tipo di applicazione deve essere ritardato per sovracorrenti di questo ordine, mentre gli stessi devono intervenire prontamente in caso di cortocircuito. Tali caratteristiche non sono invece richieste ai fusibili di uso generale, destinati alla protezione di linee o di carichi prevalentemente resistivi.

Per definire il campo di applicazione, le cartucce sono contraddistinte, oltre che dalle lettere minuscole "g" ed "a", aventi il significato sopra indicato anche dalle lettere maiuscole "G" (uso generale) e "M" (protezione motori). Tale classificazione viene ben illustrata dall'articolo seguente:

Norma CEI 32-1 (EN 60269-1)

- Campo di interruzione e categorie di utilizzazione

La prima lettera indica il campo di interruzione:

- cartuccia g (cartuccia con potere di interruzione a pieno campo)
- cartuccia a (cartuccia con potere di interruzione a campo ridotto)

La seconda lettera indica la categoria di utilizzazione.

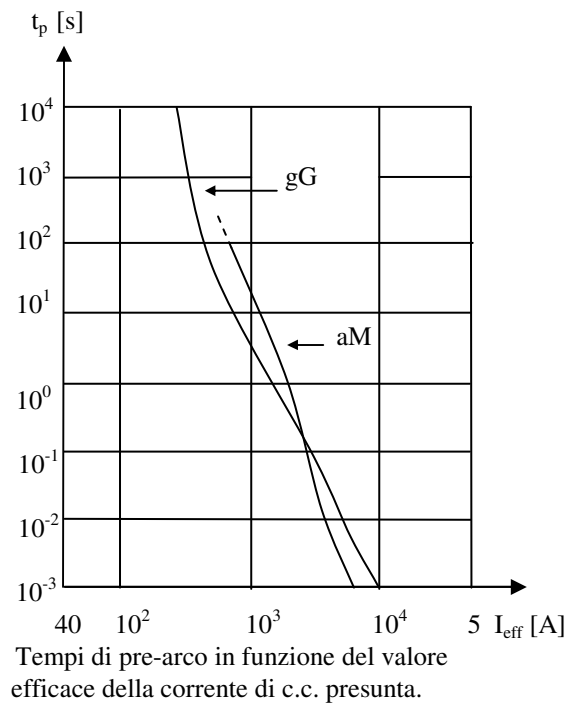


Figura 4.2.2

Per esempio:

gG indica cartucce con potere di interruzione a pieno campo per uso generale;

gM indica cartucce con potere di interruzione a pieno campo per la protezione dei circuiti di motori;

aM indica cartucce con potere di interruzione a campo ridotto per la protezione dei circuiti di motori.

In Figura 4.2.2, sono rappresentate le caratteristiche tempo/corrente (fase di pre-arco) di due fusibili con classi di esercizio gG e aM con corrente nominale di 200 A.

Nota - Attualmente le cartucce gG sono spesso usate per la protezione di circuiti di motori, quando in base alle loro caratteristiche sono in grado di sopportare le correnti di avviamento dei motori.

Classe di funzionamento	Corrente permanente	Corrente di intervento	Classe di esercizio	Protezione di
Fusibili a tutto campo				
g	I_n	$\geq I_{min}$ (I_{min} corrente minima di intervento)	gL/gG	Cavi e conduttori
			gR	Semiconduttori
			gB	Impianti per miniere
Fusibili a campo ridotto				
a	I_n	$\geq 6,3 I_n$ $\geq 2,7 I_n$	aM	Motori
			aR	Semiconduttori

Classificazione dei fusibili di bassa tensione

Valori nominali

I valori nominali di tensione, corrente ed eventualmente di frequenza devono essere scelti come segue:

Norma CEI 32-1

- Tensione nominale

Per corrente alternata i valori normali delle tensioni nominali sono dati nella Tabella 1.

Serie I [V]	Serie II [V]
220 (230)*	120*
380 (400)*	208
500	240
660 (690)*	277*
	415
	480*
	600
*Valori in accordo con la pubbl. IEC 38 (Norma CEI 8-6) La serie II non è usata in Italia	

Tabella 1 della Norma CEI 32-1

Nota - La tensione nominale della cartuccia, può essere diversa da quella della base in cui la cartuccia è usata. La tensione nominale del fusibile è la più bassa delle tensioni nominali delle sue pari (supporto della cartuccia, cartuccia).

- Correnti nominali

- Corrente nominale della cartuccia

Si raccomanda che la corrente nominale (in ampere) della cartuccia sia scelta tra i seguenti valori: 2 – 4 – 6 – 8 – 10 – 12 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100 – 125 – 160 – 200 - 250 - 315 - 400 - 500 - 630 - 800 - 1000 - 1250.

- Corrente nominale del supporto della cartuccia

Si raccomanda che la corrente nominale (in ampere) del supporto della cartuccia sia scelta nella serie delle correnti nominali delle cartucce.

Per fusibili gG e aM la corrente nominale del supporto indica la più alta corrente nominale della cartuccia con la quale esso può essere usato.

- Frequenza nominale

L'assenza di qualsiasi contrassegno riguardante la frequenza nominale significa che il fusibile è conforme alle condizioni previste nella Norma soltanto per frequenze comprese tra 45 e 62 Hz.

I fusibili, nei loro componenti, devono essere contrassegnati con i dati che permettano di identificarne caratteristiche e categoria d'impiego.

Le indicazioni relative a corrente e tensione nominali possono essere apposte anche in forma abbreviata; per esempio:

10 A 500 V; 10/500;

4.2.3 Fusibili per semiconduttori

Quando un apparecchio utilizzatore contiene dei semiconduttori (diodi, tiristori, transistori ecc.) non può essere protetto tramite fusibili normali, in quanto l' I^2t sopportato da questi componenti, risulta molto inferiore a quello che causa l'intervento dei fusibili con portata corrispondente. Sono state

quindi studiate alcune serie di fusibili con I^2t particolarmente ridotto in grado di proteggere anche i semiconduttori. Per queste applicazioni, risulta importante che eventuali sovratensioni che si generano al momento dell'intervento del fusibile, siano il più possibile contenute, in modo da non superare i valori ammissibili per i semiconduttori protetti.

La Norma CEI 32-7, conforme alla Pubblicazione IEC n. 269-4, si riferisce appunto a queste serie di fusibili speciali. Non stabilisce però nessuna caratteristica normale, nemmeno per I^2t , ma indica per le varie caratteristiche le metodologie di misura e di prova, in modo che quelle nominali fornite dai vari costruttori siano fra loro paragonabili. Vista inoltre la molteplicità dei dati da tenere in considerazione, la Norma stabilisce che i fusibili portino come contrassegno il marchio di fabbrica e una sigla di riferimento attraverso la quale si possa risalire ad un catalogo con i dati completi.

Si Riporta dal fascicolo di Norme suddetto, l'oggetto delle stesse e alcune definizioni particolarmente significative:

Norma CEI 32-7

- Generalità

Le cartucce per la protezione dei dispositivi a semiconduttori, devono rispondere a tutte le prescrizioni della Parte I (della CEI 32-1), e devono anche soddisfare le prescrizioni supplementari contenute nella presente Parte.

La presente Norma si applica alle cartucce per l'impiego in apparecchiature contenenti dispositivi a semiconduttori per circuiti con tensioni nominali fino a 1000 V in corrente alternata o per circuiti con tensioni nominali fino a 1500 V in corrente continua e anche, in quanto applicabile, per circuiti con tensioni nominali più elevate.

Note - Queste cartucce sono denominate comunemente "cartucce per semiconduttori".

- Caratteristiche dei fusibili

Esse sono:

- valori nominali;
- sovratemperature in servizio ordinario;
- potenza dissipata;
- caratteristiche tempo/corrente;
- potere di interruzione;
- caratteristiche di limitazione e caratteristiche I^2t ;
- valori limite della tensione d'arco.

- Cartuccia per semiconduttori

Cartuccia limitatrice di corrente in grado di interrompere in condizioni specificate, qualsiasi valore di corrente entro il campo di interruzione.

- Caratteristiche tempo/corrente

Esse dipendono dalle caratteristiche costruttive della cartuccia, dalla temperatura dell'aria ambiente e dalle condizioni di raffreddamento. Il costruttore deve fornire le caratteristiche tempo/corrente riferite a una temperatura dell'aria ambiente compresa tra 20 e 25 °C.

Le caratteristiche tempo/corrente che interessano, sono la caratteristica di pre-arco e le caratteristiche di funzionamento aventi come parametro la tensione. Le caratteristiche tempo/corrente sono date per la frequenza nominale.

Per alcune applicazioni, e in particolare per i valori più elevati della corrente presunta, la stessa informazione può essere fornita di caratteristiche I^2t ; si raccomanda che, per tali valori, dette caratteristiche I^2t siano date in alternativa o in aggiunta alle caratteristiche tempo/corrente.

- Caratteristiche tempo/corrente di pre-arco

La caratteristica tempo/corrente di pre-arco deve essere riferita ad una corrente alternata simmetrica di una determinata frequenza (frequenza nominale).

- Caratteristiche tempo/corrente di funzionamento

Le caratteristiche tempo/corrente di funzionamento, devono essere date con la tensione applicata come parametro e per un determinato valore del fattore di potenza.

- Potere di interruzione nominale

Si raccomanda un potere di interruzione non inferiore a 50 kA in corrente alternata.

- Caratteristiche di limitazione

Il costruttore deve fornire le caratteristiche di limitazione, che devono essere presentate in scala doppiamente logaritmica, con la corrente presunta in ascissa e, se necessario, con la tensione applicata e/o la frequenza come parametro.

In corrente alternata, le caratteristiche di limitazione devono indicare i valori più elevati di corrente che si possono verificare in servizio, e devono essere riferite alle condizioni di prova, per esempio, di tensione, frequenza e fattore di potenza.

- Caratteristiche I^2t di pre-arco

In corrente alternata la caratteristica I^2t di pre-arco deve essere basata su una corrente alternata simmetrica di frequenza determinata (frequenza nominale).

- Caratteristica I^2t di funzionamento

In corrente alternata, le caratteristiche I^2t di funzionamento devono essere date con la tensione applicata come parametro, e per un determinato valore del fattore di potenza. I parametri di tensione devono comprendere almeno 25, 50 e 100% della tensione nominale.

- Caratteristiche della tensione d'arco

Le caratteristiche della tensione d'arco fornite dal costruttore, devono indicare il valore più elevato (picco) della tensione d'arco, in funzione della tensione applicata del circuito nel quale la cartuccia è inserita.

4.2.4 Principio di funzionamento dei fusibili

Nel fusibile a cartuccia l'elemento fusibile, che è una sottile lama di argento o rame dotata in genere di strozzature, è circondato da materiale di spegnimento granuloso (di solito silicio). Il tutto è incorporato in un involucro di ceramica, chiuso all'estremità da due contatti metallici, destinati alla connessione elettrica del fusibile al circuito esterno. Quando il fusibile è

percorso da una corrente superiore ad un valore prefissato, e per una durata sufficiente, la temperatura in alcune parti dell'elemento fusibile, nel caso in esame in corrispondenza delle sue strozzature, cresce fino a raggiungere la temperatura di fusione con la conseguenza che l'elemento fusibile inizia a cambiare il suo stato da solido a liquido, e poi passa al successivo stato evaporando, il tutto secondo un processo che è chiaramente irreversibile. Il periodo che va dall'inizio della sovracorrente, all'istante in cui cominciano a scoccare i primi archi, prende come già detto precedentemente, il nome di fase di pre-arco. Successivamente, con il progredire della fusione e della evaporazione all'intero elemento fusibile, si ha la nascita di un unico arco generalizzato a tutto l'elemento. Il periodo che va dall'istante in cui scocca il primo arco, all'estinzione definitiva dell'arco generalizzato, prende il nome di fase d'arco. In questa fase assume un ruolo fondamentale la sabbia che circonda l'elemento fusibile, in quanto essa assorbe la maggior parte dell'energia termica prodotta dall'arco, e lo fraziona provocandone rapidamente lo spegnimento.

Una volta estinto l'arco circola nel fusibile, attraverso la massa di sabbia fusa e di residui metallici dell'elemento fusibile, una debole corrente di conduzione che dopo pochi istanti cessa di circolare. Il periodo interessato da tale fenomeno è detto fase di post-arco. In conclusione, le varie fasi che

interessano il funzionamento di un fusibile, che saranno esaminate più in dettaglio nel seguito, sono:

- fase di pre-arco;
- fase d'arco;
- fase di post-arco.

- Fase di pre-arco

Durante la fase di pre-arco, si ha in successione:

- il riscaldamento dell'elemento fusibile e delle sue strozzature fino a raggiungere la temperatura di fusione;
- la fusione;
- il riscaldamento fino a raggiungere la temperatura di evaporazione;
- l'evaporazione.

In questa fase, la caduta di tensione ai capi del fusibile si mantiene molto bassa, e l'andamento nel tempo della corrente, non subisce alcuna modifica per la presenza del fusibile. Quando l'intensità della sovracorrente non è molto elevata, il processo non si può considerare adiabatico, e l'elemento fusibile trasmette calore per conduzione, in modo longitudinale verso i conduttori propriamente detti, cui il fusibile è posto in serie, e trasversalmente verso il mezzo in cui l'elemento fusibile è immerso. In questi casi, la durata di pre-arco è significativa, ed è tanto più lunga, quanto minore è il valore della

sovracorrente che interessa il fusibile. Quando invece, la sovracorrente comincia a diventare sufficientemente elevata, il fenomeno si svolge in un intervallo di tempo tanto breve, da poter considerare trascurabile la quantità di calore trasmessa ai conduttori o al mezzo circostante, e si ha quindi, un riscaldamento adiabatico dell'intero elemento fusibile. Questo comportamento, è tipico di un fusibile chiamato ad interrompere una corrente di cortocircuito, e pertanto merita di essere analizzato più in dettaglio dal punto di vista analitico.

A tal fine, si faccia inizialmente riferimento al periodo in cui l'elemento fusibile si riscalda fino alla temperatura di fusione. In questa fase, tutta l'energia termica prodotta nell'elemento fusibile contribuisce ad elevarne la temperatura, per cui se si considera per semplicità un elemento fusibile privo di strozzature, di lunghezza L , sezione costante S e di resistenza $R=\rho L/S$, percorso dalla corrente $i(t)$, si ha che l'incremento infinitesimo della temperatura $d\theta$ che tale elemento subisce, per effetto dell'energia dissipata sulla resistenza, nell'intervallo di tempo infinitesimo dt soddisfa il seguente bilancio termico:

$$R i^2(t) dt = \rho \frac{L}{S} i^2(t) dt = C_v V d\theta \quad (1)$$

con C_v calore specifico e $V=LS$ volume dell'elemento fusibile.

La resistività ρ è funzione della temperatura attraverso la ben nota relazione:

$$\rho = \rho_o (1 + \alpha\theta) \quad (2)$$

essendo α il coefficiente di variazione della resistività con la temperatura, e ρ_o la resistività a 0° C. Sostituendo nella relazione (1) la (2) e il volume $V=LS$, può porsi:

$$i^2(t) dt = \frac{C_v S^2}{\rho_o} \frac{1}{(1 + \alpha\theta)} d\theta \quad (3)$$

Se adesso si integra la tra l'inizio del fenomeno, assunto a $t=0$, e l'istante $t=t_f$ in cui inizia la fusione, si ha:

$$\int_0^{t_f} i^2(t) dt = \frac{C_v S^2}{\rho_o} \int_{\theta_o}^{\theta_f} \frac{1}{(1 + \alpha\theta)} d\theta = \frac{C_v S^2}{\rho_o \alpha} \ln \frac{1 + \alpha\theta_f}{1 + \alpha\theta_o} = K_1 S^2 \quad (4)$$

$$\left(\text{ponendo } \frac{C_v}{\rho_o \alpha} \ln \frac{1 + \alpha\theta_f}{1 + \alpha\theta_o} = K_1 \right)$$

essendo θ_f la temperature di fusione raggiunta all'istante $t = t_f$, e θ_o la temperatura di inizio del fenomeno all'istante $t = 0$.

Il coefficiente K_1 dipende chiaramente dalle caratteristiche del metallo con cui è realizzato l'elemento fusibile.

Una volta raggiunta la temperatura di fusione e durante tutto il periodo di fusione, non si verificano più aumenti di temperatura e tutta l'energia

nell'elemento fusibile serve al cambiamento di stato; assumendo come resistività del materiale, durante il processo di fusione, una resistività media ρ_m (durante la fusione, la resistività varia man mano che si passa dallo stato solido a quello liquido), e H_f come calore latente di fusione (per unità di volume) e t_{f1} l'istante in cui termina la fusione, si ha:

$$\int_{t_f}^{t_{f1}} \rho_m (L/S) i^2(t) dt = H_f L S \quad (5)$$

Dalla relazione (5), dividendo ambo i membri per $\rho_m(L/S)$ e ponendo $K_2=H_f/\rho_m$ si ricava:

$$\int_{t_f}^{t_{f1}} i^2(t) dt = K_2 S^2 \quad (6)$$

in cui il coefficiente K_2 dipende anch'esso dalle caratteristiche del metallo che costituisce l'elemento fusibile. In modo perfettamente analogo a quanto visto in precedenza, anche per la successiva fase di riscaldamento fino alla temperatura di evaporazione, e per la successiva fase di evaporazione, si arriva facilmente a relazioni del tipo della (4) e della (6). Si conclude che, nell'ipotesi di adiabaticità e di sezione costante, per qualunque andamento della corrente è possibile sostenere che:

$$\int_0^{t_p} i^2(t) dt = K_1 S^2 + K_2 S^2 + K_3 S^2 + K_4 S^2 = K S^2 \quad (7)$$

essendo t_p la durata della fase di pre-arco, e K una costante che dipende dalle caratteristiche del metallo che costituisce l'elemento fusibile.

In conclusione, l'integrale di joule o anche energia passante sarà nella fase di pre-arco, per valori di corrente molto superiori alla nominale, pari a:

$$W_p = I^2 t = \int_0^{t_p} i^2(t) dt = K S^2$$

e non dipenderà dall'andamento nel tempo della corrente di cortocircuito, ma sarà una costante peculiare del fusibile; al coefficiente K si assegna impropriamente il nome di costante di fusione.

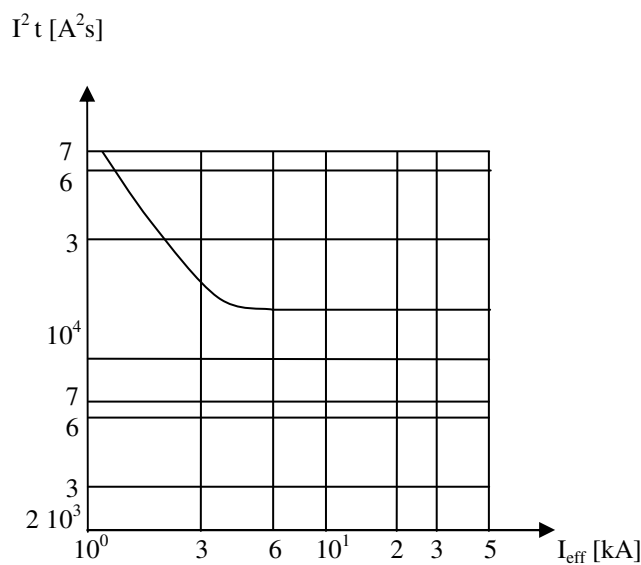


Figura 4.2.3

Nella Figura 4.2.3, è riportato l'andamento dell'energia I^2t di pre-arco, in funzione del valore efficace della corrente presunta che viene interrotta, da un fusibile da 100A. Si può vedere, dalla Figura, come per elevate correnti l'energia passante è costante.

- Fase d'arco

La fase d'arco ha inizio nell'istante in cui compare un arco elettrico, ed ha fine quando l'arco generalizzato si estingue. In questa fase è presente ai capi del fusibile la tensione d'arco, che svolge una chiara azione limitatrice della corrente. L'azione limitatrice della tensione d'arco, è particolarmente utile nel caso di interruzione di correnti di cortocircuito. Infatti, se la tensione d'arco assume valori sufficientemente elevati (maggiori del valore massimo della tensione di alimentazione), essa limita, in modo del tutto analogo a quanto accade negli interruttori limitatori, il valore massimo raggiunto dalla corrente di cortocircuito presunta ad un valore limitato i_{Lp} , invece di raggiungere il picco i_p . La Figura 4.2.4, rende una visione qualitativa del fenomeno; in quella di destra è diagrammato (grassetto) l'andamento della i_{Lp} al variare del valore efficace della corrente di c.c. presunta per un fusibile con I_n 100A. Si può notare come da una I_{eff} di 50 kA, si passi ad una corrente limitata i_{Lp} di 12 kA.

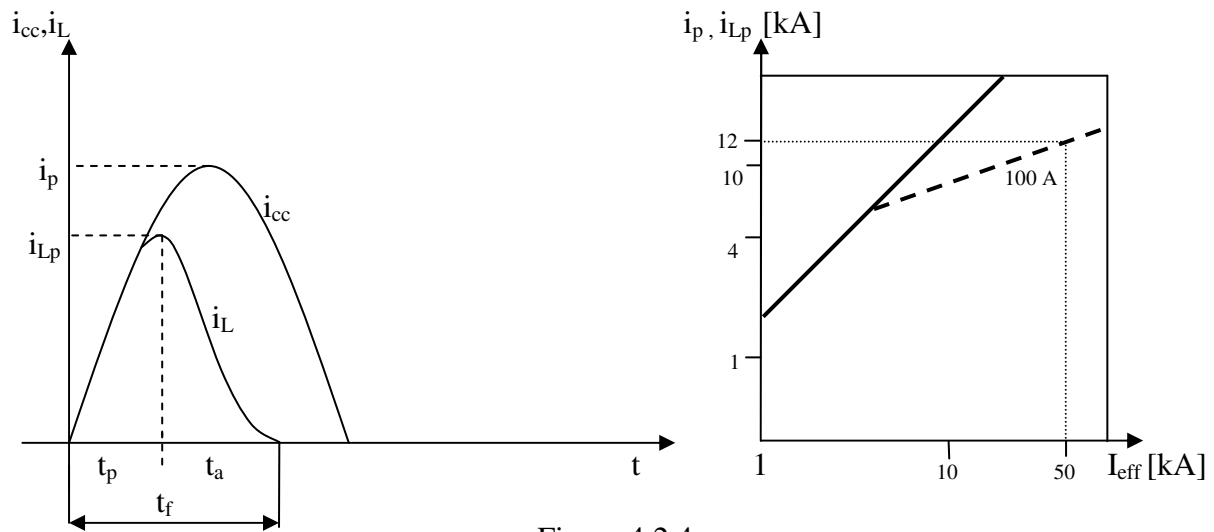


Figura 4.2.4

E' interessante osservare che nel caso di sovracorrenti di elevato valore, la durata di pre-arco e la durata d'arco sono dello stesso ordine di grandezza, essendo molto piccola la durata di pre-arco. Nel caso invece, di interruzione di sovracorrenti di valore non elevato, poichè la durata di pre-arco assume valori elevati mentre quella d'arco è dell'ordine della decina di ms, si ha che la durata di pre-arco è notevolmente più grande di quella d'arco. Nella fase d'arco riveste un ruolo fondamentale la sabbia che circonda l'elemento fusibile. Infatti:

- assorbe la maggior parte dell'energia termica prodotta dall'arco durante l'interruzione, e lo fraziona fortemente, contribuendo così in modo determinante alla sua estinzione;
- forma uno schermo nei riguardi dell'involucro della cartuccia, limitando effetti termici dell'arco;

- costituisce grazie alla sua porosità, un mezzo di dispersione controllata del metallo vaporizzato dell'elemento fusibile, il che facilita la perdita di continuità elettrica del canale liquido che si creerebbe a seguito della fusione dell'elemento fusibile.

- Fase di post-arco

Una volta estinto l'arco, è presente nel fusibile una miscela di sabbia fusa mescolata a vapore metallico, che ha una proprietà particolarmente utile nella fase di post-arco; essa possiede una conducibilità a caldo non trascurabile, il che permette di far circolare attraverso il fusibile, una volta estinto l'arco, una debole corrente di conduzione. Questa corrente residua è giovevole, in quanto, nei primi istanti successivi allo spegnimento dell'arco, smorza la tensione di ritorno che compare ai capi del fusibile. La stessa miscela ha un'ulteriore proprietà fondamentale, utile nella fase immediatamente successiva a quella di circolazione della piccola corrente di conduzione. Essa infatti ha un elevato valore di resistenza a freddo (di svariati ordini di grandezza superiori del valore a caldo), per cui quando la miscela si raffredda, la debole corrente di conduzione si annulla immediatamente, e termina quindi, in maniera definitiva, il processo di interruzione del fusibile.

4.3 Contattore-relè per protezione da sovraccarico

Generalità

Con il termine “contattori”, si definiscono apparecchi elettromeccanici azionati a distanza, in grado di inserire o interrompere circuiti elettrici, agendo su un dispositivo di chiusura normalmente di tipo elettromagnetico, più raramente di tipo pneumatico o elettropneumatico. Per questi apparecchi viene comunemente usata anche la dizione “teleruttori”.

Il contattore, tenuto conto della relativa lentezza con cui avviene l’apertura dei contatti, non è in grado di interrompere correnti elevate, e non risulta quindi adatto alla protezione contro i cortocircuiti; deve pertanto essere accoppiato ad un altro dispositivo (fusibile o interruttore automatico) in grado di assicurare tale protezione. Per contro questi dispositivi, associati a relè di tipo termico o elettromagnetico, possono assolvere, con alcuni limiti, anche la funzione di protezione del circuito inserito; Questi relè sono dello stesso tipo di quelli utilizzati per gli interruttori automatici, ma agiscono, quando intervengono, sulla commutazione di un contatto normalmente chiuso che viene inserito in serie alla bobina del contattore, determinandone così l’apertura. Pertanto, se accoppiato a fusibili tipo “aM” a fusione lenta, il contattore con relè termico, è in grado di assicurare la protezione per sovracorrenti al di sotto dei valori di corrente che il fusibile è in grado di interrompere, mentre il fusibile stesso assicura la protezione contro i

cortocircuiti e le sovracorrenti di forte entità, sopportando senza intervenire le sovracorrenti di manovra che si determinano in caso d'avviamento, frenatura in contro corrente o inversione del senso di marcia. Oltre che con i fusibili, i contattori possono essere accoppiati, come si è detto, anche con interruttori automatici che si assumono in tutto o in parte il compito della protezione; si possono pertanto avere le seguenti tre combinazioni:

- la protezione contro i sovraccarichi è affidata al relè termico del contattore e quella contro i cortocircuiti ai fusibili;
- la protezione contro i sovraccarichi è affidata al relè termico del contattore e quella contro i cortocircuiti all'interruttore automatico, che sarà quindi munito dei soli relè elettromagnetici;
- il contattore ha solo funzione di manovra mentre la protezione, sia contro i sovraccarichi sia contro i cortocircuiti, è affidata all'interruttore automatico, munito sia dei relè termici sia di quelli elettromagnetici .

- Avviatori

Nel caso di un motore, il complesso contattore più relè viene denominato "avviatore".

Gli avviatori possono essere impiegati per il comando di motori in corrente continua, e in corrente alternata sia con rotore a gabbia, sia con rotore avvolto.

L'inserzione del motore può effettuarsi in modo diretto, o con procedure atte a ridurre la punta di corrente d'avviamento.

4.3.1 Definizioni

Contattori e avviatori sono trattati dalla Norma CEI 17-50, classificazione italiana della Norma Europea 60947-4-1:

“Apparecchiature a bassa tensione. Parte 4: Contattori e avviatori - Sezione 1: Contattori e avviatori elettromeccanici”.

- Contattore

La definizione di contattore secondo la Norma CEI 17-50 (EN 60947-4-1):

Apparecchio meccanico di manovra avente una sola posizione di riposo, ad azionamento non manuale, in grado di stabilire, portare e interrompere correnti in condizioni normali del circuito, incluse le condizioni di sovraccarico di manovra.

I contattori possono essere di vari tipi, a seconda dei differenti modi di ottenere la forza di chiusura o d'apertura dei contatti principali, rispettivamente nel caso di normalmente aperti o normalmente chiusi. Si dividono in:

- elettromagnetico

- elettronico
- pneumatico
- elettropneumatico

- Avviatore

Norma CEI 17-50 (EN 60947-4-1):

Associazione di tutti i dispositivi di manovra necessari ad avviare e fermare un motore, in combinazione con un'adatta protezione contro il sovraccarico.

Le categorie d'utilizzazione per contattori e avviatori sono racchiuse nella Tabella 1 della Norma CEI 17-50.

Nel caso del comando di motori con rotore a gabbia, occorre verificare che la corrente di spunto del motore non superi il valore indicato per la categoria di utilizzazione. Spesso i costruttori indicano direttamente, per ogni categoria, la potenza dei motori che possono essere comandati. In ogni caso i contattori delle categorie AC-3 o AC-4, devono essere in grado di sopportare per 10 s una corrente pari a 8 volte la corrente nominale, corrispondente alla categoria AC-3 (per i contattori con corrente nominale maggiore di 630A tale valore è ridotto a 6 volte I_n con un minimo di 5040 A).

I contattori devono inoltre, essere in grado di sopportare la corrente di cortocircuito presunta nel luogo di installazione, per il tempo occorrente all'intervento delle protezioni, senza danneggiamenti sensibili e senza che i

contatti s'incollino (in qualche caso si ammette che i contatti restino incollati in modo leggero, così da poter essere staccati facilmente con l'ausilio di un cacciavite).

Natura della corrente	Categoria di utilizzazione	Applicazioni tipiche
Corrente alternata	AC-1	Carichi non induttivi o debolmente induttivi, forni a resistenza
	AC-2	Motori ad anelli: avviamento, arresto
	AC-3	Motori a gabbia: avviamento, arresto del motore durante la marcia
	AC-4	Motori a gabbia: avviamento, frenatura in controcorrente, manovra a impulsi
	AC-5a	Comando di lampade a scarica
	AC-5b	Comando di lampade a incandescenza
	AC-6a	Comando di trasformatori
	AC-6b	Comando di batterie di condensatori
	AC-7a	Carichi leggermente induttivi in applicazioni domestiche e similari
	AC-7b	Carichi di motori in applicazioni domestiche
	AC-8°	Comando di motori per compressori ermetici di frigoriferi con ripristino manuale dello sganciatore di sovraccarico
	AC-8b	Comando di motori per compressori ermetici di frigoriferi con ripristino automatico dello sganciatore di sovraccarico
Corrente continua	DC-1	Carichi non induttivi o debolmente induttivi, forni a resistenza
	DC-3	Motori in derivazione:avviamento, frenatura in controcorrente, manovre a impulsi. Frenatura dinamica di motori in corrente continua
	DC-5	Motori in serie: avviamento, frenatura in controcorrente, manovre a impulsi. Frenatura dinamica di motori in corrente continua
	DC-6	Comando di lampade a incandescenza

Tabella 1 della Norma CEI 17-50

Di avviatori ne esistono diversi tipi, ed in genere la protezione contro i cortocircuiti resta unica; anche la protezione contro i sovraccarichi è in genere

unica, tranne che nei motori a più velocità, in quanto a ciascuna velocità compete una potenza diversa e si richiede quindi una diversa protezione.

4.3.2 Relè di protezione per contattori, contro i sovraccarichi

I relè termici per contattori si basano, come quelli per gli interruttori, sull'impiego di bimetalli, ma agiscono normalmente su di un contatto di apertura che viene collegato in serie alla bobina del contattore, così da determinarne la ricaduta in caso di intervento del relè. Talvolta il contatto è di scambio, con la parte normalmente aperta che può essere utilizzata per segnalare a distanza l'intervento del relè. La Figura 4.3.1, riporta un esempio di curve relative alla loro caratteristica di intervento, evidenziando inoltre la differenza fra l'intervento a freddo e quello alla temperatura di regime. La corrente di regolazione, al cui valore sono riferiti i grafici suddetti, è regolabile entro determinati limiti intervenendo su di un indice posto sulla parte anteriore del relè stesso.

Il relè termico dovrebbe costituire l'immagine termica del motore: possedere cioè la stessa costante di tempo termica. Questa condizione però, risulta di difficile realizzazione, per cui si possono verificare scatti intempestivi in caso di avviamenti particolarmente lunghi, per esempio, con carichi caratterizzati da un momento d'inerzia molto elevato. In questi casi si è portati ad aumentare la corrente di taratura del relè, col rischio di non proteggere il

motore in caso di sovraccarichi lievi ma di lunga durata. Per ovviare a questi inconvenienti, la Norma definisce diverse classi di intervento dei relè di sovraccarico, in funzione del servizio cui sono destinati, tenendo anche conto del tipo di relè (termico compensato, termico non compensato, magnetico).

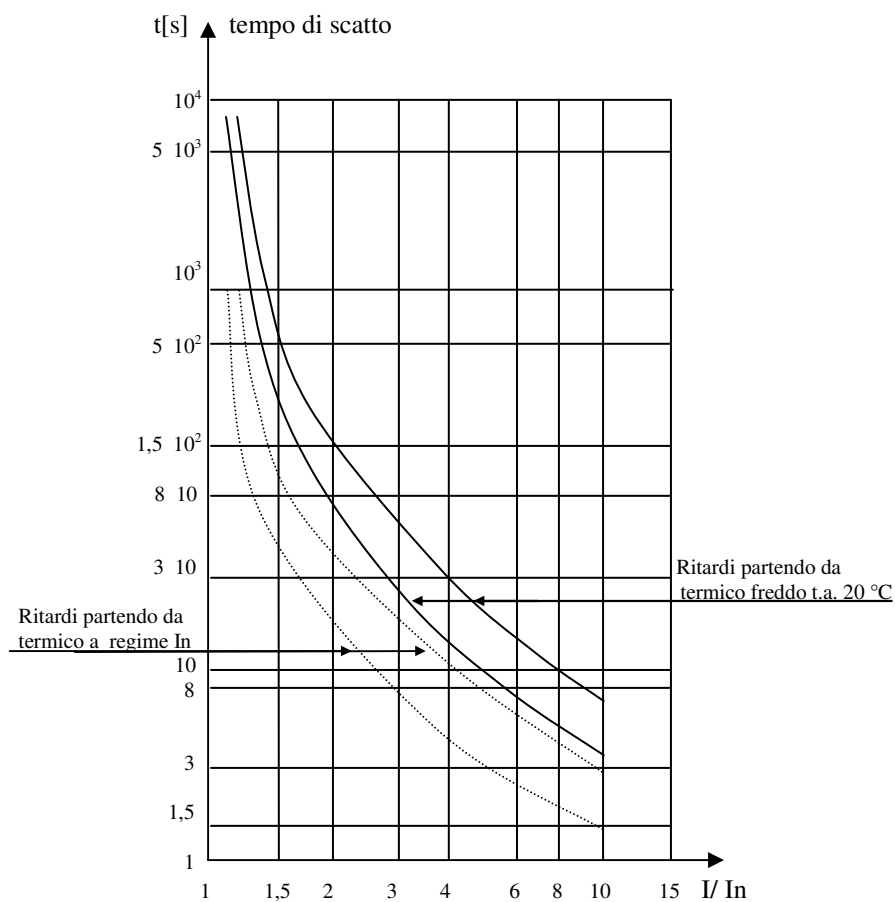


Figura 4.3.1

Poiché la caratteristica d'intervento del relè varia con la temperatura ambiente (in genere è riferita a 20 °C), se il relè si trova in un luogo più caldo del motore, può dar luogo a scatti intempestivi. Si ovvia all'inconveniente con il

relè di sovraccarico “compensato” nei confronti delle variazioni di temperatura; il bimetallo di sgancio non agisce direttamente sulla leva di sgancio, ma per il tramite di un elemento intermedio che si deforma a causa della variazione della temperatura ambiente, in modo da compensare quella che è la deformazione, per la stessa causa, del bimetallo di sgancio.

La Tabella successiva, che compendia le Tabelle 2 e 3 della Norma, indica le condizioni di prova e i tempi minimi di intervento, per i valori C e D della corrente.

Tipo di relè	Multipli della corrente di regolazione				Temperatura ambiente di riferimento
	A	B	C	D	
Relè termico non compensato	1	1,2	1,5	7,2	+40
Relè termico compensato	1,05	1,2	1,5	7,2	+20
Relè magnetico	1,05	1,2	1,5	7,2	+20
Classe di intervento	Tempo di intervento				
	Corr. “C”		Corr. “D”		
10 A	< 2 min		2 – 10 s		
10	< 4 min		4 – 10 s		
20	< 8 min		6 – 20 s		
30	< 12 min		9 – 30 s		

Tempi d’intervento dei dispositivi di protezione contro i sovraccarichi
Tabelle 2 e 3 della Norma CEI 17-50

Inoltre:

- con corrente al valore “A” l’intervento non deve avvenire in meno di 2 ore;
- portando successivamente la corrente al valore “B” l’intervento deve avvenire in meno di 2 ore.

Nella pratica, spesso i costruttori dispongono di due serie di relè termici, una per servizio normale corrispondente all’incirca alla Classe 10 della Norma, ed una per servizio pesante corrispondente all’incirca alla Classe 30.

La Figura 4.3.2, riporta due esempi di curve di intervento, di cui una relativa a un relè per servizio normale, e una ad un relè per servizio pesante.

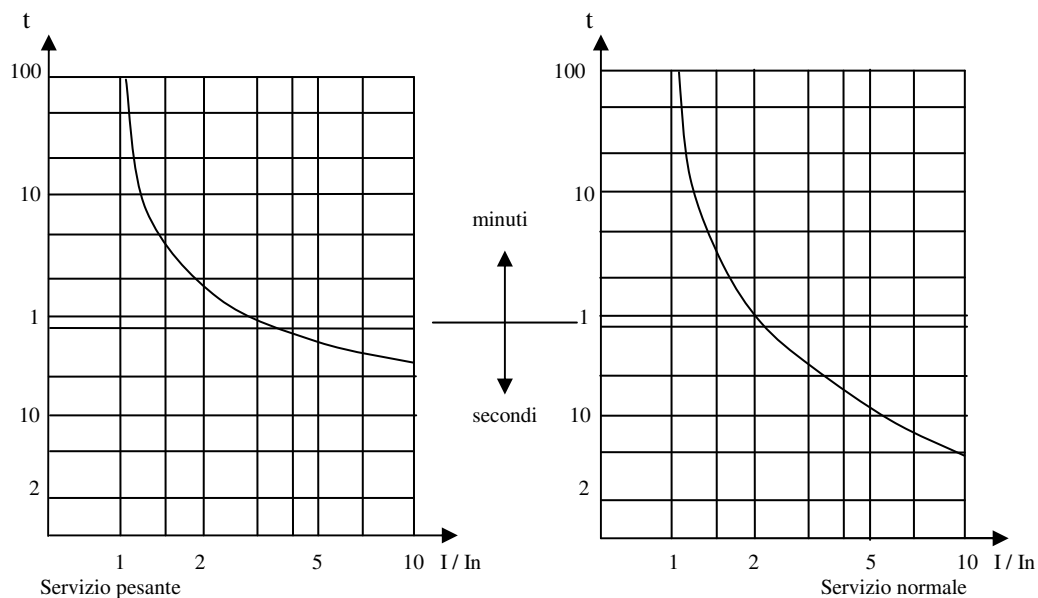


Figura 4.3.2

Si parla in genere di servizio pesante o gravoso, quando il tempo d'avviamento supera i dieci secondi; il tempo d'avviamento dipende dalla coppia motrice sviluppata dal motore, da quella resistente e dal momento d'inerzia del sistema.

La Norma inoltre indica quanto segue:

Norma CEI 17-50 (EN 60947-4-1)

- Designazione e correnti di regolazione dei relè di sovraccarico

I relè di sovraccarico, sono designati dalla loro corrente di regolazione (o dai limiti inferiore e superiore dell'intervallo di correnti di regolazione) e dalla

loro classe d'intervento. La corrente di regolazione (o l'intervallo di correnti di regolazione) deve essere indicata sul relè.

- Caratteristiche tempo-corrente dei relè di sovraccarico

Le caratteristiche tempo-corrente devono essere fornite dal costruttore in forma di curve. Queste, devono indicare come varia il tempo d'intervento partendo da freddo, con la corrente fino ad un valore di almeno 8 volte la corrente di pieno carico del motore, col quale il relè è previsto venga impiegato.

Nota - Si raccomanda che la corrente sia riportata in ascisse e il tempo in ordinate, usando scale logaritmiche. Si raccomanda inoltre che la corrente sia riportata come multiplo della corrente di regolazione e il tempo in secondi.

- Influenza della temperatura dell'aria ambiente

Le caratteristiche tempo-corrente si riferiscono ad un valore stabilito della temperatura dell'aria ambiente, e sono basate sul fatto che il relè di sovraccarico non sia stato precedentemente caricato (vale a dire parta da uno stato iniziale freddo). Questo valore della temperatura dell'aria ambiente deve essere chiaramente indicato sulle curve; i valori preferenziali sono +20 o +40°C.

Il relè termico, deve essere in grado di funzionare in un intervallo di temperatura dell'aria ambiente da -5 a +40 °C, e il costruttore deve essere in grado di indicare l'effetto della variazione di temperatura dell'aria ambiente, sulle caratteristiche dei relè di sovraccarico.

4.4 Relè elettronico per la protezione da sovracorrenti

Generalità

Negli ultimi anni si è verificato un progresso rilevante negli interruttori in bassa tensione, sia aperti sia in scatola isolante. Le innovazioni sostanziali sono l'aumento dei poteri d'interruzione conseguenti all'uso della tecnica di limitazione della corrente, l'utilizzo del relè elettronico. Il relè elettronico viene usato sia per interruttori aperti, sia per interruttori in scatola isolante. Oggi esiste ancora una differenza tra i due tipi: in particolare, mentre sugli aperti l'utilizzo del relè elettronico è praticamente generalizzato, sugli interruttori in scatola isolante la sua diffusione è limitata solo ad una percentuale ridotta, e solo sulle taglie maggiori. La linea di tendenza è comunque quella di una sempre minore separazione tra le due tipologie costruttive.

Il relè elettronico consente di produrre interruttori "intelligenti" capaci di:

- sposare meglio le necessità contrastanti della continuità di servizio e della protezione grazie alle innumerevoli curve d'intervento;
- integrare le funzioni di misura (locale e a distanza);
- proteggere le condutture non solo dalle sovracorrenti ma anche dalle insidie delle piccole correnti verso terra;
- svolgere la funzione di controllo del carico (relè di priorità);
- misurare la corrente interrotta e stimare la propria vita residua;

- dialogare con altri interruttori;
- rendere agevole la selettività logica;
- essere gestiti da un calcolatore centrale in grado di misurare, registrare i parametri significativi dell'impianto ed attuare, in caso d'anomalia, gli interventi necessari.

4.4.1 Lo sganciatore elettronico

Lo sganciatore elettronico di massima corrente si avvale di trasformatori di corrente, inseriti nei poli dell'interruttore, che forniscono non solo il segnale per il circuito elettronico, ma anche l'energia necessaria per l'operazione d'apertura tramite uno sganciatore a basso consumo, la cui ancora mobile viene richiusa con il movimento di riarmo, ed è mantenuta in posizione per opera di un magnete permanente inserito nel circuito magnetico.

In Figura 4.4.1, sono rappresentati gli schemi di principio, di un interruttore con sganciatore elettronico di massima corrente e di uno sganciatore di corrente a basso consumo. La corrente di azionamento dello sganciatore riduce il flusso del magnete permanente, consentendo il prevalere della forza F su quella di attrazione magnetica agente sull'ancora mobile.

Le funzioni primarie, che si elencano nel seguito, sono essenzialmente quelle di uno sganciatore magnetotermico, ma svolte meglio.

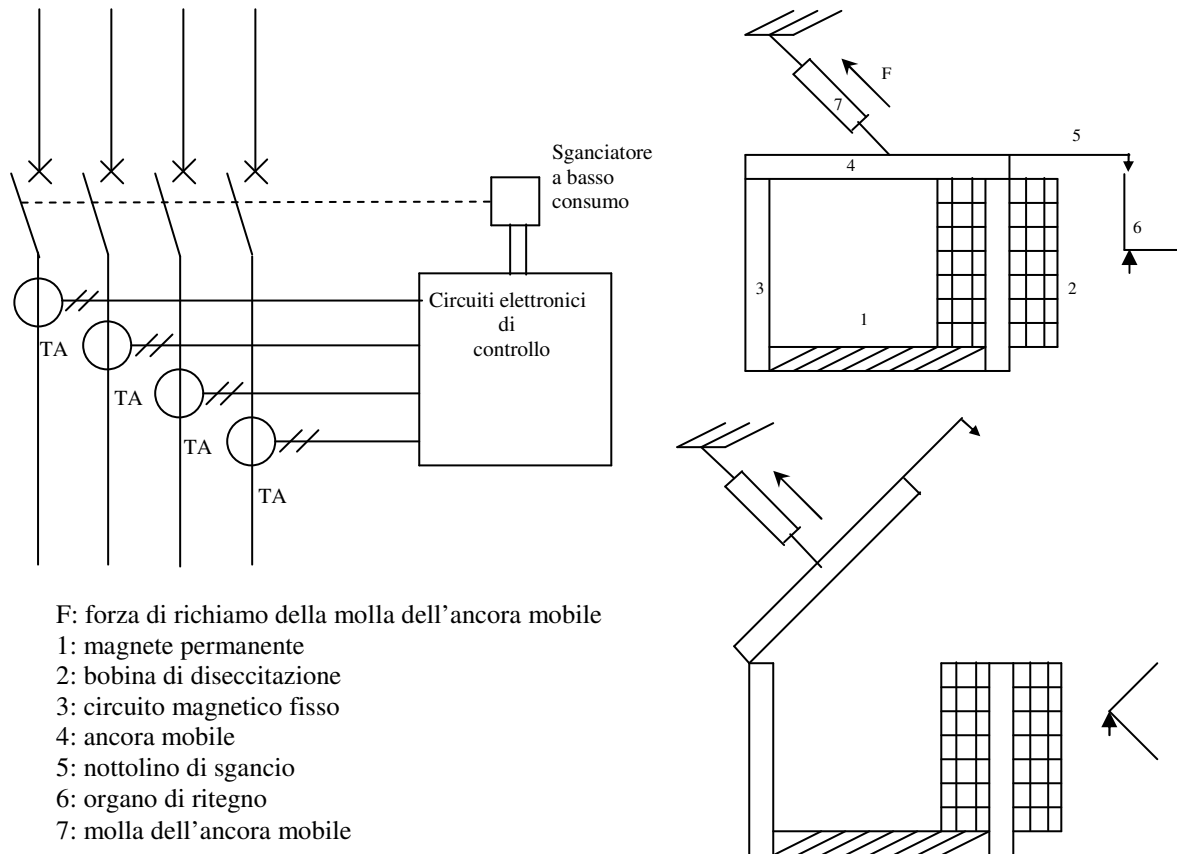


Figura 4.4.1

4.4.2 Miglioramenti apportati dal relè elettronico

- Protezione contro il sovraccarico

La caratteristica a tempo inverso nel seguito chiamata anche a lungo ritardo

LR ha, in genere:

- campo di regolazione esteso: corrente regolata I_r da $0,4 I_n$ a $1 I_n$, Fig. 4.4.2;
- ridotta tolleranza d'intervento; il rapporto I_f/I_{nf} tende all'unità, minimizzando il rischio di invecchiamento accelerato dei cavi soggetti a ripetuti sovraccarichi di piccola entità (dalle norme $I_f \leq 1,45I_z$).

- Protezione contro il cortocircuito

La caratteristica con ritardo intenzionale, nel seguito identificata con il termine corto ritardo CR e quella senza ritardo intenzionale (istantanea fissa) IST con corrente I_i , Figura 4.4.2, si contraddistinguono per:

- campo di regolazione esteso I_m da 1 a 12 I_r ;
- elevata precisione ($\pm 10\%$ anziché $\pm 20\%$ del magnetotermico) che consente, a parità di altre condizioni, di migliorare la protezione contro i contatti indiretti (sistemi TN);
- regolazione, espressa come multiplo di I_r (I_n nel caso del magnetotermico);
- svariate possibilità di scelta del ritardo breve (da 0,01s a 0,3s).

- Protezione contro i guasti verso terra

Protezione contro i guasti verso terra, nel seguito indicata con T, ottenibile senza aumenti di ingombro, viene effettuata come somma delle correnti secondarie dei trasformatori di corrente già inseriti in ogni polo dell'interruttore. Il valore della corrente differenziale nominale di intervento I_{dn} , regolabile in genere tra 0,2 e 0,6 I_r , con ritardo d'intervento, da 0 a 5s, consente di migliorare, nei sistemi TN, la protezione contro i contatti indiretti Figura 4.4.2; l'elettronica può fornire inoltre, prima dello sgancio, un segnale che, nel caso di guasto evolutivo, svolge funzione di allarme e/o distacco dei carichi non prioritari.

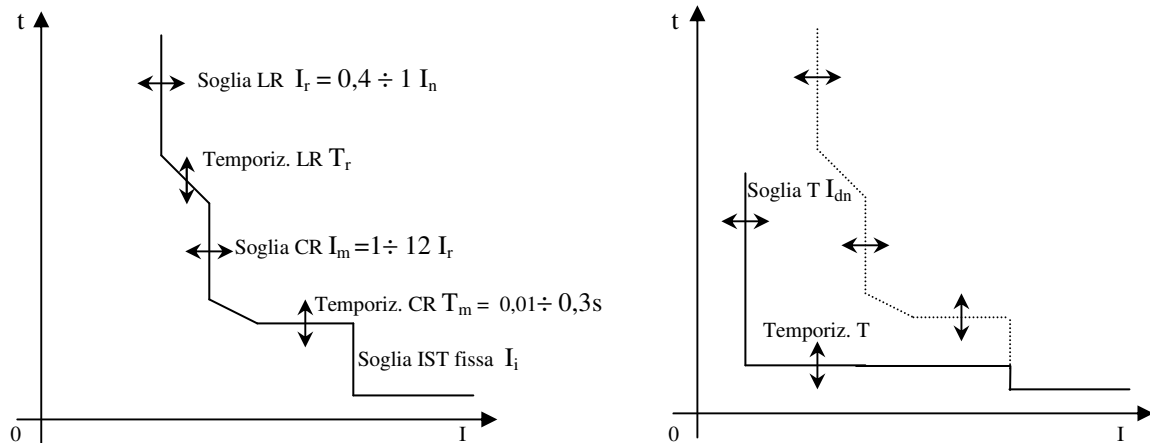


Figura 4.4.2

Con l'elettronica è possibile verificare periodicamente e con mezzi semplici, talvolta addirittura integrati nella protezione stessa, la precisione della caratteristica d'intervento; detta verifica, consigliata dopo alcune interruzioni di correnti prossime al potere d'interruzione nominale, abbisogna, nel caso degli sganciatori convenzionali, di mezzi non facilmente reperibili in campo.

Gli sganciatori elettronici sono capaci di svolgere nuove funzioni o di integrarne altre che un tempo erano svolte da specifici apparecchi:

1) Segnalazione differenziata dei guasti per intervento su sovraccarico, su cortocircuito e su guasto verso terra che permette di:

- seguire l'evoluzione dello stato dell'impianto sia localmente, sia a distanza;
- prevenire il rischio di evoluzione anormale della rete, fornendo informazioni sulla natura del guasto, al fine di stimarne rapidamente le conseguenze e

prendere gli appropriati provvedimenti. Per il ripristino è necessario un intervento locale con lo scopo di verificare lo stato dell'interruttore e del circuito da questo controllato.

2) Autosorveglianza, vale a dire protezione dell'unità di controllo contro innalzamenti anormali di temperatura mediante una termoresistenza: al superamento di una soglia prefissata ($90\text{ °C} \pm 10\%$) viene fornito l'ordine di sgancio. Nelle esecuzioni evolute s'integrano autosorveglianza e continuità di servizio; in caso di innalzamento della temperatura o di guasto dell'unità di controllo non viene fornito, salvo richiesta contraria, l'ordine di sgancio. L'informazione di guasto sulla protezione viene visualizzato su display e trasmessa a distanza; è sempre assicurata la protezione contro il cortocircuito.

3) Misura della corrente interrotta, che consente di stimare la vita residua e quindi di effettuare una manutenzione mirata. I diagrammi di durata di vita sono stati fino ad oggi disponibili solo per quegli apparecchi (contattori) per i quali è nota la corrente che interrompono durante la loro vita e per i quali, dal numero di manovre effettuate, è possibile determinare la vita residua; la misura della corrente interrotta estende questa possibilità anche agli interruttori, che spesso affinano questa stima con indicatori meccanici dell'usura dei contatti.

4) Memoria termica, ottenuta con la misura, ad intervalli di tempo dell'ordine dei ms, della corrente, consente di proteggere in modo adeguato (immagine termica) cavi ed utilizzatori; negli interruttori aperti, dotati di trasformatori di corrente (alimentazione indiretta) ed elemento sensibile (bimetallo) lontano dai conduttori, il relè termico non è in grado di simulare la costante termica dei cavi di grossa sezione o di grossi utilizzatori.

5) Controllo del carico (funzione di relè di priorità) si ottiene, nella zona a tempo inverso, mediante una curva che precede quella di sgancio, annunciandone l'imminenza, ad esempio a mezzo di segnalazione e ordine di apertura di utilizzatori non prioritari. Questa funzione, spesso trascurata, consente di progettare impianti con coefficienti di contemporaneità molto bassi, conciliando risparmio energetico e continuità di servizio, seguendo l'evoluzione del carico e fornendo segnalazioni locali o comunicando con i sistemi centralizzati nelle installazioni automatizzate (allarme, segnalazione, comando). Le soglie di regolazione del controllo di carico I_{c1} e I_{c2} sono funzione della corrente regolata dalla protezione contro i sovraccarichi I_r Figura 4.4.3. Il superamento di una soglia prefissata di corrente è segnalata dalla commutazione di un contatto ausiliario; se la soglia regolata è mantenuta per una durata prefissata, si ha la commutazione di un secondo contatto ausiliario; quando il valore di corrente scende al di sotto di quello regolato, il

contatto ritorna in posizione di riposo con una temporizzazione, (tra 2 e 10 s) che è funzione della velocità di decremento della corrente.

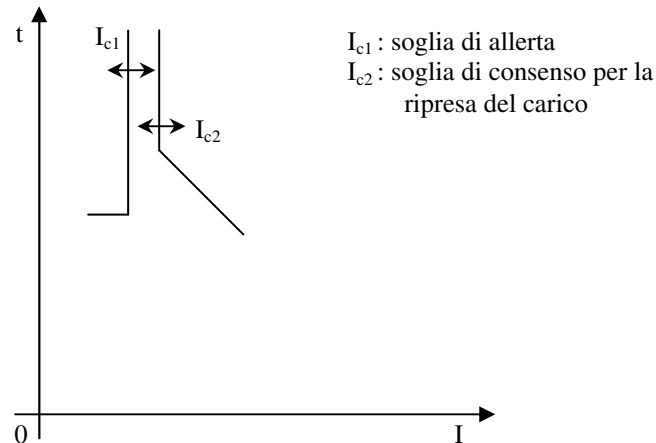


Figura 4.4.3

6) Protezione motore, funzione svolta dal relè termico dell'avviatore, può essere integrata nell'interruttore dotato di sganciatori elettronici, grazie alla regolazione "fine" della I_r , alla ridotta fascia di tolleranza e alla possibilità di regolazione delle soglie d'intervento. La memoria termica effettua poi, come già visto, una più efficace protezione dei grossi motori. Nel caso di motori con potenza superiore a 75 kW, in genere direttamente allacciati al quadro principale e caratterizzati da un numero di manovre non elevato, il contattore stesso può essere sostituito dall'interruttore.

Si può concludere affermando che l'elettronica sposa meglio i vincoli posti da due necessità spesso contrastanti, da una parte la protezione della conduttura e dell'utilizzatore e dall'altra l'insensibilità alle sovracorrenti necessarie

all'utilizzatore per l'espletamento della sua funzione. In effetti il dispositivo di protezione ideale ha curva tempo-corrente flessibile in grado di modellare l'involuppo della caratteristica di funzionamento dell'utilizzatore, sia a regime, come durante i transitori conseguenti la sua inserzione o distacco dalla rete. L'elettronica fornisce, con un limitato numero di modelli, caratteristiche tempo-corrente adatte anche alla protezione degli apparecchi utilizzatori "più difficili" quali:

- trasformatori bt/bt;
- motori asincroni con rotore a gabbia per avviamento normale o pesante;
- generatori sincroni;
- batterie di condensatori.

Inoltre l'elettronica consente la teletrasmissione, cioè il dialogo tra apparecchi intelligenti (controllori programmabili e, più in generale, sistemi informatici), che richiede mezzi di comunicazione unificati, definiti mediante organizzazione, caratteristiche, interfaccia necessaria, protocollo e linguaggio utilizzati, tipo di collegamento.

Le funzioni trasmesse sono in genere:

- valori di corrente;
- valore dei parametri di regolazione LR, CR, IST, T, I_{c1} , I_{c2} ;
- posizione dell'interruttore (aperto, chiuso);
- segnalazione differenziata del guasto;

- valore della corrente interrotta;
- memoria termica;
- autosorveglianza;
- usura dei contatti.

Tutto ciò implica la necessità di integrare le competenze impiantistiche con competenze relative alla trasmissione dati e alla programmazione dei calcolatori.

4.4.3 La manutenzione e la durata di vita

IL relè elettronico consente di individuare il tipo di intervento che ha provocato l'apertura dell'apparecchio (guasto a terra, sovraccarico, cortocircuito). Nei relè più evoluti può essere memorizzata la corrente, l'integrale di Joule, l'energia d'arco ecc., e questi dati possono essere elaborati dal calcolatore. In realtà anche in questo caso le potenzialità dell'elettronica non possono essere sfruttate completamente, perché l'utilizzatore, anche quello più aggiornato tecnicamente, non conosce le curve di "durata di vita" dell'apparecchio. Infatti le norme prescrivono un certo numero di manovre meccaniche ed elettriche a determinati valori (I_n , I_{cs} , I_{cu}), e non specificano ulteriori prove a valori intermedi. E' quindi compito del Costruttore più evoluto caratterizzare i propri apparecchi, determinando le curve di durata di vita, cioè i diagrammi che identificano il numero di

operazioni (dalla durata meccanica con $I=0$, al potere di interruzione nominale estremo I_{cu}) che, per ogni valore di corrente e alla tensione d'impiego, l'interruttore è in grado di effettuare sino a quando i suoi parametri caratteristici raggiungono valori limiti di accettabilità. Queste curve devono essere ricavate sperimentalmente con una serie di prove particolarmente lunghe e onerose, sia per la molteplicità dei punti da investigare, sia per la numerosità del campione (si tratta infatti di fasce da esaminare con metodi statistici). Le curve di durata di vita sono quindi strumenti molto utili per conoscere lo stato dell'interruttore; un passo successivo, se veramente si vuole gestire con il calcolatore la manutenzione, consiste nell'individuare un modello matematico che riproduca i diagrammi ricavati sperimentalmente e consenta di ricavare automaticamente la "perdita di vita" per ogni operazione.