

10. Dispositivi di manovra e protezione

10.1 Classificazione delle apparecchiature

10.1.1 Classificazione in base alle funzioni svolte

Fondamentalmente un apparecchio elettrico deve assolvere a due funzioni: una funzione che potremmo definire "statica" in cui l'apparecchio deve essere in grado di condurre qualsiasi corrente che possa interessare il circuito, garantire l'isolamento "parallelo" tra i conduttori attivi e verso le masse e assicurare l'isolamento "verticale" del circuito a monte rispetto quello a valle, e una funzione che chiameremo "dinamica" in cui l'apparecchio deve essere in grado di stabilire o interrompere, in presenza di corrente, la continuità elettrica tra le varie parti del circuito.

a) Funzioni statiche :

- condurre qualsiasi corrente fino alla corrente nominale del carico e ad una corrente di sovraccarico ben definita ;
- condurre correnti di corto circuito fino ad un determinato valore ;
- assicurare l'isolamento parallelo, alla tensione d'esercizio, e per determinate sovratensioni di origine interna o esterna ;
- garantire nella posizione di aperto l'isolamento verticale tra le parti dell'impianto a monte e le parti dell'impianto a valle ai fini del funzionamento ;
- garantire la separazione (sezionamento), ai fini della sicurezza, con precise condizioni di distanza dei contatti, d'isolamento e di mantenimento della posizione dei contatti.

b) Funzioni dinamiche:

- stabilire qualsiasi corrente fino alla corrente nominale del carico e ad una determinata corrente di sovraccarico ;
- stabilire correnti di corto circuito fino ad un determinato valore ;
- interrompere qualsiasi corrente fino alla corrente nominale del carico ed ad una determinata corrente di sovraccarico ;
- interrompere le correnti di corto circuito.

relè termico	fusibile	interruttore di manovra sezionatore
		
contattore	sezionatore	interruttore automatico
		

Fig. 10.1 - Segni grafici di apparecchi di manovra e di relè termico

10.1.2 Classificazione in base alle modalità di manovra

Le modalità di azionamento degli apparecchi per ottenere il movimento dei contatti (distacco o contatto) classificate secondo la Norma CEI 17-5 sono le seguenti :

- Manovra manuale dipendente** - manovra ad accumulo di energia che trae origine dal lavoro manuale, accumulato e liberato in una sola operazione, in modo che la velocità e la forza della manovra risultino indipendenti dall'azione dell'operatore;
- Manovra dipendente mediante sorgente esterna** - l'energia per la manovra è ottenuta con dispositivi come solenoidi, motori elettrici, pneumatici ecc. ;
- Manovra ad accumulo d'energia** - l'energia necessaria alla manovra viene accumulata nel meccanismo stesso prima della manovra ;

10.1.3 Classificazione in base al sistema elettrico

Per la scelta di ogni dispositivo devono essere forniti almeno i seguenti dati :

- le condizioni ambientali e la funzione a cui l'impianto è destinato ;
- il tipo di sistema (monofase trifase senza o con neutro) e la classificazione in base alla connessione a terra (TT, TN, IT);
- la tensione e la frequenza;
- la corrente d'impiego del circuito ;
- la corrente di sovraccarico che non deve far intervenire in modo intempestivo il dispositivo contro le sovracorrenti ;
- la portata delle condutture nelle condizioni d'impiego ;
- l'energia specifica passante ammissibile dalla conduttura e dagli altri componenti l'impianto ;
- la corrente di corto circuito massima presunta nel punto d'installazione degli apparecchi e, se necessario, la corrente di corto circuito minima all'estremità della conduttura da proteggere ;
- il tipo di provvedimento adottato per la protezione delle persone contro i contatti diretti e indiretti ;
- le esigenze di continuità del servizio.

10.1.4 Classificazione in base all'ambiente d'installazione

I dispositivi devono essere scelti in base all'ambiente di posa e in relazione al loro grado di compatibilità con le condizioni ambientali esistenti nel luogo d'installazione che possono riguardare:

- la natura dell'atmosfera e dell'ambiente (temperatura, umidità, presenza di polveri, di sostanze corrosive, insetti, ecc.);
- le sollecitazioni meccaniche ;
- le sollecitazioni termiche ;
- l'irraggiamento.

Questa classificazione riguarda direttamente gli apparecchi che però normalmente vengono installati all'interno di contenitori sui quali vengono in gran parte trasferite le sollecitazioni alle quali gli apparecchi sono soggetti. Ogni custodia, in relazione alla tenuta alle sollecitazioni a cui è sottoposta, è individuata secondo il noto metodo di classificazione del grado di protezione IPXX dove la prima cifra indica la protezione alla penetrazione dai corpi solidi e la seconda cifra alla penetrazione dell'acqua. A tal fine è utile ricordare che non è sempre conveniente intervenire sul

componente per adattarlo alle specifiche condizioni ambientali di installazione, ma spesso risulta più semplice migliorare le caratteristiche dell'ambiente stesso, come ad esempio migliorando la ventilazione o il raffreddamento o trasferendo il componente, ad esempio un quadro elettrico, fuori dall'ambiente non adatto alla sua installazione.

10.2 Definizioni e dati di targa

Prima di descrivere dettagliatamente, nei prossimi capitoli, i singoli apparecchi, si ritiene utile, per avere una visione di assieme, fare una panoramica su definizioni e dati di targa.

10.2.1 Sezionatore

La Norma CEI 17-11, art. 2.1.4 da del sezionatore la seguente definizione :

'Apparecchio meccanico di manovra che, per ragioni di sicurezza, assicura, nella posizione di aperto, una distanza di sezionamento che soddisfa a condizioni specificate. Un sezionatore è capace di aprire e chiudere un circuito quando la corrente interrotta o stabilita è di intensità trascurabile, o quando la manovra non produce alcun cambiamento apprezzabile della tensione ai suoi terminali. Esso è inoltre capace di portare, nella posizione di chiuso, la corrente corrispondente alle condizioni normali di circuito e di portare, per una durata specificata, correnti corrispondenti a condizioni anormali di circuito, come ad esempio quelle di corto circuito'.

10.2.2 Interruttore

A seconda del tipo di utilizzo gli interruttori sono oggetto di diversi fascicoli normativi. Di seguito verranno specificate le definizioni indicate dalle relative Norme di riferimento.

- **Interruttore (meccanico) di manovra** (Norma CEI 17-11, art. 2.1.3) - "Apparecchio meccanico di manovra destinato a stabilire, portare e interrompere correnti in condizioni normali di circuito, comprese eventuali condizioni specificate di sovraccarico in servizio ordinario, così come a portare per una durata specificata correnti in condizioni anormali di circuito, come ad esempio quelle di corto circuito".
- **Interruttore - sezionatore** (Norma CEI 17-11, art. 2.1.5) – "Interruttore di manovra che, nella posizione di aperto, soddisfa alle prescrizioni della distanza di sezionamento specificate per un sezionatore"
- **Interruttore automatico (meccanico)** (Norma CEI 17-15, art. 2.1.4) – "Apparecchio meccanico di manovra capace di stabilire, portare e interrompere correnti in condizioni normali del circuito ed inoltre di stabilire, portare per una durata specificata e interrompere automaticamente correnti in condizioni anormali specificate del circuito, ad esempio quelle di corto circuito".
- **Interruttore automatico di sovracorrente per usi domestici e similari** (Norme CEI 23-3, art. 2.2.1 dell'allegato) - "Apparecchio meccanico d'interruzione destinato a connettere all'alimentazione un circuito ed a disconnetterlo, mediante operazione manuale, o ad aprire il circuito automaticamente, quando la corrente superi un valore predeterminato".
- **Interruttore differenziale per uso domestico e similare** (Norme CEI 23-18, art. 2.1.01) – "Dispositivo meccanico destinato a connettere e a disconnettere un circuito all'alimentazione, mediante operazione manuale, e ad aprire il circuito automaticamente quando la corrente differenziale supera un valore predeterminato".
- **Interruttore differenziale con sganciatori di sovracorrente per uso domestico e similare** (Norme CEI 23-8, art. 2.3.01) – "Interruttore differenziale con sganciatori di sovracorrente incorporati capaci di provocare automaticamente l'apertura del circuito principale quando la corrente superi un valore predeterminato".
- **Combinazione di interruttore differenziale e dispositivo di protezione contro i corto circuiti** (Norma CEI 23-18, art. 2.2.01) – "Insieme formato da un interruttore differenziale senza sganciatori di sovracorrente e da un dispositivo di protezione contro i corto circuiti (dispositivo associato). Nel seguito si usa per brevità il termine combinazione.....".

10.2.3 Fusibile

Dispositivo di interruzione 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.

10.2.4 Apparecchio di manovra e di protezione con fusibili

Si riportano di seguito le definizioni delle principali combinazioni con fusibili ottenute per integrare le prestazioni e le funzioni di specifici apparecchi :

- **Unità combinata con fusibili** (Norma CEI 17-11, art. 2.1.7) – “Apparecchio realizzato da un costruttore, o secondo le sue istruzioni, risultante dalla combinazione, in assieme unico, o di un interruttore di manovra, o di un sezionatore, o di un interruttore-sezionatore, con uno o più fusibili” ;
- **Sezionatore con fusibili** (Norma CEI 17-11, art. 2.1.9) – “Apparecchio costituito da un sezionatore nel quale uno o più poli hanno in serie un fusibile, in un assieme unico” ;
- **Interruttore di manovra con fusibili** (Norma CEI 17-11, art. 2.1.8) – “Apparecchio costituito da un interruttore di manovra nel quale uno o più poli hanno in serie un fusibile, in un assieme unico” ;
- **Interruttore con fusibili incorporati** (Norma CEI 17-5 art. 2.1.5) - ‘Combinazione di interruttore automatico e fusibili in un assieme unico, con fusibile in serie ad ogni polo destinato ad essere connesso ad un conduttore di fase’.
- **Fusibile - sezionatore** (Norma CEI 17-11, art. 2.1.11) - ‘Sezionatore nel quale una cartuccia o un portafusibile con la sua cartuccia forma il contatto mobile del sezionatore’ ;
- **Fusibile - interruttore** (Norma CEI 17-11, art. 2.1.10) - ‘Interruttore di manovra nel quale una cartuccia o un portafusibile con la sua cartuccia forma il contatto mobile dell’interruttore’.

10.2.5 Contattore ed avviatore

Si riportano le definizioni relative sia al contattore sia agli avviatori :

- **Contattore** (Norma CEI 17-3, art. 1.2.03) – “Dispositivo meccanico di manovra, generalmente previsto per un numero elevato di operazioni, avente una sola posizione di riposo, ad azionamento non manuale, capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni ordinarie del circuito e in condizioni di sovraccarico. La posizione di riposo corrisponde ordinariamente alla posizione di apertura dei contatti principali. Quando la posizione di riposo corrisponde alla posizione di chiusura dei contatti principali, il contattore si definisce come chiuso in riposo” ;
- **Avviatore** (Norma CEI 17-7, art. 1.2.03) – “E’ l’insieme di tutti i dispositivi di manovra necessari ad avviare ed arrestare il motore, in combinazione con appropriati dispositivi di protezione contro i sovraccarichi” ;
- **Avviatore diretto** (Norma CEI 17-7, art. 1.2.04) – “Avviatore che inserisce direttamente il motore sulla linea e applica la tensione della linea di alimentazione ai morsetti del motore in una sola operazione” ;
- **Avviatore invertitore** (Norma CEI 17-7, art. 1.2.05) – “Avviatore previsto per invertire il senso di rotazione del motore mediante l’inversione delle connessioni di alimentazione, mentre il motore è in marcia”.

10.2.6 Dati di targa

I dati di targa sono l’insieme delle informazioni minime necessarie per l’identificazione di un’apparecchiatura. Per questo motivo la targa deve essere visibile anche quando l’apparecchio è montato. Non tutte le informazioni relative al prodotto possono essere inserite nei dati di targa, per queste si rimanda normalmente alla documentazione che accompagna ogni dispositivo elettrico.

10.3 Fusibili

10.3.1 Generalità

Il fusibile è un dispositivo di protezione contro i sovraccarichi e i corto circuiti. E' caratterizzato da una estrema semplicità costruttiva, da costi piuttosto contenuti e dal fatto di possedere un elevato potere d'interruzione. Accanto a questi lati positivi ne presenta anche alcuni negativi : quando interviene non assicura la contemporanea interruzione di tutte le fasi del circuito, i tempi di ripristino sono relativamente lunghi, non esistono dimensioni unificate. Le Norme CEI distinguono i fusibili per la bassa tensione (<1000V) in fusibili per uso da parte di persone addestrate (applicazioni industriali con correnti nominali superiori ai 100 A) e fusibili per uso da parte di persone non addestrate (applicazioni domestiche e similari) che però possono essere usati anche in applicazioni industriali.

10.3.2 Criteri costruttivi

Normalmente la componente fusibile è racchiusa in contenitori isolanti muniti, alle estremità, di contatti (l'insieme di questi elementi viene comunemente chiamata "cartuccia" e costituisce la parte da sostituire dopo l'intervento della protezione) per il collegamento con il supporto che verrà poi inserito, mediante morsetti, al circuito da proteggere. L'elemento fusibile, di materiale conduttore, può essere di forma e materiale differente a seconda dell'utilizzo. Possono essere ad esempio in argento puro (materiale con un'ottima conducibilità elettrica e termica e caratterizzato da un alto punto di fusione) e possono avere sezioni variabili per realizzare differenti condizioni di riscaldamento e quindi di fusione (si ottiene così la protezione sia contro i sovraccarichi di piccola e media intensità e di lunga durata, sia contro le correnti di corto circuito di elevata intensità e di breve durata). Frequente è l'utilizzo di riempitivi della cartuccia ottenuti con sabbia a base di quarzo posta entro involucro isolante del fusibile che può essere in ceramica, porcellana o vetro ecc.. In alcune soluzioni costruttive l'intervento del fusibile può essere segnalato da dispositivi indicatori e può, tramite l'intervento di un percussore (meccanicamente o elettricamente tramite un contatto) agire sul funzionamento di altri apparecchi (ad esempio potrebbe aprire un interruttore, accendere una lampada spia, ecc..). Il percussore è un dispositivo meccanico, interno alla cartuccia, che in genere utilizza, in fase d'intervento dell'elemento fusibile, l'energia accumulata in una molla precompressa.

10.3.3 Principio di funzionamento

Il fusibile può intervenire a causa di un sovraccarico o a causa di un corto circuito. In presenza di sovraccarichi i tempi di intervento del fusibile devono essere inversamente proporzionali alla corrente stessa. Viene, infatti, sfruttata la buona conducibilità termica dell'elemento fusibile che si riscalda in modo uniforme (per intervenire essi devono, infatti, immagazzinare una certa quantità di energia termica, necessaria per il riscaldamento dell'elemento fusibile e per la sua successiva fusione ed evaporazione), anche nei punti a sezione più piccola, e interviene in tempi compresi tra i secondi e le ore. Il riscaldamento è in parte rallentato anche dalla presenza del materiale di riempimento che trasferisce all'ambiente il calore sviluppato per effetto Joule. In presenza di correnti di corto circuito che devono essere interrotte in tempi brevi, la temperatura sale più rapidamente nelle zone a sezione ristretta (essendo più elevata la resistenza elettrica e minore la capacità termica rispetto alle altre parti dell'elemento fusibile) e in questo caso il materiale riempitivo non è in grado di trasferire all'esterno il calore prodotto. Nei punti a sezione più piccola la temperatura di fusione viene raggiunta in tempi molto brevi e si hanno così dei punti deboli in cui avvengono le più fusioni con formazione di diversi archi, in serie tra loro, che facilitano l'interruzione della corrente. L'estinzione dell'arco viene inoltre agevolata dall'azione di raffreddamento del materiale riempitivo nel quale, assorbendo calore, si hanno formazioni vetrose e sviluppo di gas con conseguente aumento della resistenza elettrica che determina prima la diminuzione e poi l'annullamento della corrente elettrica. In questa fase la corrente si discosta notevolmente dall'andamento presunto e il valore di picco non viene raggiunto. Il fusibile dimostra di possedere una notevole azione limitatrice sulla corrente di corto circuito.

10.3.4 Grandezze nominali

□ *Tensione nominale U_n* - è il massimo valore della tensione a cui può essere sottoposto il fusibile. I valori normalizzati sono :

- a) per uso domestico : 230, 400, 500 V
- b) per uso industriale : 230, 300, 500, 600 V

□ *Corrente nominale I_n* - è la corrente che il fusibile può sopportare senza fondere e senza che si verifichino riscaldamenti anormali. I valori normalizzati dei fusibili per impiego da parte di personale addestrato e non addestrato sono 2,4,6,8,10,12,16,20,25,32,40,50,63,80 e 100 A mentre i valori normalizzati dei fusibili per l'impiego da parte del solo personale addestrato sono 125,160,200,250,315,400,500,630,800,1000 e 1500 A.

- *Corrente convenzionale di non fusione I_{nf}* - è il valore massimo di corrente che il fusibile è in grado di sopportare per un determinato tempo senza fondere.
- *Corrente convenzionale di fusione I_f* - è il minimo valore di corrente che provoca la fusione dell'elemento entro un determinato intervallo di tempo (per i fusibili aM non sono indicati i valori di I_{nf} e I_f , è invece specificata la caratteristica tempo_corrente di sovraccarico).

<i>Corrente nominale I_n</i>	<i>Tempo convenzionale</i>	<i>Correnti convenzionali</i>	
<i>(A)</i>	<i>(h)</i>	<i>I_{nf}</i>	<i>I_f</i>
$I_n < 16A$	(1)	Valori allo studio	Valori allo studio
$I_n \leq 63A$	(1)	$1,25I_n$	$1,6I_n$
$63 < I_n \leq 160$	(2)	$1,25I_n$	$1,6I_n$
$160 < I_n \leq 400$	(3)	$1,25I_n$	$1,6I_n$
$400 < I_n$	(4)	$1,25I_n$	$1,6I_n$

Tab. 10.1a - Correnti convenzionali di fusione I_f non fusione I_{nf} dei fusibili gG e gM.

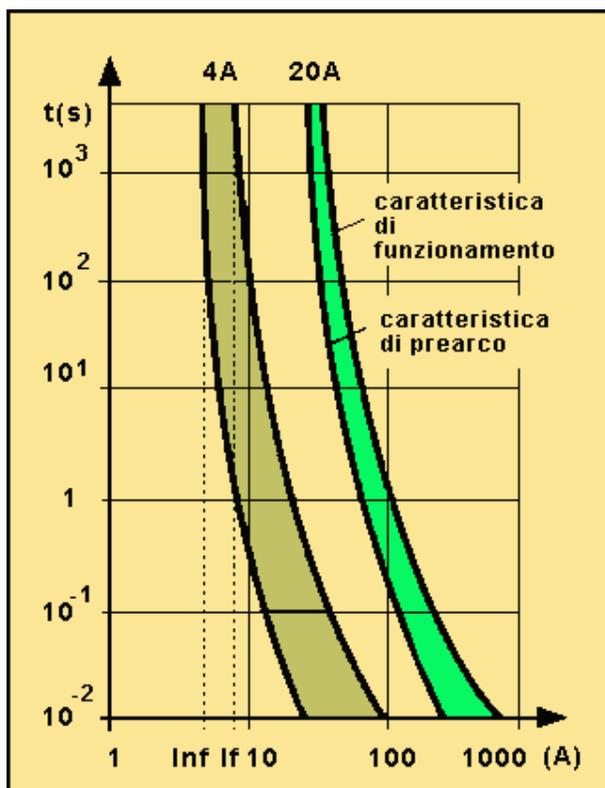
- *Potere d'interruzione* - valore massimo di corrente che il fusibile è in grado di interrompere in condizioni specificate.

<i>Tipo impianto</i>	<i>Tensione nominale (V)</i>	<i>Potere di interruzione minimo (kA)</i>
<i>Domestico</i>	$U_n < 240$	6
	$240 < U_n < 500$	20
<i>Industriale</i>	$U_n < 560$	50
	$U_n < 150$	25

Tab. 10.1.b - Valori minimi ammessi per il potere di interruzione

- *Potenza dissipata dalla cartuccia* - potenza dissipabile dalla cartuccia alla corrente nominale.
- *Caratteristiche tempo corrente* - in relazione alla caratteristica d'intervento (fig. 10.3) i fusibili vengono classificati in :
 - a) per uso generale (gG) che sono in grado di interrompere tutte le correnti fra il valore minimo che provoca la fusione dell'elemento e il potere d'interruzione nominale ;
 - b) protezione di circuiti di alimentazione di motori che sono in grado di interrompere tutte le correnti fra il valore minimo che provoca la fusione dell'elemento e il potere d'interruzione nominale ;
 - c) fusibili per uso combinato (aM), detti anche di 'accompagnamento motori', che sono in grado di interrompere le correnti comprese tra un particolare valore di sovracorrente e quella relativa al potere di interruzione nominale. Le correnti inferiori devono essere interrotte mediante un ulteriore dispositivo come ad esempio una combinazione contattore - relè termico. Questo tipo di fusibili viene impiegato quando sono in gioco elevate correnti di spunto. Per questo tipo di fusibili le caratteristiche di intervento sono definite normalmente come multipli della corrente nominale in funzione del rapporto I/I_n . La caratteristica è individuabile dai valori $k_0=1,5$, $k_1=4$, $k_2=6,3$. Il fusibile può intervenire all'interno della coppia di valori tempo corrente compresi nella zona definita dalle curve di prearco e di funzionamento. A volte i costruttori forniscono la sola curva di funzionamento senza quella di prearco (fig.10.3).

Importante, per un corretto uso dei fusibili, è conoscere costruttori la temperatura alla quale sono riferite le caratteristiche di intervento. Normalmente ci si riferisce alla temperatura ambiente di 20°C (caratteristiche normalizzate), per temperature diverse i tempi di intervento cambiano ed è quindi necessario determinare i nuovi tempi di intervento che si vengono a stabilire.



Caratteristica di prearco - intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio di una sovracorrente e l'istante in cui l'elemento fusibile fonde con formazione dell'arco.

Caratteristica di funzionamento - intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio di una sovracorrente e l'istante in cui questa è interrotta (tempo di prearco più tempo di arco).

Fig. 10.3a - Caratteristica di intervento di un fusibile gG

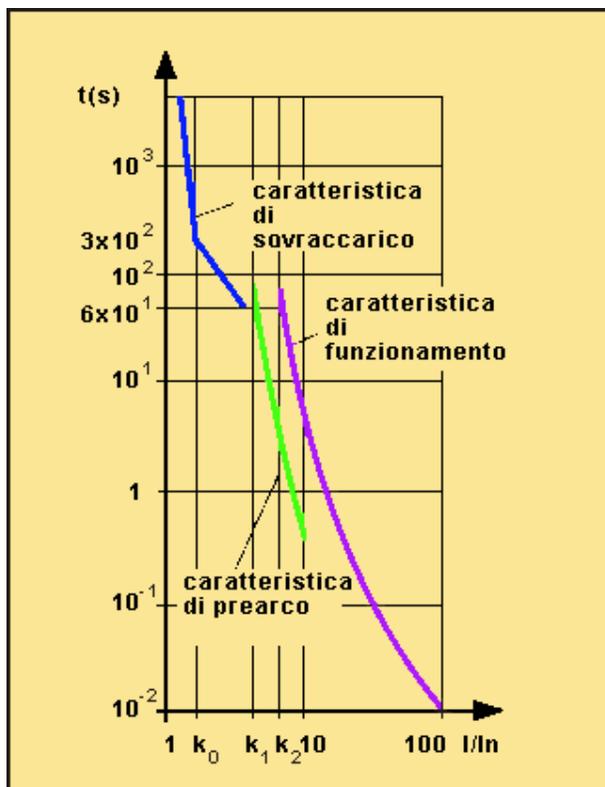


Fig. 10.3b - Caratteristica di intervento di un fusibile aM

Energia specifica (impulso Termico) - rappresenta il massimo valore di energia passante durante il tempo di intervento del fusibile le tabelle 10.1c e 10.1d riportano i valori di I^2t previsti dalle norme rispettivamente per i fusibili aM e gG.

Tensione nominale U_n (V)	I^2t massimo (A^2s)
$U_n < 400$	$18I_n^2$
$400 \leq U_n \leq 500$	$24I_n^2$
$500 \leq U_n \leq 660$	$35I_n^2$

Tab. 10.1c - Cartucce aM. Valori massimi di energia passante per temp
i non superiori a 0,01 s

Corrente nominale I_n (A)	I^2t minimo (A^2s)	I^2t massimo (A^2s)
16	300	1 000
20	500	1 800
25	1 000	3 000
32	1 800	5 000
40	3 000	9 000
50	5 000	16 000
63	9 000	27 000
80	16 000	46 000

100	27 000	86 0000
125	46 000	140 0000
160	86 000	250 0000
200	140 000	400 0000
250	250 000	760 0000
315	400 000	1 300 000
400	760 000	2 250 000
500	1 300 000	3 800 000
630	2 250 000	7 500 000
800	3 800 000	13 600 000
1 000	7 840 000	25 000 000
1 250	13 700 000	47 000 000

Tab. 10.1d - Cartucce gG. Valori minimi e massimi dell'energia specifica di prearco per tempi di 0,01 s

10.4 Interruttori differenziali

10.4.1 Generalità

Dell'interruttore differenziale le Norme riportano la seguente definizione : “dispositivo meccanico destinato a connettere e a disconnettere un circuito all'alimentazione, mediante operazione manuale, e ad aprire il circuito automaticamente quando la corrente differenziale supera un valore predeterminato”. Viene altresì precisato che ove fossero presenti anche sganciatori di sovracorrente, questi devono essere in grado di “provocare automaticamente l'apertura del circuito principale quando la corrente superi un valore predeterminato”. Con il verificarsi di un guasto verso terra la somma vettoriale delle correnti, che in un circuito in condizioni normali è nulla, da un risultato diverso da zero. L'interruttore differenziale è un dispositivo sensibile a questa corrente (corrente differenziale) e interviene, aprendo automaticamente il circuito, quando viene superato un valore prestabilito. Con questo dispositivo è possibile attuare :

- la protezione contro i contatti indiretti ;
- una protezione addizionale contro i contatti diretti ;
- la protezione contro gli incendi causati dagli effetti termici dovuti alle correnti di guasto verso terra.

Non in tutti gli interruttori differenziali l'energia necessaria per il funzionamento proviene dalla corrente di guasto ma da una sorgente esterna costituita in genere dalla stessa rete di alimentazione. E' il caso ad esempio dei dispositivi differenziali ad uso industriale con il toroide separato che viene installato direttamente sul cavo. In questo tipo di dispositivi quasi sempre se viene a mancare l'energia ausiliaria l'interruttore non interviene. In alcuni casi molto particolari questo potrebbe risultare pericoloso; ad esempio si interrompe uno solo dei conduttori che alimentano il circuito ausiliario e contemporaneamente si ha un guasto verso terra. Poiché la situazione prospettata è possibile ma poco probabile la Norma permette l'utilizzo di questi interruttori differenziali per la protezione dai contatti indiretti ma solo negli impianti elettrici condotti da persone addestrate come ad esempio negli stabilimenti industriali.

10.4.2 Principio di funzionamento

In figura 10.4 è schematizzato il principio di funzionamento di un interruttore differenziale monofase. Lo sganciatore differenziale è composto essenzialmente da un nucleo magnetico toroidale su cui sono avvolte due bobine, che vengono collegate in serie con la linea da proteggere, e da una bobina di rilevazione differenziale (B) che agisce sull'organo di comando . Le due bobine sono avvolte in modo che le forze magnetomotrici da esse prodotte, quando in condizioni normali sono attraversate dalla stessa corrente, siano uguali ed opposte, tali quindi da produrre una forza magnetomotrice risultante nulla. Non si avrà perciò alcun effetto magnetico e il relè di sgancio (S) non interverrà. Se l'isolamento dell'utilizzatore protetto dal dispositivo cede, una corrente di guasto I_g viene convogliata verso terra e le correnti che circoleranno attraverso le due bobine non saranno più uguali provocando una corrente differenziale $I_D=I_1-I_2$. La forza magnetomotrice risultante non sarà più nulla e la variabilità del flusso nel tempo indurrà nella bobina

differenziale una forza elettromotrice che farà circolare la corrente I_1 . Tale corrente andrà ad interessare l'organo di comando dello sganciatore differenziale provocando l'apertura del circuito guasto se la corrente differenziale supera il valore di soglia. In un sistema trifase senza neutro la somma vettoriale delle tre correnti in assenza di guasto verso terra, anche in presenza di carichi squilibrati è sempre uguale a zero. Il dispositivo differenziale trifase è sensibile alla somma vettoriale delle tre correnti e interviene per un guasto a terra quando viene superata dalla corrente differenziale la soglia d'intervento dello sganciatore. Nei sistemi trifase con neutro la somma vettoriale delle tre correnti è uguale ed opposta a quella che circola sul neutro e quindi la somma delle quattro correnti è sempre uguale a zero ; l'interruttore differenziale anche in questo caso interviene solo in caso di guasto a terra. L'interruttore differenziale deve essere munito di un tasto di prova con una corrente di prova che secondo le norme può essere al massimo $2,5I_{Dn}$. La prova eseguibile con questo tasto intende verificare che il rivelatore differenziale e il dispositivo di sgancio siano ancora in grado di segnalare una corrente differenziale e di interrompere il circuito. Questa però è una prova che non permette di stabilire se è rispettata la caratteristica di intervento dell'interruttore differenziale (questa verifica deve essere effettuata mediante appositi strumenti). I costruttori in ogni caso consigliano di provare gli interruttori differenziali col tasto di prova almeno una volta al mese perché si è notato che la percentuale di guasti dei dispositivi così provati si riduce rispetto a quelli non provati con questa frequenza.

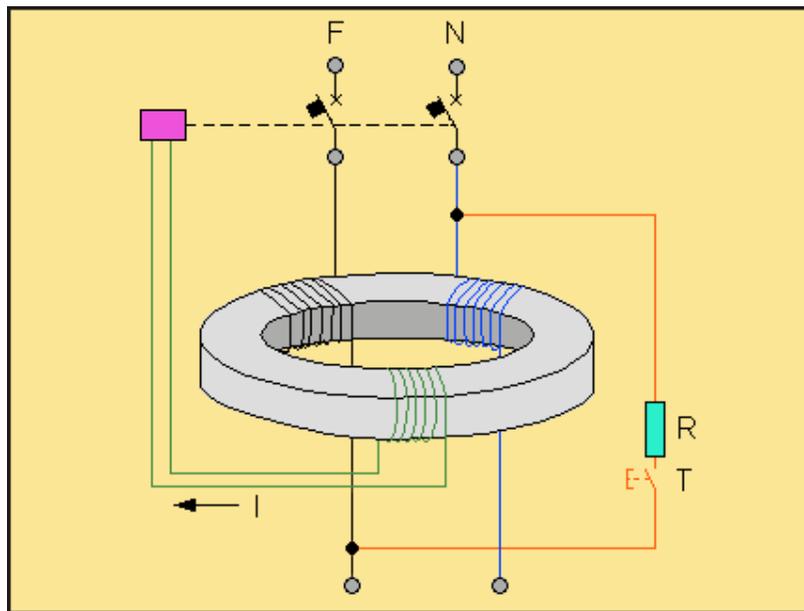


Fig. 10.4 - Principio di funzionamento di un interruttore differenziale

10.4.3 Parametri caratteristici degli interruttori differenziali

In base al tipo costruttivo i dispositivi differenziali si distinguono in :

- dispositivi il cui funzionamento non dipende da una sorgente ausiliaria ;**
- dispositivi che dipendono da una sorgente ausiliaria.**

Una ulteriore suddivisione viene effettuata in base alla funzione a cui il dispositivo differenziale è destinato :

- Differenziali magnetotermici** - sono costituiti dalla combinazione di uno sganciatore magnetico, termico e differenziale e sono destinati alla protezione dalle sovracorrenti e dalle correnti di guasto verso terra ;
- Differenziali puri** - sono dotati del solo sganciatore differenziale e quindi garantiscono solo la protezione verso terra. Devono essere accoppiati a interruttori magnetotermici o a fusibili per la protezione dalle sollecitazioni termiche e dinamiche;

□ **Differenziali con toroide separato** - sono impiegati negli impianti industriali caratterizzati da forti intensità di corrente. Vengono realizzati con relè, costituiti da un toroide sul quale è disposto l'avvolgimento di rilevazione della corrente differenziale, che viene utilizzato per comandare il meccanismo di sgancio di un interruttore o di un contattore di linea.

Le prestazioni di questi dispositivi sono definite da alcune grandezze caratteristiche :

- *Numero dei poli* - 2P, 3P, 4P ;
- *Tensione nominale* - valore di tensione per la quale l'interruttore è destinato a funzionare ;
- *Corrente nominale (I_n)* - valore di corrente che l'apparecchio è in grado di portare ininterrottamente ;
- *Corrente differenziale nominale d'intervento I_{dn}* (Norme CEI EN 61008-1 e CEI EN 61009-1) - minimo valore della corrente differenziale che determina l'apertura dei contatti entro tempi specificati. I valori normalizzati sono 0,01-0,03-0,1-0,3-0,5-1A ;
- *Corrente differenziale nominale di non intervento I_{Dn0}* (Norme CEI EN 61008-1 e CEI EN 61009-1) - valore massimo della corrente differenziale che non provoca l'apertura dei contatti. Il valore normalizzato, anche se sono ammessi tempi diversi, è $I_{Dn0}=0,5I_{dn}$;

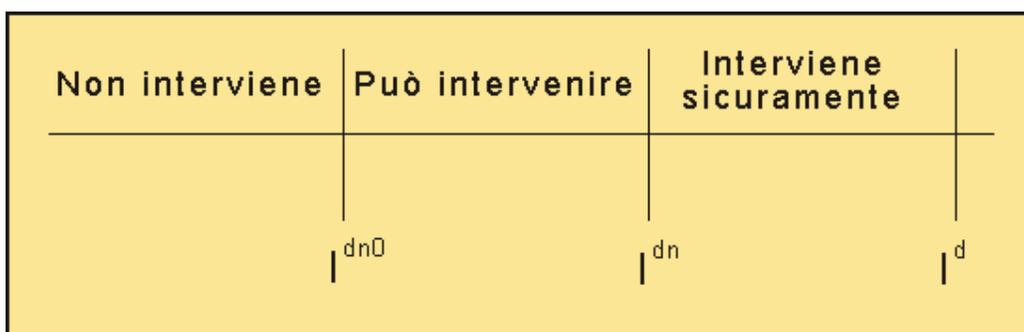


Fig. 10.5 - Limiti di intervento e di non intervento dei dispositivi differenziali

□ *Tempo d'intervento* - intervallo di tempo tra l'istante in cui si raggiunge il valore di corrente differenziale I_{dn} e l'istante in cui avviene l'apertura dei contatti

Tipo di dispositivo	I_{dn} (A)	Tempi massimi di intervento in secondi per :			
		$1I_{dn}$	$2I_{dn}$	$5I_{dn}$	0,25 A
Alta sensibilità	0,005	5	1	---	0,04
	0,010	5	0,5	---	0,04
	0,030	0,5	0,2	---	0,04
Bassa sensibilità	0,1	2	0,2	0,04	---
	0,3	2	0,2	0,04	---
	0,5	2	0,2	0,04	---
	1	2	0,2	0,04	---

Tab. 10.2 - Correnti nominali differenziali normalizzate e tempi massimi d'intervento degli interruttori differenziali

□ *Caratteristiche d'intervento* - definiscono i valori corrente differenziale/tempo d'intervento che caratterizzano il funzionamento del dispositivo

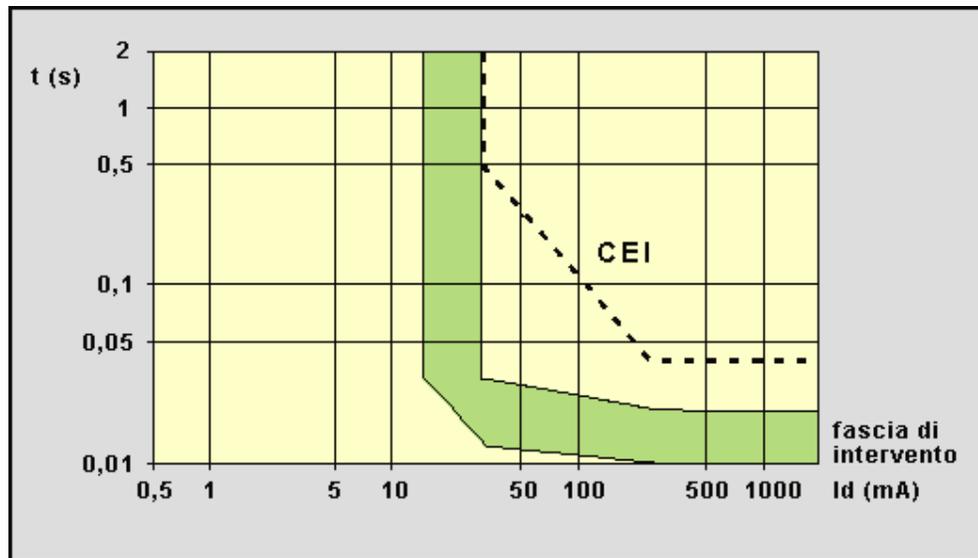


Fig 10.6 - Caratteristiche di intervento di un interruttore differenziale

- **Potere di chiusura e di interruzione differenziale nominale I_{Dn}** (Norme CEI EN 61008-1 e CEI EN 61009-1) – è il valore efficace della componente alternata della corrente presunta differenziale che un interruttore differenziale può stabilire, portare ed interrompere in condizioni specificate. Il valore minimo di I_{Dn} è $10 I_n$ oppure 500A scegliendo il valore più elevato.
- **Potere di chiusura e di interruzione nominale I_m** (Norme CEI EN 61008-1) – è il valore efficace della componente alternata della corrente presunta, assegnato dal costruttore, che un interruttore differenziale può stabilire, portare e interrompere in condizioni specificate. Il valore minimo di I_m è $10 I_n$ oppure 500A scegliendo il valore più elevato.
- **Potere di corto circuito nominale condizionale I_{nc}** (Norme CEI EN 61008-1) – massimo valore efficace di corrente presunta che il dispositivo, protetto da un dispositivo di protezione contro i cortocircuiti (interruttore automatico o fusibili), è in grado di sopportare in condizioni specificate senza subire danni che ne compromettano la funzionalità. Fino a 10 kA i valori normalizzati sono : 3-4-5-10 kA mentre oltre i 10 kA e fino a 25 kA il valore preferenziale è 20 kA.
- **Corrente di cortocircuito nominale condizionale differenziale I_{Dc}** (Norme CEI EN 61008-1) – è il valore di corrente presunta differenziale che un interruttore differenziale, protetto da un dispositivo di protezione contro il cortocircuito, può sopportare in condizioni specificate senza subire modificazioni che ne compromettano la funzionalità. I valori normali sono gli stessi di I_{nc} .
- **Comportamento in presenza di correnti pulsanti unidirezionali** - interruttore differenziale denominato di tipo AC o A ;
- **Comportamenti in presenza di correnti continue di guasto a massa** - interruttore differenziale denominato di tipo B ;
- **Tempo di ritardo** - per gli interruttori differenziali selettivi denominati di tipo S.

10.4.4 Selettività

La corrente differenziale di non intervento è, come abbiamo detto, il massimo valore di corrente differenziale per il quale sicuramente il dispositivo non interviene ($I_{Dn0}=0,5I_{Dn}$). Nell'intervallo I_{Dn0} - $0,5I_{Dn}$ l'interruttore non ha un comportamento certo : può intervenire come può non intervenire. Nella scelta della corrente differenziale nominale d'intervento si deve tenere conto, oltre che del coordinamento con l'impianto di terra, anche dell'insieme delle correnti di dispersione dell'impianto, la cui somma vettoriale sulle singole fasi, se si vuole garantire la continuità del servizio, non deve superare $0,5I_{Dn}$. Anche senza un guasto verso terra le correnti di dispersione possono assumere valori elevati per uno dei seguenti motivi : l'impianto è in condizioni di conservazione precario oppure nelle macchine risulta insufficiente l'isolamento verso terra, gli apparecchi disperdono verso terra correnti superiori ai normali valori, l'impianto elettrico è molto vasto e ogni dispositivo differenziale alimenta un numero troppo elevato di utilizzatori. I rimedi da adottare per

risolvere questi problemi possono essere : nel primo caso, revisione dell'impianto ; nel secondo caso, adozione di un trasformatore d'isolamento (è il caso di alcune apparecchiature elettroniche in cui le norme CEI 74-2 ammettono correnti di dispersione fino al 5% della corrente nominale. Sugli apparecchi che presentano correnti di dispersione maggiori di 3,5 mA è comunque richiesta, secondo tale Norma, l'esposizione del seguente avviso 'Corrente di dispersione elevata, è essenziale il collegamento a terra prima del collegamento alla rete') ; nell'ultimo caso, è bene installare, anziché un solo dispositivo differenziale generale, più dispositivi differenziali sui vari circuiti (almeno i principali) migliorando in tal modo anche la *selettività orizzontale* evitando in tal modo che un guasto a terra in un punto qualsiasi di un circuito possa mettere fuori servizio tutto l'impianto. Un punto debole nel sistema di protezione è però individuabile tra l'interruttore generale senza sganciatore differenziale e i relè differenziali (ad esempio quando sono installati all'interno dello stesso quadro metallico) dove, in caso di guasto a massa, la protezione non è assicurata. Per ovviare a questo problema è necessario evitare le masse a monte dei dispositivi differenziali oppure, ove non fosse possibile, bisogna proteggere i tratti di circuito compresi tra l'interruttore generale e gli interruttori differenziali con isolamento doppio o rinforzato.

10.4.5 Interruttori differenziali di tipo S (selettivo)

Due interruttori differenziali in serie, per evitare interventi intempestivi e creare disservizi nella conduzione dell'impianto, devono garantire la *selettività verticale*. Due dispositivi differenziali sono selettivi se le loro zone di intervento non si sovrappongono. Il tempo minimo di non intervento dell'interruttore a monte deve essere, per ogni valore di corrente, superiore al tempo massimo di interruzione dell'interruttore a valle.

10.4.6 Interruttori differenziali di tipo AC, A, B

In funzione delle diverse tipologie delle correnti di guasto che devono essere correttamente interrotte dai dispositivi differenziali, le norme definiscono tre tipi di dispositivi che identificano con le sigle AC, A, B. Il tipo AC è in grado di intervenire correttamente per tutte le correnti di guasto alternate sinusoidali, il tipo A interviene indifferentemente sia per correnti di guasto alternate sia pulsanti unidirezionali e, infine, il tipo B oltre ad avere le caratteristiche di sensibilità alle correnti come il tipo A è in grado di intervenire anche per le correnti differenziali di tipo continuo. Di seguito vengono presi in esame i vari tipi di dispositivi differenziali e vengono date indicazioni per una scelta corretta in funzione della tipologia di corrente di guasto verso terra su cui sono chiamati ad intervenire.

10.5 Sezionatore, interruttore di manovra e interruttore di manovra-sezionatore

10.5.1 Generalità

Per garantire la sicurezza durante lavori eseguiti sugli impianti elettrici occorre prendere alcuni provvedimenti di cui uno, fondamentale, è il sezionamento dei circuiti (in alcuni casi e seguendo particolari procedure è possibile lavorare su parti in tensione). Nonostante sempre più sovente la funzione di sezionamento sia svolta da apparecchi che hanno anche compiti di manovra e di protezione il sezionatore trova in molti casi la sua giusta collocazione. Devono essere protetti a monte da interruttori o fusibili con essi coordinati (protezione di backup) come viene indicato dalle tabelle dei costruttori. Di seguito verrà descritto, anche se brevemente, il sezionatore nelle sue parti e caratteristiche per poi passare ad esporre le particolarità costruttive e funzionali degli interruttori di manovra-sezionatori.

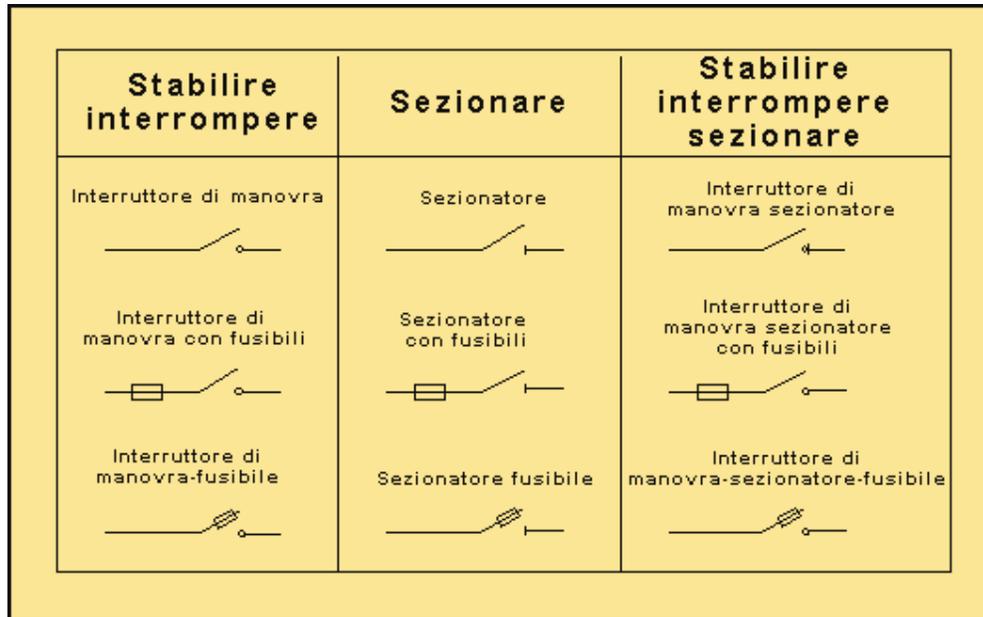


Fig. 10.9 - Definizioni e simbologia grafica dei sezionatori, interruttori di manovra - sezionatori e combinazioni con fusibili

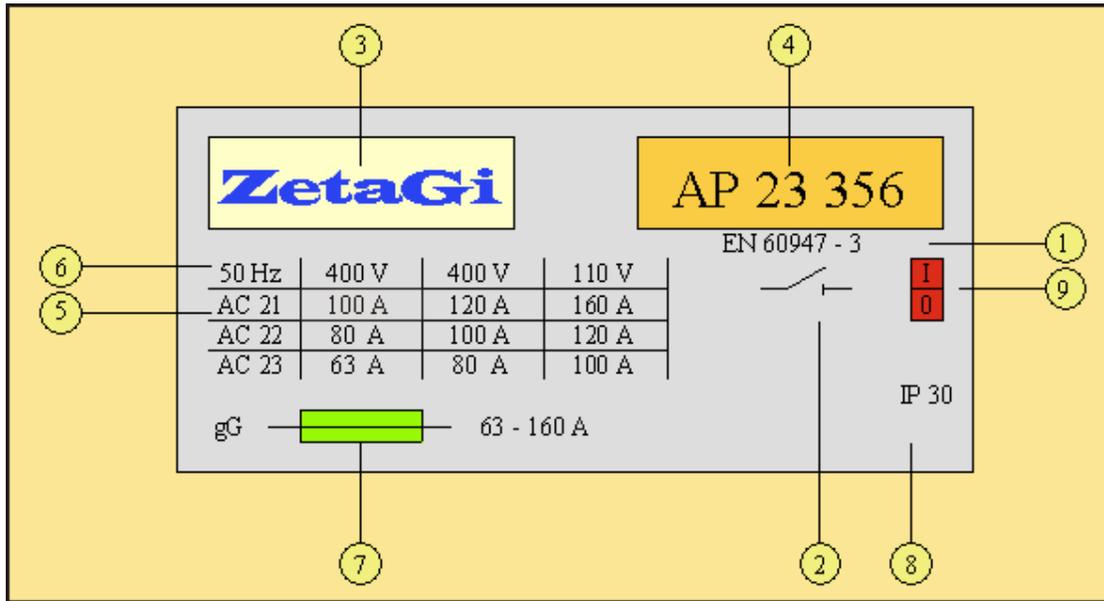
10.5.2 Grandezze nominali

Le grandezze nominali per i sezionatori di seguito elencate sono definite nella Norma CEI 17-11.

- *tensione nominale d'impiego, U_e (V);*
- *tensione nominale d'isolamento, U_i (V);*
- *corrente nominale d'impiego, I_u (A) è la corrente definita dal costruttore tenendo conto della tensione nominale, della frequenza nominale, del servizio nominale, della categoria di utilizzazione e del tipo di custodia di protezione;*
- *corrente nominale termica convenzionale, I_{th} (A) ;*
- *corrente nominale termica in involucro, I_{the} (A) ;*
- *frequenza nominale, f (Hz);*
- *servizio normale (8 ore oppure ininterrotto) ;*
- *potere nominale di chiusura o potere di stabilimento , potere nominale di interruzione - vengono espressi quali multipli della corrente nominale d'impiego in funzione della gravosità del servizio (categoria d'impiego) ;*
- *corrente nominale di breve durata ammissibile I_{cw} - è la corrente che un interruttore è in grado di portare, senza danneggiarsi, nella posizione di chiuso per una durata specificata nelle condizioni prescritte di utilizzazione e di comportamento ;*
- *potere nominale di chiusura su corto circuito, I_{cm} (kA) - si riferisce agli interruttori di manovra e agli interruttori di manovra sezionatori per un'operazione di chiusura su specificati valori di cresta di correnti di corto circuito. Non è definibile un potere d'interruzione durante un corto circuito perché non è richiesto per queste apparecchiature. Quando questo dato non è indicato dal costruttore si deve intendere almeno pari alla corrente di picco corrispondente I_{cw} ;*
- *corrente nominale di corto circuito condizionata da fusibile o interruttore automatico I_{cd} - è la corrente presunta che l'apparecchio associato con un fusibile può sopportare, senza danneggiarsi, per la durata dell'operazione di quest'ultimo, nelle condizioni di prova specificate ;*

□ *categorie di utilizzazione AC* - definiscono la gravosità delle condizioni d'utilizzazione e vengono rappresentate con due lettere indicative del tipo di circuito in cui l'apparecchio può essere installato e con un numero di due cifre indicativo del tipo di utilizzazione e delle modalità di manovra previste ;

□ *durata meccanica e durata elettrica* - la durata meccanica esprime il numero di cicli (un singolo ciclo è costituito dall'insieme di un'operazione di chiusura e di una di apertura e chiusura) a vuoto che l'apparecchio è in grado di effettuare senza revisioni o sostituzioni di parti meccaniche (è ammessa la manutenzione ordinaria). Anche la durata elettrica viene espressa in cicli ed esprime la resistenza dei contatti all'usura elettrica con operazioni sotto carico alle condizioni specificate dalle Norme.



- 1) *Norma di riferimento*
- 2) *Attitudine al sezionamento (se l'apparecchio non è idoneo al sezionamento invece del simbolo è riportata la scritta "non aprire sotto carico").*
- 3) *Marchio di fabbrica*
- 4) *Sigla che designa il tipo o la serie*
- 5) *Correnti nominali d'impiego riferite alle rispettive tensioni nominali e alle categorie di utilizzo*
- 6) *Frequenza nominale (per corrente continua è indicata la sigla c.c.)*
- 7) *Tipo di fusibile (solo per le unità combinate)*
- 8) *Grado di protezione*
- 9) *Indicazione della posizione di aperto e di chiuso*

Fig. 10.10 - Dati di targa di un sezionatore

La *tensione nominale d'impiego*, U_e (V) e la *corrente nominale d'impiego*, I_u (A), come sappiamo, non devono essere inferiori alla tensione e alla corrente del circuito. Per i sezionatori da manovrare a vuoto questa coppia di dati è da considerarsi come i massimi valori che non devono essere superati rispettivamente con la *tensione nominale d'isolamento*, U_i (V) e con la *corrente nominale termica convenzionale*, I_{th} (A). Per gli interruttori invece, dipendendo la corrente di impiego dalla categoria di utilizzazione e dalla tensione di impiego, si possono avere (vedere come esempio i dati di targa della figura 10.10) diverse coppie di valori.

10.5.3 Caratteristiche funzionali e costruttive del sezionatore

Il sezionatore è un apparecchio meccanico che assicura, nella posizione di aperto, una distanza di sezionamento (distanza tra i contatti) tale da garantire la sicurezza. E' un'apparecchiatura che può aprire e chiudere un circuito quando la corrente interrotta o stabilita è d'intensità trascurabile o quando la manovra non produce un cambiamento significativo della tensione ai terminali (praticamente a vuoto). Nella posizione di chiuso è in grado di portare la normale corrente del circuito e, per una durata specificata, anche una corrente anormale del circuito come ad esempio una corrente di corto circuito. Alla chiusura deve essere in grado di sopportare correnti di corto circuito per una durata convenzionale di 1s (I_{cw}). Ogni sezionatore deve essere munito di un dispositivo atto ad indicare la posizione assunta dai contatti mobili anche in condizioni anormali come ad esempio in caso di saldatura dei contatti. Una indicazione di questo tipo è superflua se la separazione dei contatti è chiaramente visibile dall'esterno. La Norma 64-8 richiede tra l'altro che la segnalazione sia attivata solo quando sia stata raggiunta la effettiva posizione di sezionamento dei contatti in apertura su ogni polo del dispositivo. Per quanto riguarda la distanza di sezionamento da adottare, le Norme, in relazione al grado di esposizione dell'impianto elettrico alle sollecitazioni di tipo impulsivo sugli isolanti (queste sollecitazioni dielettriche possono essere di origine esterna dovute a fulminazioni o interna dovute a manovre sui circuiti), suddivide l'impianto in zone. Per ogni zona e in funzione della tensione verso terra del sistema, vengono individuati particolari valori di tensione di riferimento per i quali deve essere garantita la tenuta dell'isolamento. Dal punto di vista costruttivo il sezionatore è un apparecchio molto semplice. Non è dotato di dispositivi per l'interruzione della corrente e nemmeno di meccanismi per lo scatto rapido o automatico. Il sezionatore è infatti un'apparecchiatura a manovra 'dipendente' in cui la posizione e la velocità di movimento dei contatti mobili dipendono dall'operatore. Il sezionamento può essere ottenuto con dispositivi unipolari affiancati anche se le Norme consigliano di utilizzare apparecchi multipolari per il sezionamento contemporaneo di tutti i poli del circuito.

10.5.4 Caratteristiche funzionali dell'interruttore di manovra e dell'interruttore di manovra – sezionatore

L'interruttore di manovra (interruttore non automatico) differisce dal sezionatore perché è in grado di stabilire e di interrompere la corrente di carico, tenendo anche conto di sovraccarichi momentanei. L'interruttore di manovra sezionatore, così come è definito dalle Norme CEI 17-11 art. 2.1.3, "...è un apparecchio meccanico di manovra in grado di stabilire, portare ed interrompere correnti in condizioni normali del circuito, comprese eventuali correnti specificate di sovraccarico in servizio ordinario, così come a portare, per una durata specificata, correnti in condizioni anormali del circuito, come ad esempio quelle di corto circuito". Sono apparecchi che, non essendo dotati di dispositivi di sgancio automatico, non possono essere utilizzati per la protezione automatica contro le sovracorrenti (il potere d'interruzione è generalmente insufficiente sui corto circuiti). Viene denominato interruttore di manovra/sezionatore quando (norme CEI 17-11 art. 2.1.5) "...nella posizione di aperto soddisfa alle prescrizioni della distanza di sezionamento specificate per un sezionatore". Essendo apparecchi destinati a chiudere un circuito è molto importante conoscere il valore del potere di chiusura (I_{cm}). Devono infatti essere in grado di sopportare, onde evitare che possano danneggiarsi e diventare causa di pericolo per le persone, le sollecitazioni dinamiche e termiche più gravose che possano derivare da tale manovra, compresa la chiusura su corto circuito. Come per il sezionatore devono inoltre essere in grado di sopportare una corrente di corto circuito per un tempo prefissato convenzionale di 1s (I_{cw}). Sono impiegati principalmente come interruttori generali di sottoquadri, come organi di manovra e sezionamento di linee, di sbarre o di gruppi di apparecchiature, come un congiuntore di sbarre che un complesso di manovra e protezione di un motore.

Natura della corrente	Categorie di utilizzazione		
	Categoria di utilizzazione		Applicazioni tipiche
	Manovra frequente	Manovra non frequente	
Corrente	AC-20A	AC-20B	Stabilimento e interruzione a vuoto
Alternata	AC-21A	AC-21B	Manovra di carichi resistivi con sovraccarichi di modesta entità
	AC-22A	AC-22B	Manovra di carichi misti resistivi e induttivi con sovraccarichi di
	AC-23A	AC-23B	modesta entità
			Manovra di motori o altri carichi altamente induttivi

Corrente continua	DC-20A	DC-20B	Stabilimento e interruzione a vuoto
	DC-21A	DC-21B	Manovra di carichi resistivi con sovraccarichi di modesta entità
	DC-22A	DC-22B	Manovra di carichi misti resistivi e induttivi con sovraccarichi di
	DC-23A	DC-23B	modesta entità (per es. motori in derivazione) Manovra di motori o altri carichi altamente induttivi

Tab. 10.3 - Categorie di utilizzazione degli interruttori di manovra

10.5.5 Caratteristiche costruttive

Costruttivamente una prima classificazione può essere fatta in base ai contatti mobili che possono essere del tipo autostringente o non autostringente. La differenza fondamentale consiste nel fatto che in quelli di tipo autostringente, sfruttando le forze generate dalle stesse correnti, si può aumentare la compressione sui contatti. Si ha così il vantaggio, a parità di altre condizioni rispetto al tipo non autostringente, di poter lavorare con correnti di breve durata di valore più elevato. Nel tipo non autostringente, infatti, quando si è in presenza di sollecitazioni dinamiche generate da correnti elevate che tendono ad aprire i contatti, esiste la difficoltà di mantenere la corretta posizione di chiusura con la sola forza delle molle. La manovra dell'apparecchio è del tipo ad accumulo d'energia denominata a "scatto rapido" e l'energia utilizzata per l'apertura è originata dal lavoro manuale dell'operatore che comprime, tramite opportuni cinematismi, una molla. In fase di manovra l'energia accumulata viene liberata repentinamente in modo che la velocità e la forza siano indipendenti dalla forza esercitata dall'operatore (manovra indipendente). Gli apparecchi per correnti d'impiego superiori a 200, 400A, sono dotati di celle di deionizzazione (celle "dejon") per l'estinzione dell'arco simili a quelle utilizzate per gli interruttori automatici. Per correnti fino a 200, 400A e con correnti di breve durata non elevate (5,10kA) l'apparecchio più diffuso è quello cosiddetto "a pacco" con manovra rotativa mentre, per correnti superiori piuttosto diffuso è quello comunemente denominato "aperto".

10.5.6 Unità combinata sezionatore con fusibili e fusibile – sezionatore

Il *sezionatore con fusibili* è un apparecchio costituito da un sezionatore e, per ciascun polo, da un fusibile in serie a formare un assieme unico. Diverso è il *fusibile - sezionatore* nel quale una cartuccia o un portafusibile con la propria cartuccia forma il contatto mobile dell'apparecchio. Questi apparecchi vengono utilizzati per garantire la sicurezza in fase di sostituzione delle cartucce fusibili quando ad esse viene assegnato il compito di protezione delle condutture dai corto circuiti (più raramente anche dai sovraccarichi). Non possono essere impiegati per manovre di apertura e chiusura di un circuito sotto carico.

10.5.7 Interruttore di manovra con fusibili

Le Norme CEI 17-11 art. 2.1.8 definiscono l'interruttore di manovra con fusibili come "un apparecchio costituito da un interruttore di manovra nel quale uno o più poli hanno in serie un fusibile, in un assieme unico". Può essere impiegato per le manovre sui circuiti anche a carico e per la protezione contro il sovraccarico e il corto circuito delle condutture. Un utilizzo tipico è quello previsto per il comando di utilizzatori caratterizzati, alla chiusura del circuito, dall'assorbimento di una corrente superiore a quella nominale come ad esempio l'inserzione e la disinserzione dei motori asincroni con rotore in corto circuito.

10.5.8 La tenuta alle sovracorrenti

Le unità combinate con fusibili, provvedendo i fusibili stessi alla protezione degli apparecchi, non presentano problemi di tenuta alle sovracorrenti e, in questo caso, il potere di interruzione dei fusibili ne esprime la tenuta al corto circuito. I fusibili dovranno essere scelti tra quelli indicati dal costruttore e comunque con una corrente nominale non superiore alla corrente nominale termica dell'apparecchio. Gli interruttori e i sezionatori devono essere protetti dai sovraccarichi e dai corto circuiti per mezzo dei dispositivi di protezione contro le sovracorrenti installati nell'impianto secondo i seguenti criteri a seconda che ci si riferisca al sovraccarico o al corto circuito :

- Protezione contro il sovraccarico - scegliere apparecchi con corrente nominale termica I_{th} non inferiore alla corrente nominale dei dispositivi di protezione da sovraccarico posti a monte o non inferiore alla somma delle correnti nominali di quelli posti a valle (in genere è sufficiente che, se le condutture sono adeguatamente protette contro i sovraccarichi, gli interruttori abbiano una corrente nominale non inferiore alla portata I_z dei cavi ai quali sono collegati).
- Tenuta al corto circuito - se nel punto di installazione dell'interruttore nel quadro la corrente presunta di corto circuito è superiore ai 10 kA oppure se la corrente di picco limitato supera i 15 kA (Norma CEI EN 60439- 1), la tenuta al corto circuito deve essere obbligatoriamente determinata.

10.5.9 Verifica della tenuta al corto circuito

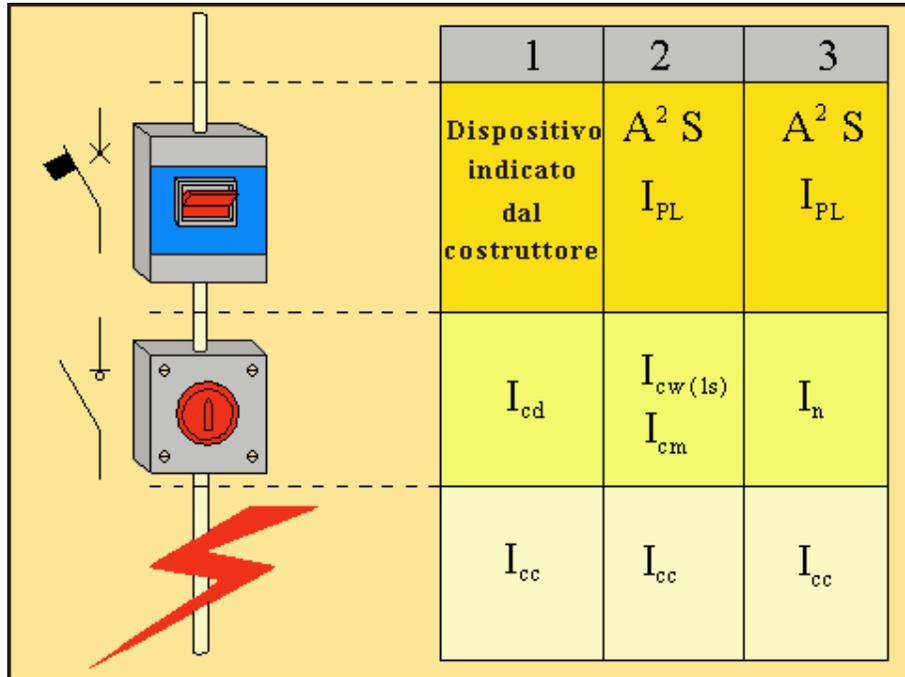


Fig. 10.11 - Condizioni di protezione dal corto circuito di un sezionatore

1. Se il costruttore indica la corrente nominale di corto circuito condizionata da fusibile o interruttore automatico I_{cd} è sufficiente installare a monte, o immediatamente a valle, il dispositivo di protezione contro il corto circuito indicato purché la corrente di corto circuito I_{cc} nel punto di installazione non superi il valore della corrente condizionale I_{cd} ;

$$I_{cd} > I_{cc}$$

2. Se è nota la corrente nominale di breve durata I_{cw} (se questo dato non è noto e l'interruttore sezionatore è conforme alle Norme CEI 17-11 si deve intendere non inferiore a 12 volte la corrente nominale) e il relativo tempo t (1s) è sufficiente che $I_{cw}^2(t)$ non sia inferiore alla sollecitazione termica di corto circuito $I^2 t$ lasciata passare dal dispositivo di protezione dal corto circuito installato a monte e che il potere nominale di chiusura su corto circuito I_{cm} non sia inferiore alla corrente di picco limitata I_{PL} dal dispositivo stesso :

$$I_{cw}^2(1s) > \sqrt{A^2 S} \quad (\text{protezione contro le sollecitazioni termiche da corto circuito})$$

$$I_{cm} > I_{PL} \quad (\text{protezione contro la corrente di picco di corto circuito})$$

3. Se il costruttore non fornisce dati di tenuta al corto circuito è necessario che $144 I_n^2$ non sia inferiore a $I^2 t$ lasciato passare nel circuito dai dispositivi di protezione. In questo caso risulta non molto agevole la verifica del potere di chiusura nominale su corto circuito I_{cm} che si potrebbe supporre almeno uguale a $12nI_n$ (CEI EN 60947-1) dove n è il rapporto tra il valore efficace e il valore di picco indicato in tabella 10.4.

$$I_n > \sqrt{\frac{I_{cc}^2 s}{12}}$$

(protezione contro le sollecitazioni termiche da corto circuito)

$$\frac{I_{PL}}{12 \times n}$$

(protezione contro la corrente di picco di corto circuito)

n - rapporto tra il valore efficace e valore di picco indicato in tabella 10.4

Rapporto convenzionale fra valore di picco I_P e valore efficace I_{cc} della corrente di corto circuito								
(CEI EN 60947 - 1)								
I_{cc} (kA)	$\leq 1,5$	$>1,5 \leq 3$	$>3 \leq 4,5$	$>4,5 \leq 6$	$>6 < 10$	$>10 < 20$	$>20 \leq 50$	>50
$n = \frac{I_P}{I_{cc}}$	1,41	1,42	1,47	1,53	1,7	2	2,1	2,2

Tab. 10.4

10.6 Interruttore automatico

10.6.1 Generalità

L'interruttore automatico è un apparecchio meccanico di manovra capace di stabilire, portare ed interrompere correnti in condizioni normali del circuito ed inoltre di stabilire, portare per una durata specifica ed interrompere, correnti in condizioni anormali specificate del circuito, ad esempio quelle di corto circuito. L'interruttore è tra l'altro caratterizzato dall'avere due posizioni che mantiene in condizione di riposo (dopo la manovra che le ha determinate) senza che sia necessario un ulteriore apporto di energia. E' un apparecchio in grado di connettere e disconnettere un circuito dall'alimentazione mediante un'operazione, manuale o automatica, in genere di tipo indipendente perché permette di raggiungere le posizioni di aperto e chiuso senza arresto in posizioni intermedie con velocità di apertura/chiusura svincolata dalla velocità di manovra dell'operatore. La parola 'automatico' sta ad indicare un apparecchio che interviene automaticamente quando è attraversato da una corrente superiore alla sua corrente nominale. Le modalità dell'intervento dipendono essenzialmente dall'entità della sovracorrente e dalla caratteristica di intervento dell'interruttore. Ogni interruttore è fornito di due sganciatori di sovracorrente di cui uno (relè termico), a tempo inverso, provoca l'apertura con un ritardo inversamente proporzionale al valore della sovracorrente, mentre l'altro (relè elettromagnetico), ad intervento istantaneo provoca l'intervento a partire da un determinato valore di sovracorrente (relativamente elevato) con un tempo pressoché costante.

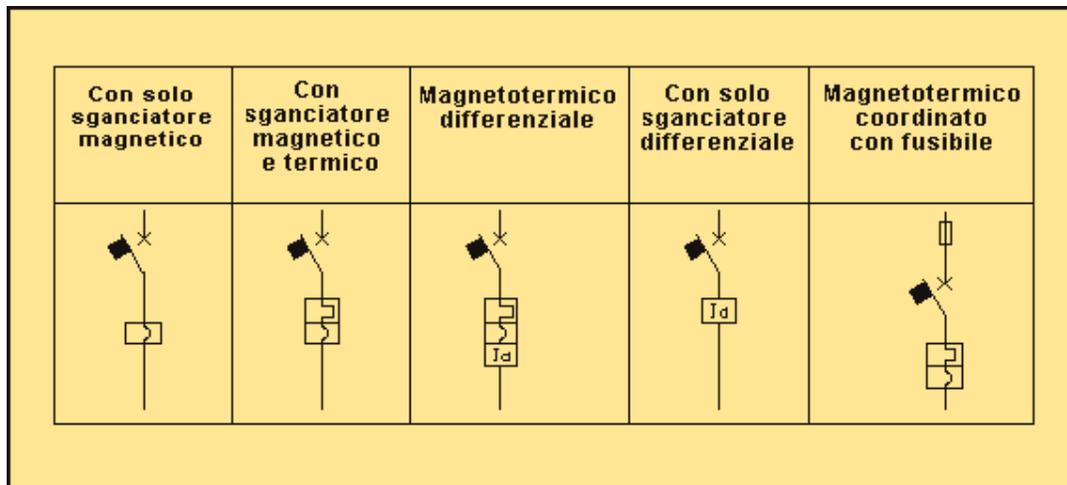


Fig. 10.12 - Segni grafici di interruttori automatici magnetotermici e differenziali

10.6.2 Classificazione

In base ai tempi di interruzione della corrente di corto circuito si identificano i seguenti tipi di interruttori :

Limitatore - l'interruzione viene fortemente anticipata rispetto allo zero naturale della corrente ;

Rapidi - l'interruzione avviene al primo o al secondo passaggio della corrente per lo zero naturale ;

Selettivi - l'interruzione viene volutamente ritardata ed avviene dopo alcuni periodi per permettere la selettività tra interruttori posti in serie ;

Interruttori aperti o in aria - sono interruttori caratterizzati da notevoli dimensioni e vengono impiegati per usi prevalentemente di tipo industriale. Possiedono correnti nominali, correnti di breve durata e poteri di corto circuito piuttosto elevati. Vengono impiegati come interruttori di macchina a valle dei trasformatori di MT/BT di generatori e per partenze con elevate correnti di impiego (1000-2000 A);

Interruttore scatolato - sono interruttori in cui la scatola che li contiene, normalmente di materiale plastico, funge da supporto per le parti meccaniche e da isolante tra le fasi e verso massa e da protezione contro i contatti indiretti ;

Interruttore modulare - sono interruttori impiegati prevalentemente nel civile e nel terziario e sono caratterizzati da dimensioni modulari unificate. Queste caratteristiche permettono una facile installazione a scatto su supporti di tipo normalizzato.

10.6.3 Sganciatori

Lo sganciatore è un dispositivo che ha il compito, sotto l'influenza di una particolare grandezza, di comandare il rilascio degli organi di ritegno dell'interruttore e di permetterne l'apertura o la chiusura. In relazione alle grandezze di alimentazione dei sensori che determinano l'intervento si possono individuare due gruppi fondamentali di sganciatori :

- sganciatori di corrente* in cui lo sgancio avviene al superamento di un predeterminato valore di corrente ;
- sganciatori di tensione* in cui lo sgancio avviene al passaggio attraverso determinati valori di tensione che possono essere superiori o inferiori ad un determinato livello di soglia prestabilito.

Una ulteriore classificazione può essere ottenuta in base ai tempi d'intervento degli sganciatori :

- sganciatori istantanei* in cui l'intervento avviene all'apparire della causa senza nessun ritardo intenzionale ;

- *sganciatori a tempo indipendente* in cui è presente una regolazione sul ritardo indipendente dalla grandezza che ha provocato l'intervento ;
- *sganciatori a tempo inverso* in cui lo sgancio dipende dall'inverso della grandezza che ha pilotato lo sgancio.

Un'ultima classificazione può essere fatta in base al tipo di alimentazione degli sganciatori :

- *sganciatori primari* in cui l'alimentazione è derivata direttamente dalla corrente del circuito principale dell'interruttore ;
- *sganciatori secondari* in cui l'alimentazione è ottenuta dalla corrente del circuito primario attraverso un derivatore o trasformatori di corrente.

Gli sganciatori più diffusi sono i tradizionali di tipo elettromeccanico (magnetici e termici) anche se si vanno sempre di più diffondendo gli sganciatori elettronici a microprocessore.

Sganciatori magnetici

Il dispositivo magnetico è uno sganciatore di tipo istantaneo il cui circuito è concatenato con la corrente del circuito di potenza che determina, al di sopra di un determinato valore di corrente (a meno delle tolleranze previste dalle Norme), l'attrazione di un nucleo ferromagnetico che libera gli organi di ritegno dell'interruttore causandone l'apertura. Negli interruttori di tipo industriale (correnti superiori a 200-250 A) è possibile introdurre dei ritardi sull'apertura agendo direttamente sui cinematismi o intervenendo con dei dispositivi a tempo.

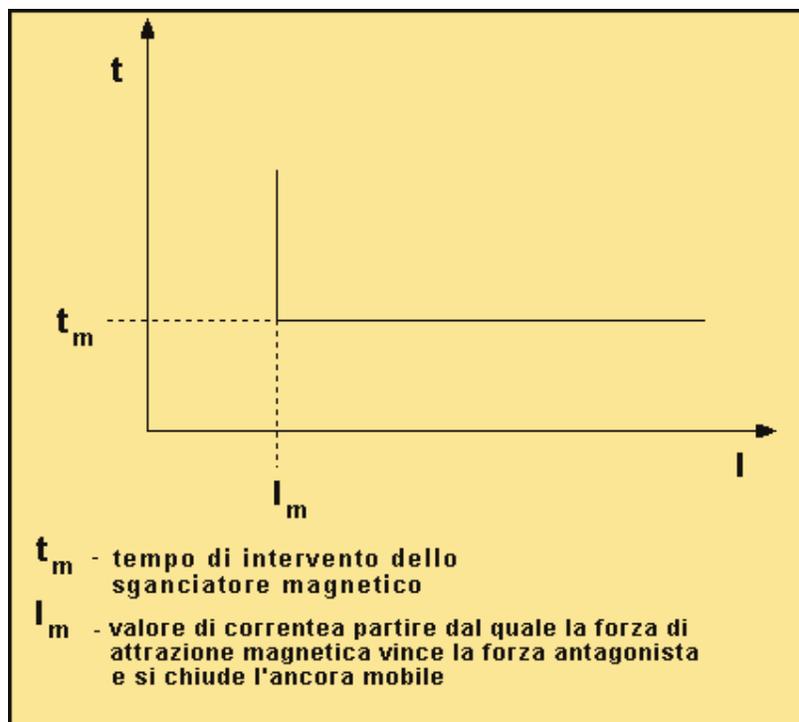


Fig. 10.13 - Curva di intervento caratteristica di sganciatore magnetico istantaneo di massima corrente

Sganciatori termici

È un dispositivo cosiddetto a tempo inverso che sfrutta la deformazione di un elemento bimetallico. Il bimetallo è infatti sensibile al passaggio della corrente che lo riscalda provocandone la dilatazione. Essendo questo un dispositivo sensibile alla temperatura è necessario adottare provvedimenti per compensare l'eventuale variazione della temperatura ambiente. Negli interruttori di tipo industriale è in genere consentita la regolazione della corrente di intervento per la

protezione dai sovraccarichi (comunemente chiamata di corto ritardo). Questo consente di adeguare il livello di protezione ai bisogni del circuito e di ottimizzare la sezione dei cavi.

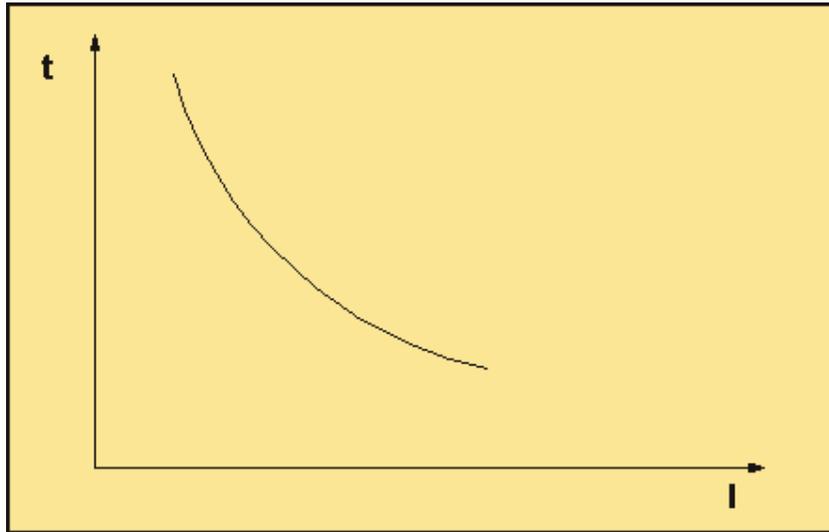


Fig. 10.14 - Curva di intervento caratteristica di sganciatore di massima corrente a tempo inverso

Sganciatore elettronico di massima corrente

E' un tipo di sganciatore che si avvale dell'ausilio di trasformatori di corrente in genere inseriti sui poli dell'interruttore che forniscono sia il segnale, elaborato da un microprocessore, per pilotare lo sganciatore che la potenza necessaria per l'operazione di sgancio. Offrono diverse possibilità di regolazione dei valori di corrente, dai più semplici, che permettono di regolare la corrente di intervento della protezione termica (lungo ritardo) e di quella contro i corto circuiti (corto ritardo), ai più complessi che offrono la possibilità di regolare sia le correnti sia i tempi di intervento.

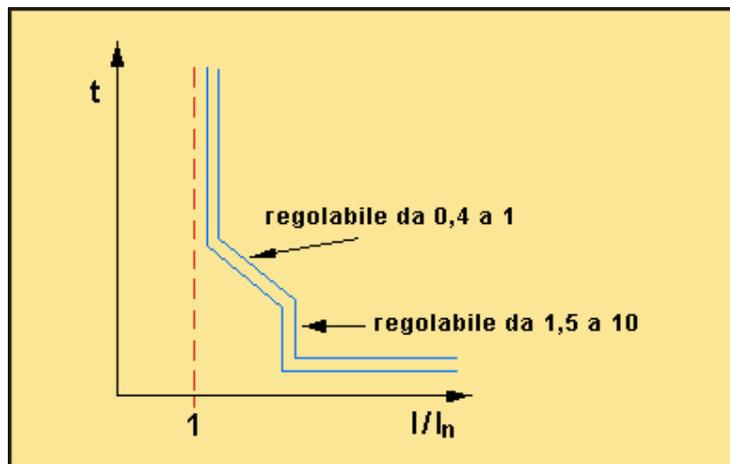


Fig. 10.15 - Caratteristica di intervento dei relè elettronici

10.6.4 La scelta degli sganciatori

La scelta viene normalmente effettuata sulla base di considerazioni tecnico-economiche, legate alle caratteristiche dell'impianto da proteggere e della necessità di ottenere una eventuale selettività tra le protezioni. Dal punto di vista tecnico deve essere garantita la protezione contro i sovraccarichi, contro i corto circuiti e la protezione delle persone secondo le regole fissate dalle Norme. Dal punto di vista economico gli sganciatori più semplici, quelli a bimetallo, sono i

meno costosi ma offrono, rispetto a quelli elettronici, più costosi, una precisione di intervento minore. Quelli di tipo elettronico, tra l'altro, garantiscono la costanza della corrente di intervento della protezione termica al variare della temperatura nel punto di installazione mentre, gli sganciatori magnetotermici, intervengono a valori diversi di corrente in funzione della temperatura raggiunta all'interno del quadro in cui sono installati.

10.6.5 Tecniche di interruzione

In bassa tensione l'interruzione di forti correnti è quasi sempre ottenuta in aria con l'impiego di celle di estinzione del tipo dejon. I meccanismi di estinzione dell'arco e di interruzione della corrente avviene nel modo di seguito indicato :

- allungamento dell'arco all'interno delle singole celle di estinzione ;
- raffreddamento dell'arco per dissipazione di calore nell'aria circostante e sugli elementi ceramici e metallici delle celle ;
- frazionamento dell'arco e conseguente riduzione della tensione d'arco al di sotto del valore di stabilità ;
- aumento della velocità di spostamento dell'arco. Questo effetto può essere ottenuto tramite la configurazione a corno del contatto mobile, mediante l'utilizzo di materiali ferromagnetici per aumentare il campo magnetico, mediante l'impiego di materiali che in presenza di temperature elevate emettono gas che sono in grado di spingere l'arco nelle celle di estinzione dejon.

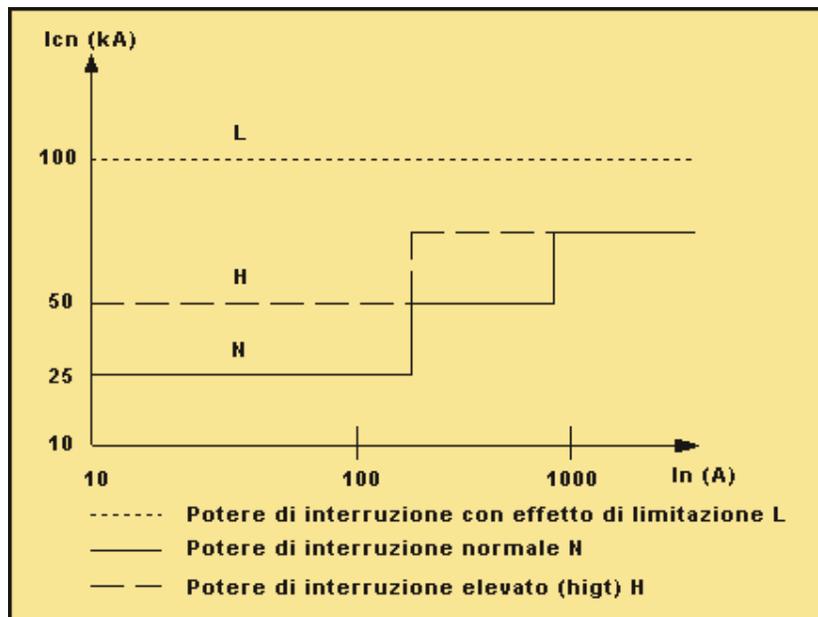


Fig. 10.16 - Poteri di interruzione I_{cn} in funzione della corrente nominale I_n

Gli interruttori, in relazione alla tecnica di interruzione, si possono suddividere in due tipologie :

- *interruttore automatico 'limitatore'* che sfrutta l'effetto di repulsione tra correnti di verso contrario provocando un movimento di allontanamento anche del contatto fisso. L'effetto di limitazione, che è sfruttato da tempo nei fusibili, viene ottenuto con tempi di apertura (tempo che intercorre all'apparire della causa che provoca l'intervento e l'istante in cui i contatti d'arco si sono separati in tutti i poli) dell'ordine del millisecondo e con contatti e camere d'arco che introducono nel circuito elevate tensioni d'arco in tempi molto brevi. In questo modo il valore di cresta risulta notevolmente inferiore rispetto a quello della corrente presunta. Quasi tutti gli interruttori della nuova generazione sono di tipo più o meno limitatore per ridurre gli ingombri ed aumentare il potere d'interruzione (da notare che gli interruttori modulari con piccole correnti nominali da 0,5 a 5 A hanno la resistenza del polo di valore elevato che limita la corrente di corto circuito presunta senza l'impiego di altri artifici);

· *interruttori di tipo rapido* che sono caratterizzati da una durata di apertura dell'ordine di alcuni millisecondi per correnti nominali fino a 200 A e la decina di millesecodi per correnti nominali dell'ordine dei mille A.

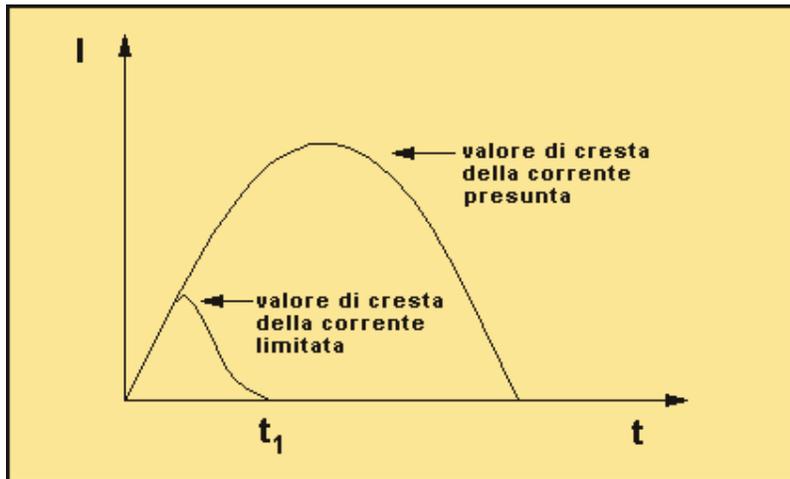


Fig. 10.17 - Confronto tra la corrente di cresta interrotta da un interruttore limitatore e il valore di cresta della corrente presunta

10.6.6 Principali grandezze e caratteristiche elettriche

Le grandezze nominali degli interruttori automatici sono descritte nelle Norme CEI 23-3 (Norme per interruttori per uso domestico), CEI 23-18 (Norme per interruttori differenziali per usi domestici e similari e per interruttori differenziali con sganciatori di sovracorrente incorporati per usi domestici e similari) ed EN-60947-2 (Norme per interruttori ad uso industriale). Di seguito verranno descritte le principali grandezze nominali relative agli interruttori per uso domestico e similare e di tipo industriale.

4	ZetaGi ® RM 54 - g	A	5
	$U_i = 690 \text{ V}$ $U_{imp} = 7 \text{ kV}$ $T_a = 40 \text{ °C}$		7
6	EN=60947 - 2	$U_e \text{ (V)}$	$I_{cu} \text{ (kA)}$
8		230	100
1	$I_n = 630 \text{ A}$	400	70
13	$I_{cw} = 15 \text{ kA/1s}$	440	65
2		500	45
		600	35
3	 OFF  ON	690	230
		$I_{cs} = 75\%$	I_{cu}
9	50 - 60 Hz U_e 250 V I_{cu} 50 kA		
			10

- 1) Corrente nominale
- 2) Attitudine al sezionamento
- 3) Indicazione della posizione di aperto-chiuso
- 4) Nome del costruttore o marchio di fabbrica
- 5) Indicazione del tipo e del numero di serie
- 6) Conformità alla Norma CEI EN 60947-2
- 7) Categoria di utilizzazione/: A per interruttori senza ritardo di intervento intenzionale, B per interruttori selettivi (con ritardo di intervento intenzionale solitamente regolabile)
- 8) Tensioni di impiego nominali U_e
- 9) Valori della frequenza nominale e limiti dell'eventuale funzionamento in corrente continua
- 10) Poteri di interruzione nominali di servizio I_{cs}
- 11) Poteri di interruzione nominali estremi I_{cu}
- 12) U_i tensione nominale di isolamento – U_{imp} tensione nominale di tenuta ad impulso - T_a temperatura di riferimento
- 13) I_{cw} Corrente nominale di breve durata ammissibile

Fig. 10.18 - Dati di targa di un interruttore conforme alle Norme EN-60947-2

10.6.7 Interruttori per uso domestico

□ *Tensione nominale d'impiego (U_e)* - valore di tensione assegnato dal costruttore al quale si riferiscono le prestazioni dell'apparecchio.

Ad uno stesso interruttore possono essere assegnati diversi valori di tensione nominale d'impiego, alle quali corrispondono servizi e prestazioni diverse specificati dal costruttore. I valori normalizzati dalle Norme CEI 23-3 sono:

- 230 V per interruttori unipolari e bipolari;

- 230/400 V per interruttori unipolari;

- 400 V per interruttori bipolari, tripolari e tetrapolari.

□ *Tensione nominale di isolamento (U_i)* – E' il valore di tensione per il quale sono stati dimensionati gli isolamenti elettrici dell'interruttore. Se per un apparecchio non è stata indicata la sua tensione di isolamento, si considera come tale la sua più alta tensione nominale d'impiego.

□ *Corrente nominale d'impiego (I_n)* - Corrente che il dispositivo è in grado di sopportare ininterrottamente ad una temperatura ambiente prefissata (30°).

La norma CEI 23-3 fissa i valori preferenziali della corrente nominale: 6-10-20-25-32-50-63-80-100-125.

□ *Calibro* - valore arrotondato della corrente convenzionale di non intervento (questo dato è stato eliminato dalla IV edizione della Norma CEI 23-3).

□ *Corrente convenzionale di non intervento (I_{nt})* - valore di corrente che non provoca l'apertura del dispositivo per un tempo prefissato.

□ *Corrente convenzionale di intervento (I_t)* - valore di corrente che provoca l'apertura del dispositivo entro un tempo prefissato.

I_n Corrente nominale (A)	I_{nt} Corrente convenzionale di non intervento		I_t Corrente convenzionale di intervento	
$I_n < 63A$	$1,3I_n$	$t \geq 1h$	$1,45I_n$	$t < 1h$
$I_n < 63A$	$1,3I_n$	$t \geq 2h$	$1,45I_n$	$t < 2h$

Tab. 10.5 - Caratteristiche di intervento degli sganciatori a tempo inverso degli interruttori ad uso domestico e similare (CEI 23-3)

□ *Corrente di intervento istantaneo* (intervento magnetico) - minimo valore di corrente che provoca l'apertura automatica dell'interruttore senza ritardo intenzionale.

□ *Corrente di scambio (I_s)* - valore di corrente limite, corrispondente all'intersezione tra le caratteristiche d'intervento di due dispositivi posti in serie, al di sopra del quale il dispositivo di protezione, generalmente posto a monte, fornisce la protezione di sostegno (back-up) del dispositivo posto a valle.

□ *Potere di corto circuito* - corrisponde al valore efficace della corrente presunta che l'interruttore è in grado di stabilire, portare e interrompere a condizioni specificate. La Norma descrive due diversi livelli di potere di corto circuito :

□ *Potere di corto circuito estremo (I_{cu})*, per gli interruttori ad uso domestico corrisponde al *potere di corto circuito nominale (I_{cn})* che prevede una serie di aperture automatiche del tipo **O-t-CO** (O corrisponde ad un'apertura automatica dell'interruttore, predisposto chiuso, su corto circuito, t un intervallo di attesa specificato tra due successive operazioni in condizioni di cortocircuito e CO una operazione di chiusura su corto circuito seguita da un'apertura automatica).

L'interruttore dopo una tale sequenza di operazioni deve essere in grado di sopportare la tensione del circuito, senza il rischio di cedimenti dell'isolante, essere manovrabile in chiusura ed apertura, anche se potrebbe non essere in grado di portare con continuità la sua corrente nominale ed infine deve essere in grado di garantire la protezione da sovraccarico.

- *Potere di corto circuito di servizio (I_{cs})* che prevede una serie di aperture automatiche del tipo **O-t-O-t-CO** per l'interruttore unipolare e bipolare e una del tipo **O-t-CO-t-CO** per gli interruttori tripolari e tetrapolari. Dopo tale sequenza l'interruttore deve essere in grado di assicurare i requisiti indicati per il potere di corto circuito estremo e nello stesso tempo anche di continuare a portare con continuità la sua corrente nominale. I_{cn} e I_{cs} sono legati tra di loro da un rapporto prefissato K che le Norme per gli interruttori di uso domestico, a seconda del valore di I_{cn} , indicano in:

I_{cn}	$\leq 6kA$	$6 + 10kA$	$> 10kA$
I_{cs}/I_{cn} (K)	1	0,75	0,5

Tab. 10.6

Quando è importante la continuità di servizio si può scegliere un coefficiente K alto, mentre se la continuità del servizio è meno importante e la probabilità di corto circuito in prossimità dei morsetti dell'interruttore è trascurabile si può scegliere un K di valore inferiore.

- *Caratteristiche di intervento* - descrivono il comportamento dell'apparecchio rispetto al tempo necessario per l'intervento all'apparire di una sovracorrente. Le caratteristiche, i cui valori minimi sono fissati dalle Norme, verranno trattate più diffusamente in un paragrafo successivo.
- *Classe di limitazione* – la norma classifica gli apparecchi ad uso civile o simile in tre classi di limitazione: classe 1, classe 2 e classe 3. La classe 3 di limitazione corrisponde al massimo livello di prestazione.

10.6.8 Interruttori per uso industriale

- *Tensione nominale d'impiego o di servizio (U_e)* - è il valore di tensione al quale sono riferite le prestazioni dell'interruttore.
- *Tensione nominale di isolamento (U_i)* – è il valore di tensione per il quale sono stati dimensionati gli isolamenti elettrici dell'interruttore. Se per un apparecchio non è stata indicata la sua tensione di isolamento, si considera come tale la sua più alta tensione nominale d'impiego.
- *Corrente nominale ininterrotta (I_u)* - rappresenta il valore di corrente che l'interruttore può portare, in servizio ininterrotto, senza che le sue parti assumano sovratemperature tali da compromettere l'efficienza dell'apparecchio. Corrisponde in pratica alla **portata dell'interruttore**.
- *Corrente nominale (termica) (I_n)* - è il massimo valore di corrente che l'interruttore può portare in servizio ininterrotto. Corrisponde alla corrente termica (I_{th}) convenzionale in aria libera, che rappresenta il valore massimo di corrente che l'interruttore è destinato a portare, conformemente alle prescrizioni imposte dalle Norme di prodotto sui limiti di sovratemperatura. La I_n deve essere uguale o minore alla I_u . La corrente nominale ininterrotta dell'interruttore e la corrente nominale termica del relativo sganciatore devono essere adatte alle massime correnti d'esercizio che possono transitare in quel punto dell'impianto. In particolare la corrente I_n regolata sullo sganciatore deve essere maggiore della corrente d'impiego I_B e minore della corrente ammissibile dal cavo I_Z con una corrente convenzionale d'intervento I_f maggiore o uguale a $1,45I_Z$.
- *Potere di interruzione estremo in cortocircuito (I_{cu})* – è il valore della massima corrente di cortocircuito che l'interruttore è in grado di interrompere per due volte (secondo il ciclo O-t-CO), alla corrispondente tensione di impiego. Dopo il ciclo di apertura e chiusura non è più richiesta l'attitudine dell'interruttore a condurre la sua corrente nominale. Ad uno stesso apparecchio il costruttore può assegnare diversi valori di I_{cu} corrispondenti ad altrettanti valori di tensione nominale di impiego. Dopo il ciclo di interruzione l'interruttore deve essere in grado di portare la sua corrente nominale. Il potere di interruzione estremo in cortocircuito è espresso in kA (per la corrente alternata è il valore efficace della componente simmetrica) come il valore della corrente di cortocircuito presunta interrotta. Esso viene normalmente indicato dal costruttore utilizzando valori percentuali del potere di interruzione nominale estremo di cortocircuito I_{cu} .
- *Potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito (I_{cs})* - è il valore di corrente che l'interruttore è in grado di interrompere per tre volte secondo un ciclo di operazioni di apertura, pausa e chiusura O - 3min - CO - 3min - CO ad una data tensione di servizio (U_e) e ad un determinato fattore di potenza. Il rapporto tra I_{cs} e I_{cu} (K) deve essere scelto tra i

seguenti valori normalizzati : 0,25- 0,5-0,75-1 (per interruttori classificati in cat. A) 0,5-0,75 (per interruttori classificati in cat. B).

□ *Potere di chiusura nominale in cortocircuito (I_{cm})* – è il valore della massima corrente di cortocircuito che l'interruttore è in grado di stabilire alla tensione nominale di impiego e a condizioni specificate e non può essere inferiore al suo potere di interruzione nominale estremo in cortocircuito I_{cu} , moltiplicato per il fattore 'n' riportato nella seguente tabella. Il suo valore è espresso come il massimo valore di picco della corrente presunta.

P_{di} in cortocircuito (kA) (valore efficace)	Fattore di potenza (cosfi)	Valore minimo del fattore: $n = \frac{\text{potere di chiusura}}{P_{di} \text{ in cortocircuito}}$
$4,5 < I_{cu} < 6$	0,7	1,5
$6 < I_{cu} < 10$	0,5	1,7
$10 < I_{cu} < 20$	0,3	2,0
$20 < I_{cu} < 50$	0,25	2,1
$50 < I_{cu}$	0,2	2,2

Tab. 10.7 – Rapporto n tra potere di chiusura e potere di interruzione in cortocircuito e fattore di potenza relativo (interruttori per c.a.)

□ *Corrente nominale di breve durata (I_{cw})* - è la corrente che l'interruttore può portare nella posizione di chiuso per un tempo breve in condizioni di impiego e comportamento specificate. L'interruttore deve poter portare tale corrente per tutta la durata del tempo di ritardo previsto per garantire la selettività tra gli interruttori posti in serie. E' il valore efficace, in corrente alternata, della corrente di cortocircuito presunta, considerata costante per tutta la durata del tempo di ritardo previsto. E' questo un parametro che da in un certo senso la misura della robustezza e della capacità di smaltimento del calore costituendo quindi un indice oggettivo della qualità di un'apparecchiatura. Più I_{cw} si avvicina a I_{cu} e più elevate sono la qualità e la prestazione dell'interruttore.

□ *Categoria degli apparecchi* - definiscono l'idoneità o meno alla selettività cronometrica in corto circuito. Si dividono in due categorie : *categoria A* - non previsti per la selettività cronometrica in corto circuito (eventualmente è possibile ottenere la selettività amperometrica) rispetto ad altri apparecchi posti in serie (pertanto per questi interruttori non è indicata la corrente nominale di breve durata), *categoria B* - previsti per la selettività cronometrica in corto circuito rispetto ad altri dispositivi con ritardo intenzionale (i valori preferenziali di tempo di ritardo sono: 0,05-0,1-0,25-0,5-1 s) posti in serie. Per questi apparecchi deve essere dichiarata la corrente nominale di breve durata I_{cw} perché l'apparecchio deve essere in grado di sopportare la corrente di corto circuito per un tempo fino ad un secondo senza aprirsi o danneggiarsi. Per essere classificato di tipo 'B' l'interruttore, a seconda della corrente nominale, deve avere il valore della corrente di breve durata pari a:

$I_n \leq 2500A$	I_{cw} è il maggiore valore tra $12 I_n$ e $5kA$
$I_n \geq 2500A$	$I_{cw} = 30kA$

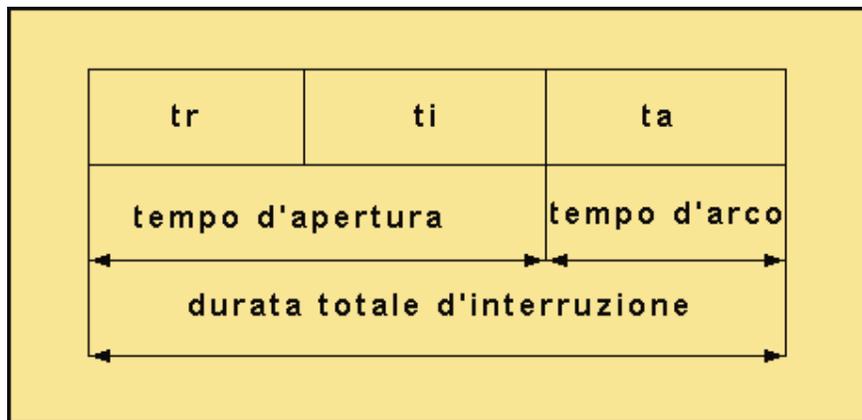
Tab. 10.8

□ *Corrente regolata dello sganciatore di massima corrente (I_r)*- valore della corrente in base alla quale sono definite le caratteristiche di intervento dello sganciatore. Viene indicata con il campo di regolazione. Il costruttore deve indicare l'influenza della temperatura ambiente sul valore della corrente di intervento.

□ *Tensione nominale di tenuta ad impulso (U_{imp})* - è il valore di picco di una tensione ad impulso che l'apparecchio può sopportare in condizioni specificate di prova: ad interruttore aperto non si devono verificare scariche tra i contatti di una stessa fase né tra fase e massa. Corrisponde al valore di sovratensione, di origine atmosferica o di altra natura, che l'interruttore è in grado di sopportare.

□ *Caratteristica di intervento per sovraccarico* - le caratteristiche tempo corrente per i sovraccarichi di lunga durata.

- *Manovra positiva* - deve essere evidenziato il caso di non avvenuto sezionamento come ad esempio quando i contatti accidentalmente si dovessero saldare tra di loro. Deve essere possibile spostare la leva in posizione di aperto, ma questa deve portarsi automaticamente in posizione tale da evidenziare che l'operazione di sezionamento è fallita.
- *Durata totale d'interruzione* - è il tempo impiegato da un interruttore ad interrompere, passando dalla posizione di chiuso a quella di aperto, una corrente di corto circuito. Il tempo totale di interruzione è dato dalla somma del tempo di apertura più il tempo d'arco.



tr tempo di intervento del relè

t1 tempo di intervento del meccanismo dell'interruttore fino al distacco dei contatti

ta tempo di durata dell'arco

Fig. 10.19 - Durata totale d'interruzione

Il tempo di apertura è l'intervallo di tempo che intercorre tra l'istante in cui viene trasmesso il segnale di apertura e l'istante corrispondente alla effettiva separazione metallica del circuito. Il tempo d'arco è l'intervallo di tempo che, in un'operazione di apertura, intercorre tra l'istante di separazione metallica del circuito e l'istante di estinzione dell'arco. Come vedremo in seguito è possibile sfruttare il tempo di apertura per ottenere una protezione di tipo selettivo. Infatti per ottenere la selettività tra due apparecchi è necessario aumentare il tempo dell'apparecchio installato a monte in modo che il nuovo tempo d'intervento sia maggiore del tempo totale di interruzione dell'apparecchio situato a valle.

10.6.9 Caratteristiche di intervento

Definiscono il comportamento dell'interruttore nei confronti del tempo necessario per l'intervento all'apparire di una sovracorrente. Le caratteristiche, i cui valori minimi sono fissati dalle Norme (vedi paragrafo successivo), vengono fornite dai costruttori sotto forma di curve e devono essere riferiti ad un valore della temperatura ambiente. La scala delle correnti è normalmente espressa quali multipli della corrente nominale (I/I_n - rapporto tra la corrente che transita e la corrente nominale dell'interruttore). Le curve sono normalmente due e rappresentano le condizioni estreme ma possono essere fornite anche mediante una sola curva costruita con i valori medi. In particolare gli interruttori automatici rispondenti alle Norme CEI 23-3 si differenziano tra loro per il diverso campo d'intervento istantaneo su cortocircuito (relè elettromagnetico) e vengono identificate con le lettere maiuscole B, C, D. Si può notare dalla figura che segue come tutte e tre le zone tempo/corrente abbiano la stessa zona relativa all'intervento del relè termico mentre si differenziano solamente per il campo d'intervento istantaneo.

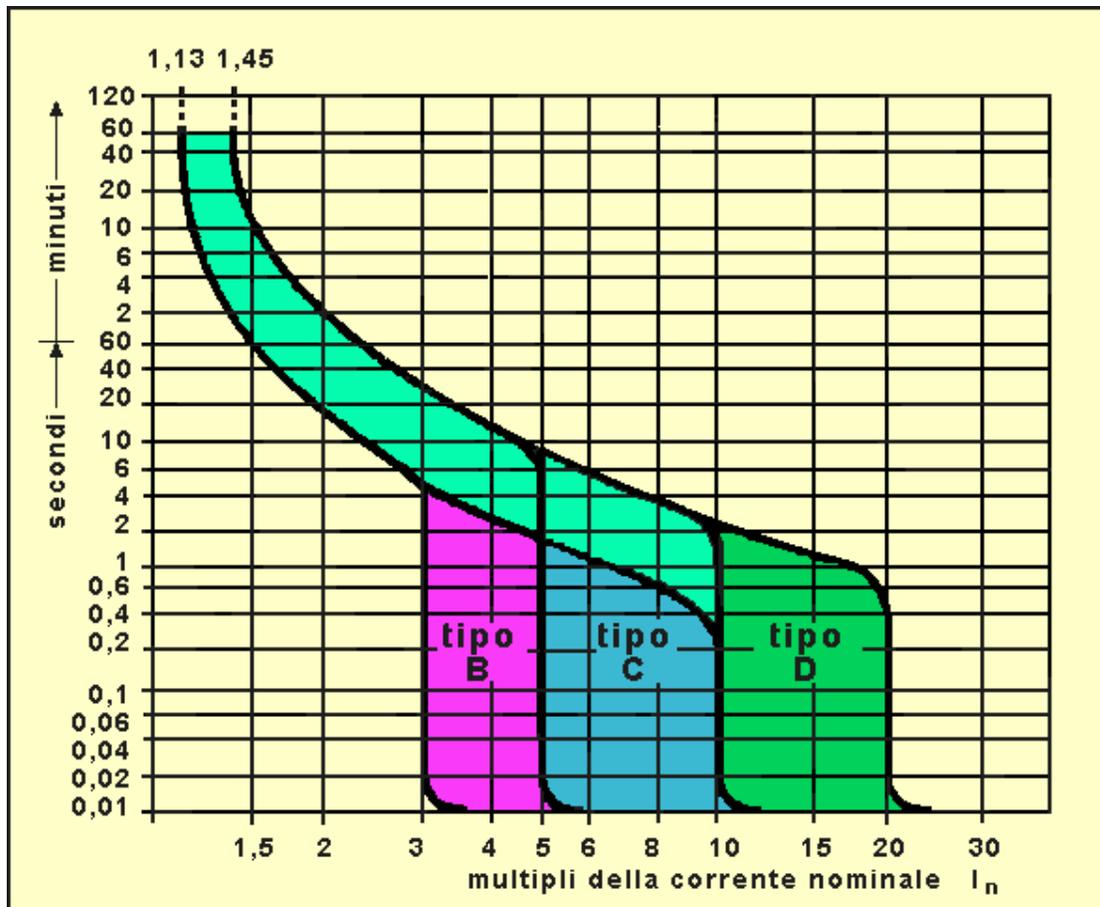
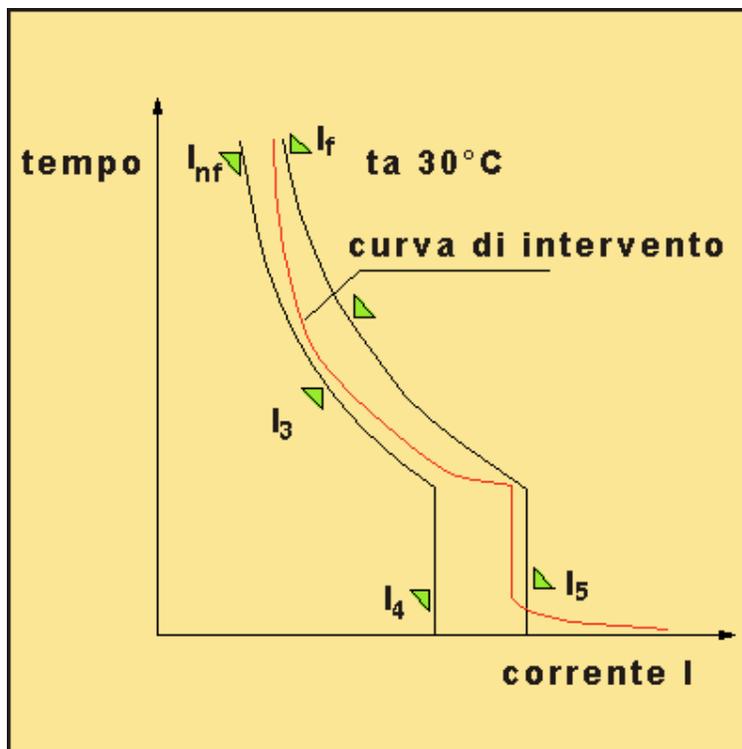


Fig. 10.22 - Zone tempo / corrente degli interruttori automatici B,C,D, secondo le Norme CEI 23-3

I costruttori forniscono le caratteristiche di intervento sotto forma di curve i cui valori oscillano all'interno di una banda e devono essere contenuti nelle zone tempo/corrente definite dalle Norme.



T_a - temperatura ambiente di riferimento : temperatura dell'aria intorno all'interruttore alla quale si riferiscono le caratteristiche tempo corrente

I_{nf} - corrente convenzionale di non intervento : è il valore di corrente fino al quale , in determinate e specificate condizioni, non avviene lo sgancio dell'interruttore

I_f - corrente convenzionale d'intervento : corrente che in determinate e specificate condizioni provoca lo sgancio dell'interruttore

I_3 - limitazione della tolleranza della caratteristica d'intervento

I_4 - limite inferiore del campo d'intervento istantaneo

I_5 - corrente di intervento istantaneo : minimo valore di corrente che provoca l'apertura automatica dell'interruttore senza ritardo intenzionale

Fig. 10.23 - Zona tempo corrente e caratteristica d'intervento di un interruttore automatico secondo la Norma CEI 23.3

Tipo campo di intervento istantaneo	Corrente di prova	tempo limite d'intervento o non intervento	l'interruttore deve :
B,C,D	$I_{nf} = 1,13I_n$	da freddo $t >= 1h$ ($I_n \leq 63A$) $t >= 2h$ ($I_n > 63A$)	non intervenire
B,C,D	$I_f = 1,45I_n$	$t < 1h$ ($I_n \leq 63A$) $t < 2h$ ($I_n > 63A$)	intervenire
B,C,D	$I_3 = 2,55I_n$	da freddo	intervenire

		$1s < t < 60s$ ($I_n \leq 32A$)	
		$1s < t < 120s$ ($I_n > 32A$)	
B	$I_4 =$	da freddo	<i>non intervenire</i>
C	$3 I_n$	$t > 0,1s$	
D	$5 I_n$		
	$10 I_n$		
B	$I_5 =$	da freddo	<i>intervenire</i>
C	$5 I_n$	$t < 0,1s$	
D	$10 I_n$		
	$20 I_n$		

Tab. 10.10 - Zone tempo corrente degli interruttori automatici secondo le Norme CEI 23-3

Per comprendere meglio come scegliere l'opportuna caratteristica di intervento prendiamo in considerazione come esempio la caratteristica di intervento di un interruttore, posto a protezione di una linea, con curva di tipo C che potrebbe essere fornita da un costruttore di una serie d'interruttori automatici (fig. 10.24).

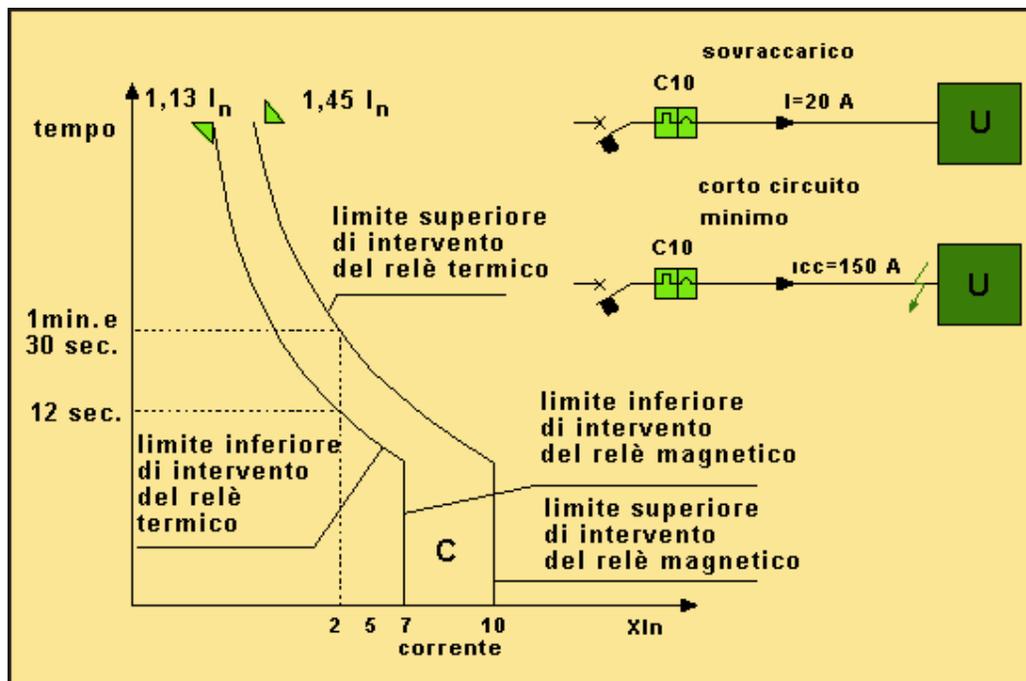
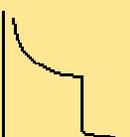
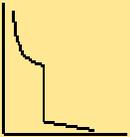
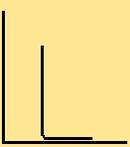


Fig. 10.24 - Caratteristica d'intervento di tipo C fornita da un costruttore: comportamento in caso di sovraccarico e corto circuito

Scegliendo ad esempio un interruttore 2 poli 10 A in corrispondenza del punto 2 sulle ascisse si può leggere il valore della corrente che in questo caso vale $2 \times I_n = 2 \times 10 = 20$ A (il valore della corrente è espresso in numero di volte la corrente nominale perché questa caratteristica vale per tutte le correnti nominali della serie di interruttori), sul punto 7 si può leggere 70 A e così via. Dalla curva di intervento si può notare innanzi tutto che la banda relativa all'intervento istantaneo del relè magnetico è più stretta rispetto a quella limite definita dalle Norme : in questo caso il limite inferiore è $7 \times I_n$ invece di $5 \times I_n$ che è il limite inferiore stabilito dalle Norme. Fino a 70 A l'interruttore non interviene istantaneamente, interviene istantaneamente e sicuramente per 10 volte I_n (100 A nell'esempio riportato in figura). L'interruttore interviene quindi

correttamente per la corrente di corto circuito presunta in fondo alla linea di 150 A perché interviene istantaneamente appunto con una corrente di 100 A) mentre nella fascia tra $7I_n$ e $10I_n$ può intervenire istantaneamente oppure no. Prima di $7I_n$ l'interruttore non interviene istantaneamente, ma interviene con un ritardo che dipende dall'andamento della curva d'intervento relativa al relè termico. Nella fascia d'intervento del relè termico ad un dato valore di corrente (ad esempio nel nostro caso con un interruttore con $I_n = 10A$ in corrispondenza di $2I_n = 20A$) l'interruttore ha un limite inferiore e uno superiore. In un tempo fino a 12 secondi l'interruttore sicuramente non interviene, interviene sicuramente in un tempo di 1 minuto e 30 secondi, mentre tra i 12 secondi e il minuto e 30 secondi può intervenire oppure no. Nella tabella che segue sono riportate le caratteristiche di intervento magnetico dei diversi tipi di sganciatore, con riferimento alle rispettive Norme, e le applicazioni più usuali dei diversi tipi di protezione.

Tipo	Intervento secondo la norma di riferimento		Protezione
	CEI EN-60947-2	CEI 23-3(EN 60898)	
 Curva B	$I_m 3,2 + 4,8I_n$	$I_m 3 + 5I_n$	Di generatori, delle persone e di grandi lunghezze di cavi. Sovraccarico: termici standard
 Curva C	$I_m 7 - 10I_n$	$I_m 5 + 10I_n$	Di cavi che alimentano apparecchi utilizzatori classici. Sovraccarico: termici standard
 Curva D	$I_m 10 + 14I_n$	$I_m 10 + 20I_n$	Di cavi che alimentano apparecchi utilizzatori a forte corrente di avviamento. Sovraccarico: termici standard
 Curva K	$I_m 10 + 14I_n$		Di cavi che alimentano apparecchi utilizzatori a forte corrente di avviamento. Sovraccarico: termici standard
 Curva Z	$I_m 2,4 + 3,6I_n$		Di circuiti elettronici

 <p>Curva MA</p>	$12I_n^{(1)}$		Di motori (senza protezione termica)
⁽¹⁾ Tolleranza ammessa $\pm 20\%$			

Tab. 10.11- *Tipi di sganciatori e loro applicazioni*

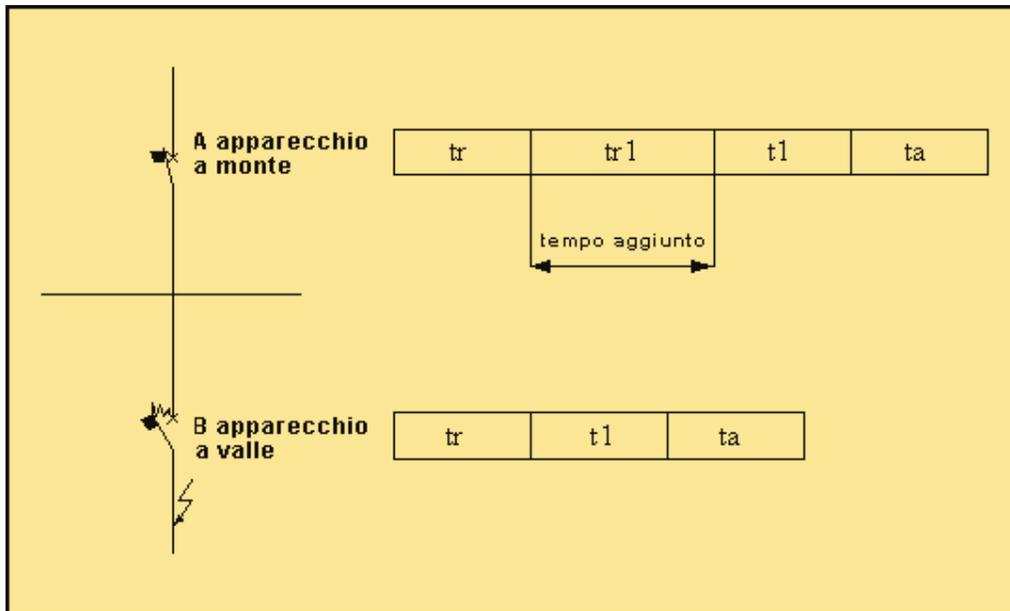


Fig. 10.20 - *Tempo di apertura in una protezione selettiva*

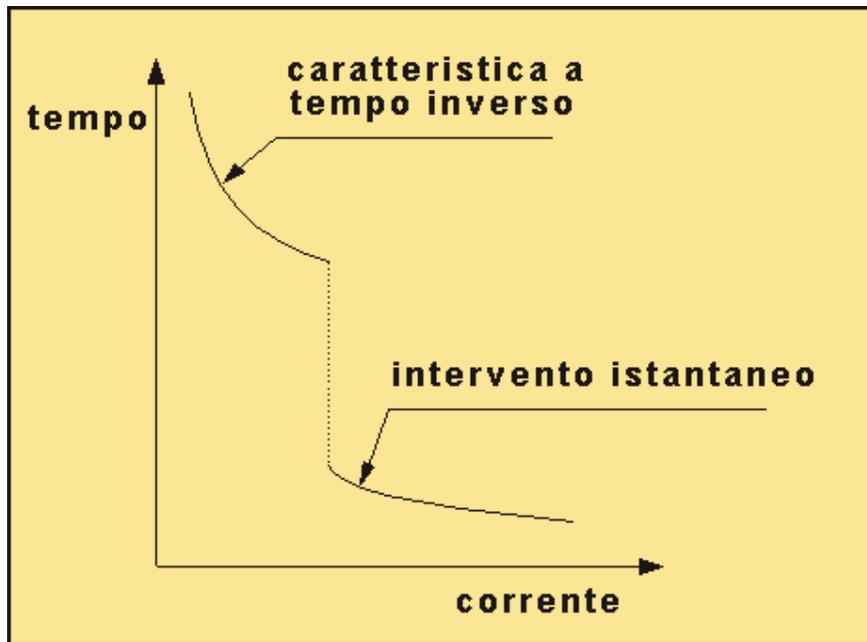


Fig. 10.21 - Caratteristica di intervento di un interruttore automatico

I_r Corrente regolata (A)	I_{nf} Corrente convenzionale di non intervento	I_f Corrente convenzionale di intervento
$I_n < 63A$	$1,05I_r \quad t > 1h$	$1,3I_r \quad t < 1h$
$I_n \geq 63A$	$1,05I_n \quad t > 2h$	$1,3I_r \quad t < 2h$

Tab. 10.9 - Caratteristiche di intervento degli sganciatori a tempo inverso degli interruttori ad uso industriale (CEI EN 60947-2) alla temperatura ambiente di riferimento di 30 gradi centigradi

10.6.10 Selettività delle protezioni

L'articolo 536.1 della Norma CEI 64-8 è dedicato alla selettività tra dispositivi di protezione contro le sovracorrenti: "Quando più dispositivi di protezione sono posti in serie e quando le necessità di esercizio lo giustificano, le loro caratteristiche di funzionamento devono essere scelte in modo da staccare dall'alimentazione solo la parte dell'impianto in cui si trova il guasto". In definitiva si dovrà fare in modo che in presenza di un guasto intervenga unicamente il dispositivo di protezione installato immediatamente a monte del punto guasto. Gli altri dispositivi attraversati dalla corrente di guasto dovranno rimanere chiusi e consentire al resto dell'impianto sano di rimanere alimentato. Gli interruttori automatici di bassa tensione sono suddivisi in due categorie fondamentali: interruttori in scatola isolante e interruttori di tipo aperto. Entrambe queste tipologie di dispositivi vengono a loro volta classificate in funzione del tipo di intervento che può essere istantaneo o selettivo. A questo scopo le Norme fanno corrispondere questa classificazione a due categorie di utilizzo, rispettivamente A (istantanei) e B (selettivi). Per meglio orientarsi

tra funzioni e limiti relativi all'impiego degli interruttori selettivi si ritiene utile richiamare alcuni concetti fondamentali riguardanti la selettività. La selettività si ottiene con il coordinamento tra due o più interruttori posti in serie ('in cascata') sui diversi circuiti di un impianto e può essere amperometrica o cronometrica.

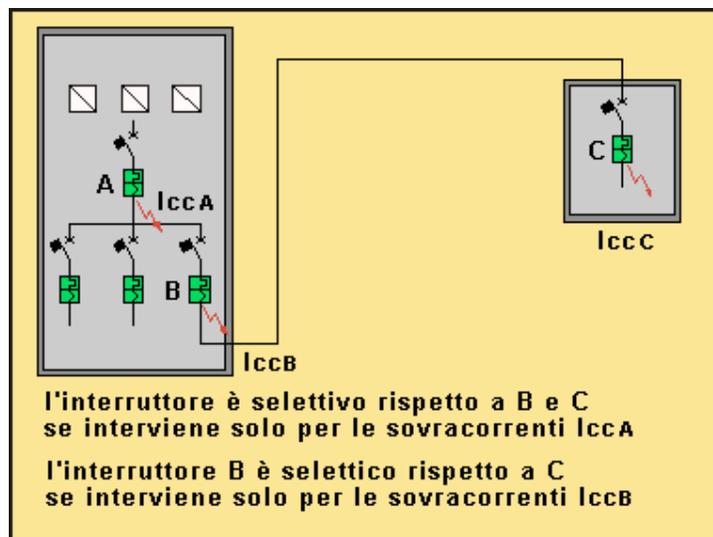


Fig. 10.25 - Selettività degli interruttori posti in cascata

10.6.11 Selettività amperometrica naturale

Viene ottenuta coordinando opportunamente i valori di corrente nominale della catena di interruttori. In pratica si deve far in modo che la caratteristica di intervento a tempo inverso dell'interruttore posto a monte sia in ogni punto superiore a quella dell'interruttore a valle. E' in genere sufficiente che tra A e B esistano almeno due grandezze di differenza tra le rispettive correnti nominali (valori maggiori per gli interruttori a monte). La selettività amperometrica è in effetti piuttosto difficile da ottenere ed è generalmente garantita solo per i sovraccarichi e non per i corto circuiti; il risultato è spesso una selettività parziale.

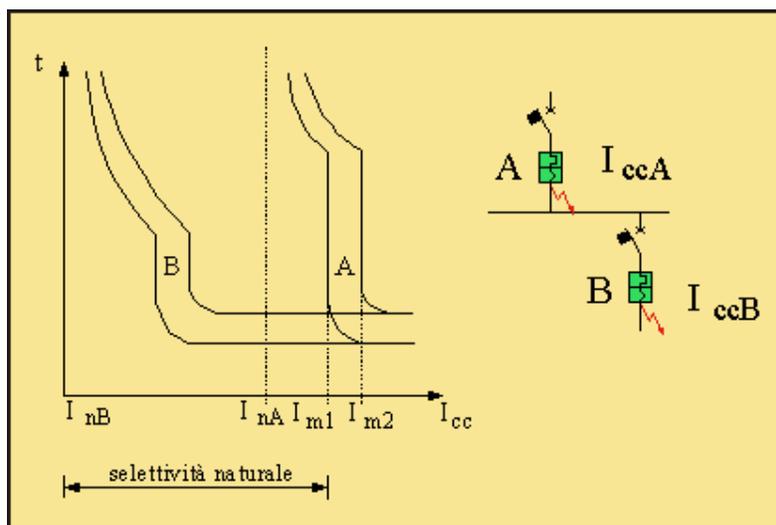


Fig. 10.26 - Selettività amperometrica fra interruttori automatici con diverse correnti nominali.

A è selettivo rispetto a B per sovracorrenti non superiori alla sua soglia inferiore di intervento magnetico. Se per esempio $I_{nA}=250\text{ A}$ e $I_{m1}=5 \times I_{nA}$ si ha selettività in sovraccarico fino a 1250 A.

10.6.12 Selettività amperometrica fra interruttori rapidi e interruttori limitatori (selettività energetica)

Si ottiene installando a monte un interruttore di tipo rapido con un tempo di prearco dell'ordine di 2-3 ms e a valle un interruttore limitatore con tempi di prearco di 0,6-1 ms. La selettività si realizza se l'energia specifica di corto circuito lasciata passare dall'interruttore posto a valle è minore di quella richiesta per azionare lo sganciatore magnetico dell'interruttore posto a monte. E' un tipo di selettività che deve essere dichiarata dal costruttore che la determina mediante prove di laboratorio ed è in genere possibile fino a prestabiliti valori di corrente presunta di cortocircuito (10-15 kA) sempre indicati dal costruttore.

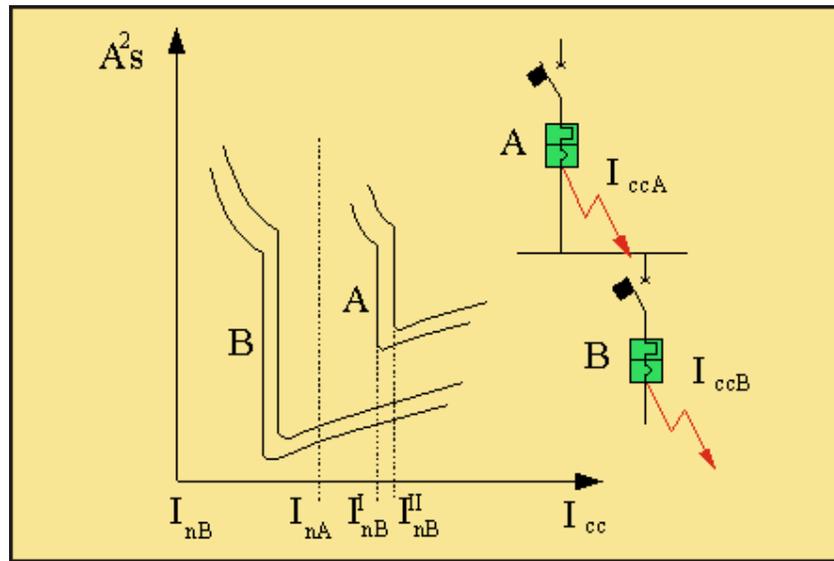


Fig. 10.27 - Selettività amperometrica tra interruttori rapidi e interruttori limitatori. E' indicata dal costruttore che la determina mediante prove. Può essere totale o parziale (cioè fino ad un certo valore di I_{cc})

10.6.13 Selettività cronometrica

Si realizza ritardando, con opportuni dispositivi, di 40-300 ms l'intervento in corto circuito dell'interruttore posto a monte per dare il tempo all'interruttore posto a valle di completare l'interruzione. Non esiste incertezza nella selettività di tipo cronometrico ma nel circuito fluisce un'energia specifica 6-7 volte maggiore di quella lasciata passare da un interruttore senza ritardo. I componenti protetti e l'automatico stesso devono sopportare delle sollecitazioni termiche dovute al cortocircuito molto elevate. E' per questo motivo che normalmente la selettività cronometrica viene introdotta solamente per i grossi interruttori con correnti nominali superiori a 500-630 A.

10.6.14 Classificazione e caratteristiche degli interruttori selettivi

La Norma CEI 17-5 classifica gli interruttori in due categorie di utilizzazione.

- Categoria A - Con questi apparecchi si può ottenere solo la selettività di tipo amperometrico perché non dispongono di dispositivi per il ritardo intenzionale dell'intervento per correnti di corto circuito. Gli interruttori con corrente nominale inferiore a 500-630 A appartengono a questa categoria.
- Categoria B - Sono interruttori automatici con dispositivo di ritardo intenzionale. In corto circuito si può ottenere la selettività cronometrica introducendo tempi di ritardo variabili da 0 a 300 ms. I dispositivi di ritardo possono essere di tipo elettromeccanico, nei quali si può regolare solo il tempo di prearco, o a microprocessore, in cui si possono ottenere regolazioni più complesse. Per questi apparecchi deve essere specificata la corrente nominale di breve durata I_{cw} .

Dati caratteristici degli interruttori da considerare per il coordinamento selettivo sono :

- *tempo di prearco* t_p - è il tempo che delimita l'istante t_0 di inizio del corto circuito e l'istante t_p in cui i contatti iniziano il movimento di apertura ;
- *tempo d'arco* t_a - è il tempo che intercorre tra l'istante t_p in cui i contatti iniziano il movimento di apertura a quello in cui l'arco si estingue ;
- *tempo totale di interruzione* $t_i = t_p + t_a$ - è il tempo che si frappone fra l'istante dell'insorgere del corto circuito e l'istante in cui l'interruzione si completa con l'annullamento della corrente ;

- *energia specifica passante a ritardo nullo* $W_i = \int_{t_0}^{t_i} i^2 dt$ - è ricavabile dalla caratteristica I^2t/I_{cc} dell'interruttore;

- *tempo di ritardo introdotto* t_r - è il tempo che intercorre dal manifestarsi del corto circuito a quello in cui lo sganciatore riceve il consenso all'inizio dell'operazione di apertura ;

- *tempo totale di prearco* $t_r + t_0$;

- *tempo complessivo di interruzione* $t_r + t_0 + t_a$;

- *energia specifica passante nel tempo di ritardo* $W_r = I_{cc}^2 t_r$;

- *energia specifica passante totale* $W_{tot} = W_r + W_i$.

10.6.15 La regolazione degli sganciatori

La regolazione ideale delle protezioni sarebbe quella che determina l'intervento istantaneo con valori di corrente di poco superiori alla corrente nominale del circuito da proteggere (valore minimo di corrente e tempo di intervento zero). Praticamente una tale regolazione non è possibile perché occorre consentire ai circuiti protetti di superare alcuni funzionamenti transitori caratteristici del tipo di carico alimentato (esempio tipico l'alimentazione di un motore asincrono trifase che assorbe allo spunto una corrente più elevata di quella nominale). Quando è possibile la regolazione dello sganciatore, la regolazione ideale sarà quella che pone la curva di intervento la più vicina possibile agli assi cartesiani senza però interferire con la curva di corrente caratteristica dei transitori del carico e senza intersecarsi con le curve degli sganciatori posti a valle nel caso si voglia ottenere la selettività verticale delle protezioni. La regolazione dovrà ovviamente tenere conto delle tolleranze stabilite dalle Norme o, quando fossero inferiori a quelle indicate dalle Norme (come nel caso degli sganciatori elettronici), dal costruttore.

10.6.16 Regolazione degli interruttori selettivi di tipo elettromeccanico

Con questo tipo di interruttori si può ottenere un ritardo, regolabile generalmente a gradini, fino a 300 ms. Questo viene generalmente ottenuto agendo su di un dispositivo di tipo meccanico che aumenta l'inerzia del meccanismo di sgancio.

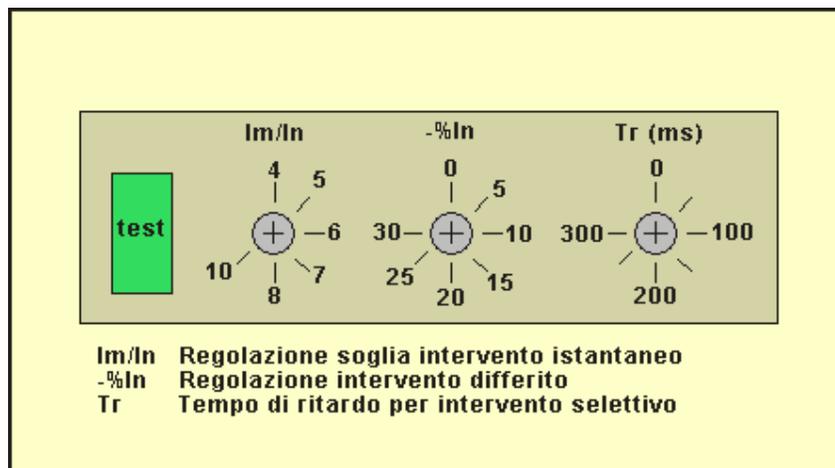


Fig. 10.28 - Regolazione di uno sganciatore elettromeccanico

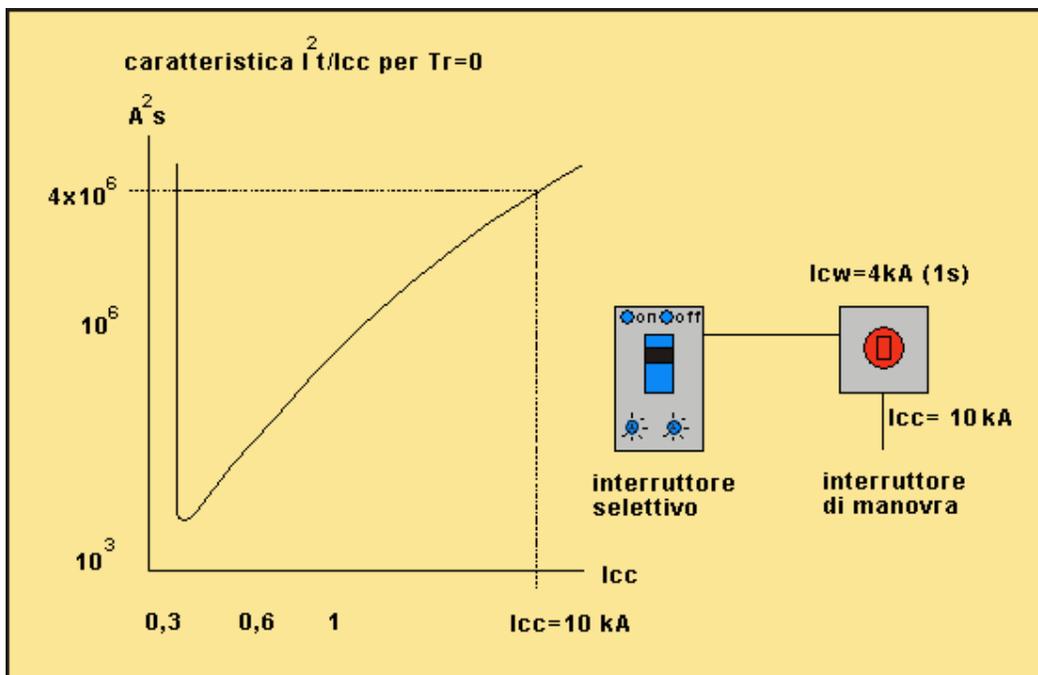
La massima energia specifica W_{tot} lasciata passare in corrispondenza di I_{cn} per il tempo di ritardo t_r massimo deve essere sopportabile dall'interruttore e in particolare dal bimetallo del relè termico che è normalmente la parte più debole di tutto l'apparecchio (per questo motivo, come si è detto, non sono realizzabili interruttori magnetotermici selettivi con correnti nominali basse). Valutando in W l'energia sopportata dal circuito tra l'interruttore selettivo e il primo interruttore più a valle, il tempo t_r da introdurre si determina con la sequenza di operazioni di seguito indicata (fig. 10.29):

1. Si determina, mediante il diagramma I^2t/I_{cc} riferito a $t_r=0$, l'energia specifica passante W_0 riferita alla corrente presunta di corto circuito I_{cc} nel punto di installazione del componente che si vuole proteggere ;
2. Si calcola l'energia massima sopportabile dal componente da proteggere ponendo $W = (I_{cw(1s)})^2$, dove I_{cw} è la corrente nominale massima ammissibile di breve durata del componente, oppure ponendo $W=k^2S^2$ se si tratta di un cavo ;

$$t = \frac{W - W_0}{I^2}$$

3. Il tempo massimo che si può introdurre nella regolazione è

Per tempi calcolati che risultano inferiori a 100 ms, non essendo disponibile una regolazione più accurata, l'interruttore selettivo di tipo elettromeccanico non può essere utilizzato per la selettività cronometrica.



- | | |
|---|--|
| 1. Energia specifica sopportabile
($I_{cw} \times 1s$) dall'interruttore di manovra: | $W=(4000)^2 \times 1 = 16\,000\,000\,A^2s$ |
| 2. Energia specifica lasciata passare dall'interruttore
per $I_{cc}=10000\,A$: | $W_0=4 \times 10^6=4\,000\,000\,A^2s$ |
| 3. Tempo di ritardo massimo ammissibile: | $t = \frac{(16 - 4) \times 10^6}{100 \times 10^4} = 0,12s \cong 100ms$ |
| 4. Regolazione da impostare : | $t=100ms$ |

Fig. 10.29 - Esempio di regolazione e verifica dell'iquadratoti di uno sganciatore elettromeccanico

10.6.17 La regolazione degli interruttori selettivi a microprocessore

In questi dispositivi lo sgancio è ottenuto per mezzo di un elettromagnete controllato da un elaboratore a microprocessore che elabora i segnali ricevuti dai trasformatori di corrente inseriti di solito nell'interruttore. In base a questi segnali e alle regolazioni impostate l'elaboratore invia il comando di sgancio all'elettromagnete. Mancando il bimetallo, che come si è detto costituisce un punto termicamente debole, si possono ottenere valori più alti della corrente di breve durata ammissibile che fluisce nell'interruttore nel tempo di ritardo impostato e si può variare, entro ampi limiti, l'intera caratteristica di intervento. A differenza del tipo elettromeccanico si possono impostare liberamente e con continuità i tempi di ritardo per ottenere la selettività cronometrica. In alcuni modelli dell'ultima generazione è possibile variare i tempi in misura inversa al quadrato della corrente di corto circuito raggiungendo la selettività con A^2 s costanti. L'apparecchio è in questo modo autoprotetto perché quando l'energia specifica passante non è più sopportabile l'apparecchio interviene rinunciando se necessario alla selettività. L'autoprotezione dall'energia specifica passante e l'aumentata corrente ammissibile di breve durata hanno permesso di ottenere interruttori selettivi di dimensioni contenute e con correnti nominali più basse dell'ordine dei 500A.

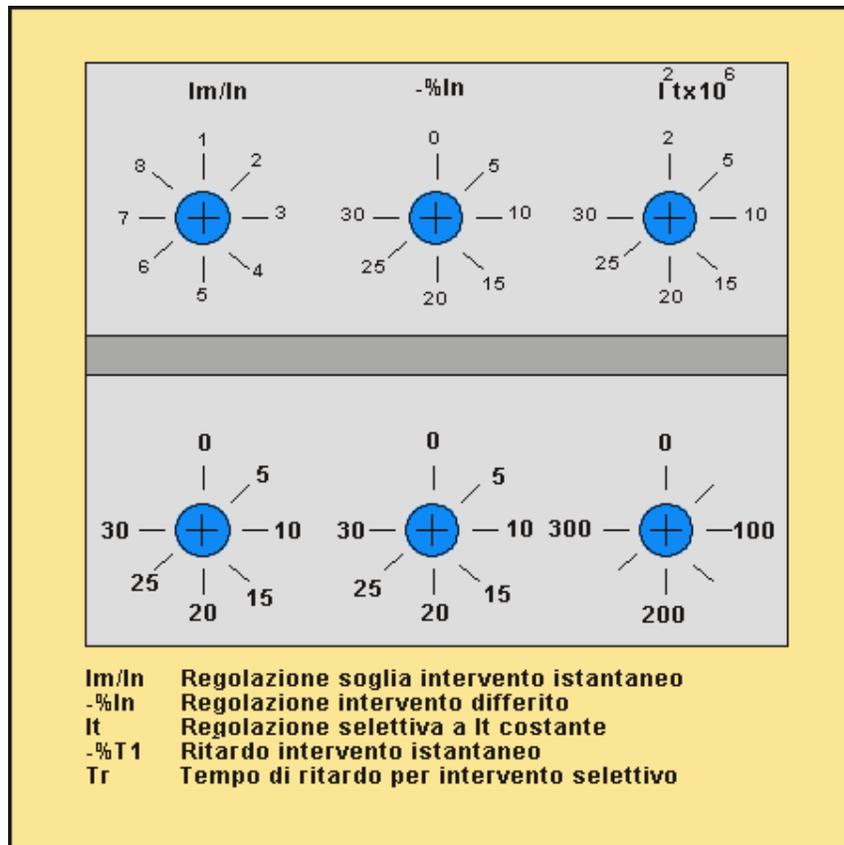


Fig. 10.30 - Regolazione di uno sganciatore a microprocessore

Con certi interruttori elettronici, pilotati a volte anche con trasformatori di corrente esterni, è possibile ottenere la cosiddetta selettività logica o di zona. I microprocessori, collegati tra di loro da un filo di connessione, sono in continua comunicazione tra di loro e ogni interruttore che rileva un guasto lo comunica a quelli immediatamente a monte che imposteranno automaticamente il tempo di ritardo sufficiente a far intervenire istantaneamente, e quindi selettivamente, l'interruttore che ha rilevato il guasto.

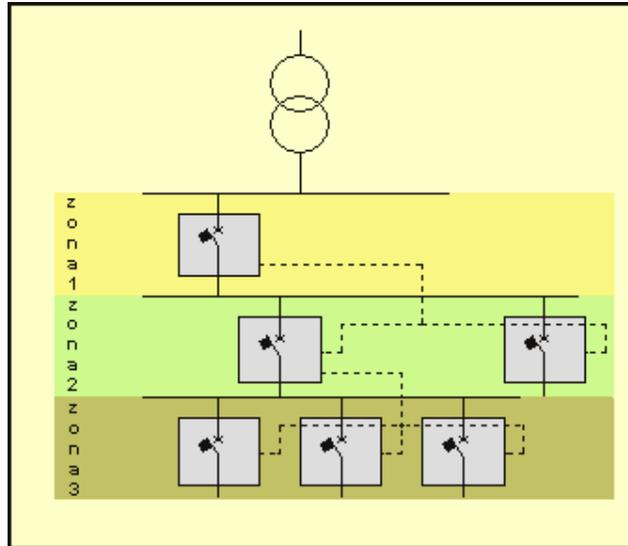


Fig. 10.31 - Selettività logica pilotata o di zona

10.6.18 Protezione di sostegno (back-up)

Se un interruttore automatico presenta un potere d'interruzione inferiore alla corrente presunta di corto circuito nel punto d'installazione è possibile intervenire associando ad esso una protezione di sostegno di tipo limitatore opportunamente coordinata.

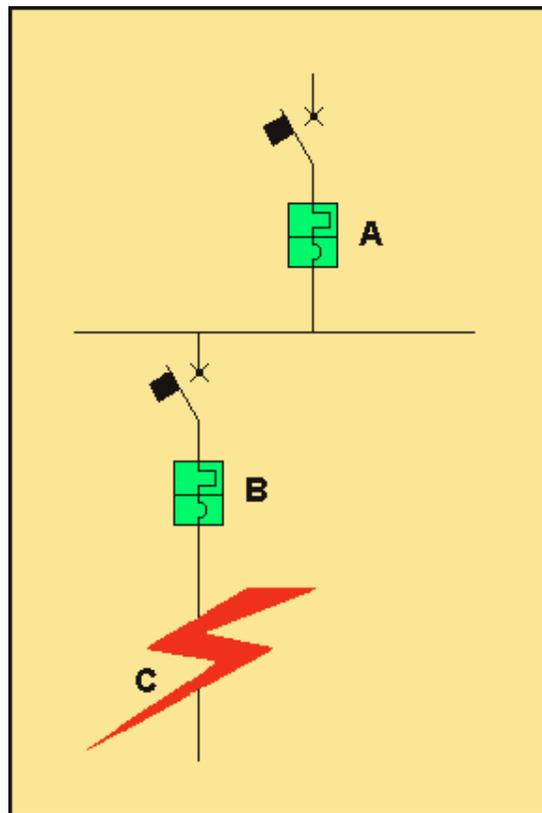


Fig. 10.32 - Protezione di sostegno (back-up) . In caso di guasto in C i due interruptori, installati in serie, interagiscono tra di loro comportandosi come un'unica unità con due interruzioni poste in serie che interrompono il circuito.

In caso di guasto a valle dell'interruttore con potere di corto circuito minore della corrente di corto circuito presunta in quel punto i due interruptori disposti in serie tra di loro intervengono simultaneamente per un valore di corrente (corrente di scambio) superiore ad una prefissata soglia. Tutto ciò conferisce all'insieme e quindi anche all'interruttore a valle un potere di interruzione superiore a quello che lo stesso potrebbe garantire da solo. Ovviamente un tal sistema non permette di ottenere la selettività tra i dispositivi ma permettere di risolvere altre problematiche come ad esempio :

- diminuire l'ingombro delle apparecchiature elettriche ;
- interventi su impianti esistenti anche se non più idonei alle nuove correnti di corto circuito ;
- risparmio economico sul dimensionamento dei componenti dell'impianto.

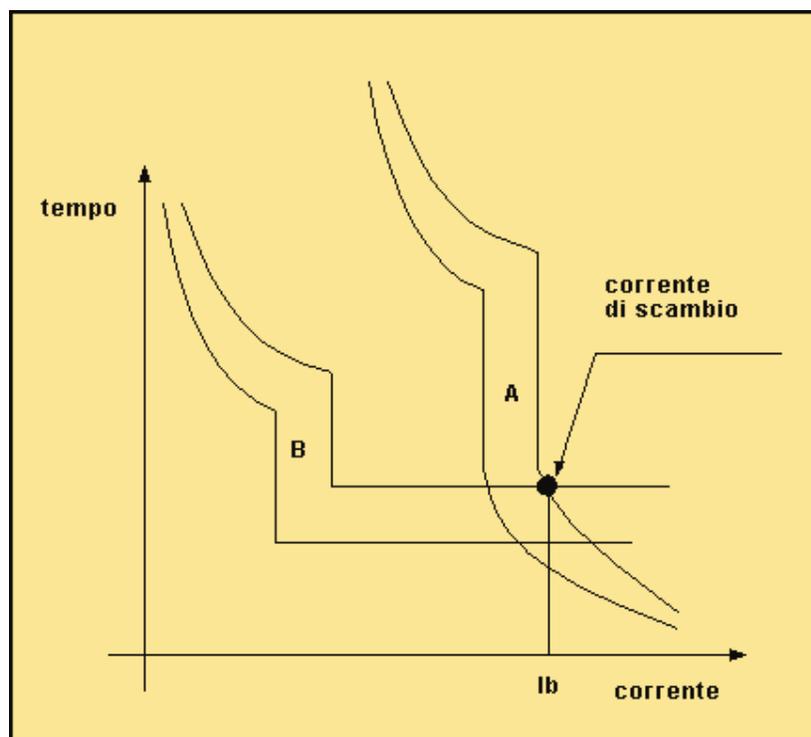


Fig. 10.33 - Back-up - corrente di scambio

In definitiva la protezione di sostegno è applicabile quando non esistono esigenze di selettività e consente di proteggere impianti sottodimensionati rispetto alla corrente di guasto presunta ottenendo un sensibile risparmio nel dimensionamento degli interruptori a valle. Per ottenere la protezione di sostegno sono necessarie alcune condizioni fondamentali :

- l'interruttore a monte deve avere un potere d'interruzione almeno pari alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione dell'interruttore a valle ;
- la corrente di corto circuito e l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore a monte non devono danneggiare l'interruttore a valle e le condutture;
- i due interruptori devono essere effettivamente in serie in modo da essere percorsi dalla stessa corrente in caso di guasto.

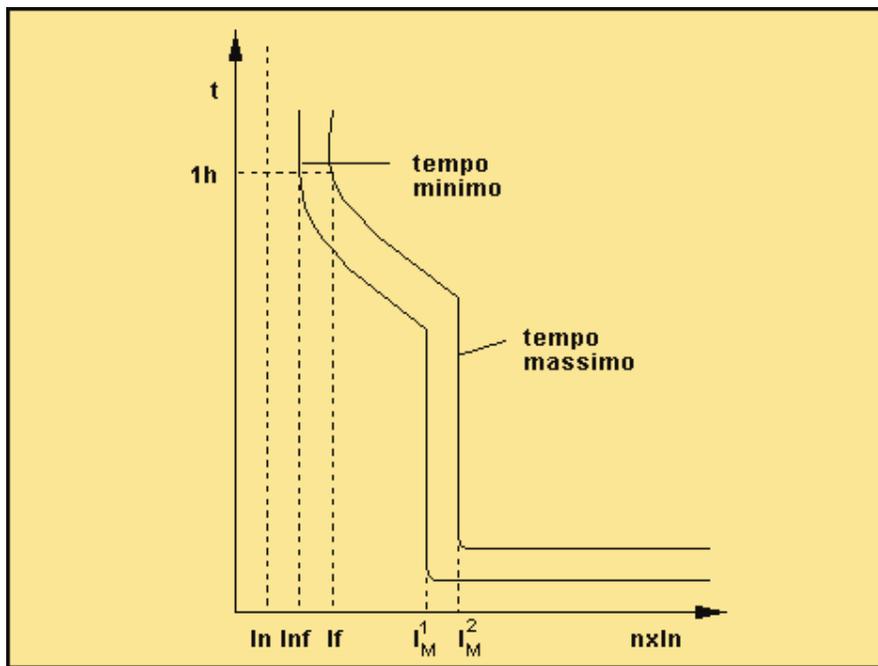
Le combinazioni adatte per questo tipo di protezione devono in ogni caso essere scelte in base a indicazioni fornite dal costruttore che deve verificare l'efficienza dell'intero complesso mediante prove pratiche. Il potere d'interruzione dell'insieme non può infatti essere calcolato teoricamente ma può essere definito soltanto mediante prove dirette eseguite in laboratori altamente qualificati. Per questo motivo il complesso di interruttori da impiegare per la protezione di sostegno non può essere composto da apparecchiature fornite da costruttori diversi che in tal caso non ne garantirebbero l'idoneità.

10.6.19 Criteri di scelta di scelta di un interruttore automatico

Prima di procedere alla definizione dei criteri di scelta dell'interruttore è necessario fare alcune considerazioni a proposito di sovraccarichi e cortocircuiti.

10.6.20 L'intervento automatico su sovraccarico e cortocircuito

□ **Sovraccarico** - L'interruttore non è in grado di distinguere un sovraccarico da una corrente di guasto a terra o da un corto circuito ad elevata impedenza. Sotto l'aspetto dell'intervento automatico un sovraccarico è perciò da intendersi come una sovracorrente che non è in grado di determinare l'intervento dello sganciatore elettromagnetico. Abbiamo visto in precedenza le caratteristiche di intervento degli interruttori automatici ; individuiamo ora le quattro correnti tipiche che caratterizzano lo sganciatore termico (fig. 10.34).



I_{nf} - corrente convenzionale di non intervento : è il valore di corrente fino al quale , in determinate e specificate condizioni, non avviene lo sgancio dell'interruttore ;

I_f - corrente convenzionale d'intervento : corrente che in determinate e specificate condizioni provoca lo sgancio dell'interruttore ;

I_M^1 - corrente massima di intervento dello sganciatore termico oltre la quale potrebbe intervenire quello elettromagnetico ;

I_M^2 - corrente massima di intervento dello sganciatore termico oltre la quale interviene sicuramente quello elettromagnetico ;

I_n - Massima corrente che non provoca l'intervento dello sganciatore termico.

Fig. 10.34 - Caratteristica d'intervento di un interruttore automatico

I_n , I_{nf} , I_m^1 , I_m^2 sono i valori di corrente che caratterizzano l'attitudine dell'interruttore alla corretta protezione da sovracorrenti di modesta entità.

· **Cortocircuito** - L'interruttore automatico deve poter intervenire correttamente fino al proprio potere d'interruzione estremo I_{cu} riferito alla sua tensione d'impiego U_e . Il potere d'interruzione di servizio I_{cs} è normalmente inferiore a quello estremo in modo che sia possibile mantenere in esercizio l'interruttore anche dopo un primo cortocircuito. Oltre a questo l'interruttore deve garantire anche la limitazione delle sollecitazioni da cortocircuito. La limitazione dipende fondamentalmente dai tempi d'interruzione. La somma del tempo di pre-arco (tempo che intercorre tra l'insorgere del guasto e il distacco dei contatti) e di quello d'arco (tempo necessario ad estinguere l'arco). Il tempo di pre-arco è fondamentale ai fini della limitazione delle sollecitazioni elettrodinamiche di cortocircuito in quanto la corrente di picco limitata si mantiene a valori inferiori rispetto a quella normale di cortocircuito (fig. 10.17). Quando il tempo di pre-arco è inferiore a 1 ms si può parlare di interruttori limitatori, se invece il tempo è compreso tra 1 e 4 ms allora sono detti di tipo rapido. Il tempo di pre-arco influisce anche sulla limitazione dell'energia specifica di cortocircuito (I^2t - integrale di joule) che è importante per valutare l'attitudine dell'interruttore alla protezione contro le sollecitazioni termiche (la caratteristica di limitazione è rilevabile dal grafico della fig. 10.35). In corrispondenza dell'intervento termico la caratteristica della curva di limitazione è irregolare in prossimità della corrente I_m di intervento magnetico e non è significativo per correnti fino a $3I_n$ (che corrispondono a tempi di interruzione di circa 3-5 s). Superata la corrente I_m , individuabile sul diagramma dal tratto verticale, il tempo d'interruzione è praticamente costante e l'energia specifica passante aumenta all'incirca in funzione del quadrato della corrente di cortocircuito effettivamente interrotta. Questa caratteristica I^2t/I_{cc} è necessaria, come vedremo in altro capitolo, per la corretta verifica della protezione dei cavi e per valutare il comportamento selettivo tra interruttori installati in cascata.

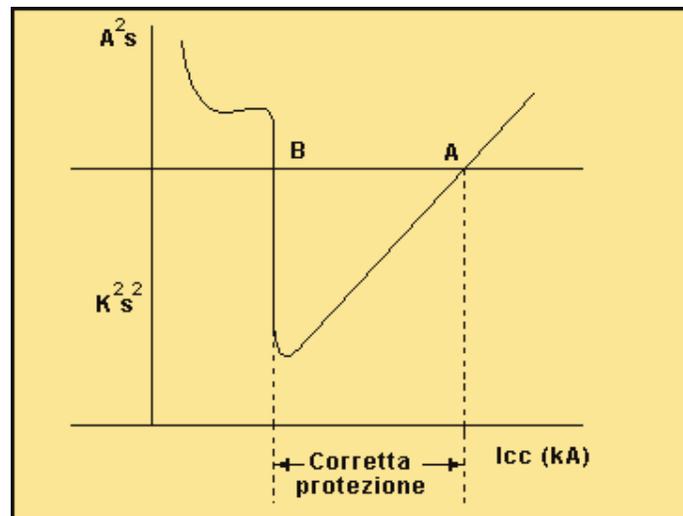


Fig. 10.35 - Caratteristica I^2t/I_{cc} - protezione dei conduttori dal corto circuito

10.6.21 Scelta della corrente nominale

La corrente nominale I_n deve essere compresa tra il valore della corrente d'impiego I_B e il valore della massima corrente termica I_{th} del circuito da proteggere che, a seconda dei casi, può essere o la portata massima dei cavi I_2 o la corrente nominale I_n di apparecchi come gli interruttori di manovra. La corrente nominale ovviamente è relativa alla condizione di non intervento dello sganciatore termico quando la temperatura ambiente è uguale a quella di riferimento indicata dal costruttore. Se la temperatura ambiente è maggiore, ad esempio le temperature che si hanno all'interno dei quadri elettrici, occorre considerare la riduzione della corrente di non intervento e praticare il necessario declassamento dell'interruttore basandosi su grafici (indicativamente vedere la fig. 10.36) e le tabelle messe a disposizione dai costruttori e che permettono di determinare la corrente nominale dell'interruttore automatico alla nuova temperatura ambiente.

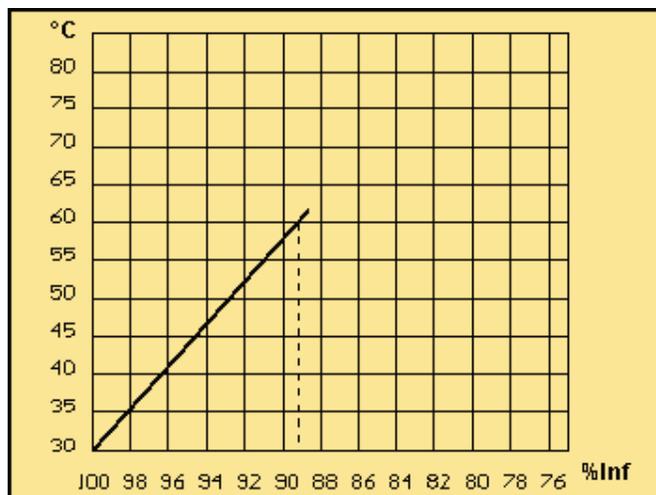


Fig. 10.36 - Riduzione della corrente di non intervento di un interruttore magnetotermico all'aumentare della temperatura (un interruttore automatico con I_n 10A alla temperatura di 60 °C deve subire una riduzione a 8,9 A).

10.6.22 Scelta delle caratteristiche di limitazione delle sollecitazioni di cortocircuito

La corretta protezione dalle sollecitazioni termiche ed elettrodinamiche di cortocircuito può essere attuata solo se l'interruttore presenta caratteristiche di limitazione dell'energia specifica passante adeguate. Un cavo risulta completamente protetto quando l'energia specifica, A^2s non supera il valore K^2S^2 dove S è la sezione in mm^2 e K un coefficiente che varia da 115 a 143 a seconda del tipo di isolante. In figura 10.35 sono indicati i limiti A e B della corrente di cortocircuito entro i quali il cavo è adeguatamente protetto; si ricorda (in un prossimo capitolo l'argomento verrà adeguatamente approfondito) che il valore inferiore, corrente di cortocircuito minima I_{ccm} , ha in genere senso solo nel caso di linee lunghe. Gli altri componenti risultano correttamente protetti se gli A^2s lasciati passare dall'interruttore non superano la corrente nominale massima ammissibile per la durata di 1 secondo $I_{cw}^2(1s)$. La protezione contro gli effetti elettrodinamici si ha quando la corrente di picco limitata I_{pl} non supera quella massima ammissibile dal componente. Per questa verifica occorre disporre della caratteristica I_{pl}/I_p (fig. 10.37).

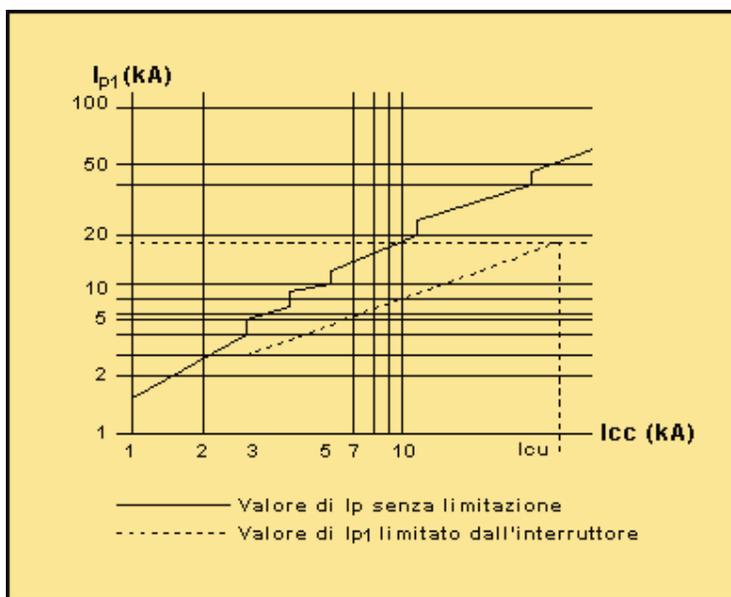


Fig. 10.37 - Caratteristica I_{pl}/I_p

Non disponendo di questa caratteristica ma solo del potere di chiusura I_{cm} si dovrà verificare che i componenti sopportino delle correnti di picco non inferiori a questo valore (I_{cm} - massimo valore istantaneo di corrente che l'interruttore è in grado di aprire senza danneggiarsi).