

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA
Dipartimento di Ingegneria
Contrada Di Dio I, 98166 – Villaggio S. Agata Messina

Appunti Corso di Sistemi Elettrici

Capitolo 09 Dispositivi di manovra e protezione

Anno Accademico 2015-2016

prof. ing. Bruno Azzerboni

Fonti:

Manuali, guide e cataloghi
ABB, bTicino, Gewiss, Merlin Gerin
Schneider, Siemens

Web:

www.elektro.it,
www.voltimum.it
www.electroyou.it

Sommario

Sommario	2
9. Dispositivi di manovra e protezione	4
9.1 Classificazione delle apparecchiature	4
9.1.1 Classificazione in base alle funzioni svolte	4
9.1.2 Classificazione in base alle modalità di manovra	4
9.1.3 Classificazione in base al sistema elettrico	5
9.1.4 Classificazione in base all'ambiente d'installazione	5
9.2 Definizioni e dati di targa	5
9.2.1 Sezionatore	5
9.2.2 Interruttore	5
9.2.3 Fusibile	6
9.2.4 Apparecchio di manovra e di protezione con fusibili	6
9.2.5 Contattore e avviatore	7
9.2.6 Dati di targa	7
9.3 Fusibili	8
9.3.1 Generalità	8
9.3.2 Criteri costruttivi	8
9.3.3 Principio di funzionamento	8
9.3.4 Grandezze nominali	9
9.4 Interruttore Differenziale	13
9.4.1 Principio di funzionamento	13
9.4.2 Classificazione degli interruttori differenziali	16
9.4.3 Caratteristiche funzionali degli interruttori differenziali	20
9.4.4 I vari tipi d'interruttori differenziali	23
9.4.5 Protezione dalle sovracorrenti	23
9.4.6 Interruttori differenziali puri	24
9.4.7 Interruttori differenziali per uso domestico e similare	26
9.4.8 Interruttori differenziali per uso generale	26
9.4.9 Interruttori differenziali a funzionamento dipendente o indipendente dalla tensione di rete	26
9.4.10 Selettività tra interruttori differenziali	27
9.4.11 Interventi intempestivi	30
9.4.12 Correnti di dispersione capacitive verso terra	30
9.4.13 Sovratensioni di origine atmosferica o di manovra	30
9.4.14 Correnti di spunto	31
9.4.15 Correnti di dispersione alla presenza di armoniche	31
9.4.16 La scelta della corrente differenziale nominale	31
9.4.17 La tenuta alle sovratensioni degli interruttori differenziali	31
9.4.18 Sovratensioni	32
9.4.19 La tenuta degli interruttori differenziali alle sovratensioni di manovra e di origine atmosferica	33
9.4.20 L'interruttore differenziale e la fulminazione diretta	34
9.4.21 Interruttori differenziali e sistema TN	34
9.5 Sezionatore, interruttore di manovra e interruttore di manovra-sezionatore	35
9.5.1 Generalità	35
9.5.2 Grandezze nominali	36
9.5.3 Caratteristiche funzionali e costruttive del sezionatore	37
9.5.4 Caratteristiche funzionali dell'interruttore di manovra e dell'interruttore di manovra – sezionatore	38
9.5.5 Caratteristiche costruttive	39
9.5.6 Unità combinata sezionatore con fusibili e fusibile – sezionatore	39
9.5.7 Interruttore di manovra con fusibili	39
9.5.8 La tenuta alle sovracorrenti	39
9.5.9 Verifica della tenuta al corto circuito	40
9.6 Interruttore automatico, sganciatore	41
9.6.1 Generalità	41
9.6.2 Classificazione	41
9.6.3 Sganciatori	42

9.6.4	La scelta degli sganciatori	44
9.6.5	Tecniche di interruzione	44
9.6.6	Principali grandezze e caratteristiche elettriche	45
9.6.7	Interruttori per uso domestico	46
9.6.8	Interruttori per uso industriale	47
9.6.9	Caratteristiche d'intervento	51
9.6.10	Selettività delle protezioni	59
9.6.11	Definizione di selettività e tipologie	59
9.6.12	Selettività amperometrica per sovraccarico	61
9.6.13	Selettività amperometrica in corto circuito	62
9.6.14	Selettività amperometrica fra interruttori rapidi e interruttori limitatori (selettività energetica)	64
9.6.15	Selettività cronometrica	65
9.6.16	Classificazione e caratteristiche degli interruttori selettivi	67
9.6.17	La regolazione degli sganciatori	68
9.6.18	Regolazione degli interruttori selettivi di tipo elettromeccanico	68
9.6.19	La regolazione degli interruttori selettivi a microprocessore	70
9.6.20	Selettività mista	71
9.6.21	Esempi di selettività	72
9.6.22	Protezione serie (o di "back-up" o protezione di sostegno)	78
9.6.23	Criteri di scelta di un interruttore automatico	83
9.6.24	L'intervento automatico su sovraccarico e cortocircuito	83
9.6.25	Scelta della corrente nominale	85
9.6.26	Scelta delle caratteristiche di limitazione delle sollecitazioni di cortocircuito	85

9. Dispositivi di manovra e protezione

9.1 Classificazione delle apparecchiature

9.1.1 Classificazione in base alle funzioni svolte

Fondamentalmente un apparecchio elettrico deve assolvere 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. 9.1 - Segni grafici di apparecchi di manovra e di relè termico

9.1.2 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 siano 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 è accumulata nel meccanismo stesso prima della manovra;

9.1.3 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.

9.1.4 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.

9.2 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.

9.2.1 Sezionatore

La Norma CEI 17-11, art. 2.1.4 dà 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 d'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’.

9.2.2 Interruttore

A seconda del tipo di utilizzo gli interruttori sono oggetto di diversi fascicoli normativi. Di seguito saranno 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 d'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.....”.

9.2.3 Fusibile

Dispositivo d'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.

9.2.4 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’.

9.2.5 Contattore e 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”.

8.2.6 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.

9.3 Fusibili

9.3.1 Generalità

Il fusibile è un dispositivo di protezione contro i sovraccarichi e i corto circuiti. E' caratterizzato da un'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.

9.3.2 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 secondo l'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.

9.3.3 Principio di funzionamento

Il fusibile può intervenire a causa di un sovraccarico o a causa di un corto circuito. Alla presenza di sovraccarichi i tempi d'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. Alla 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 è raggiunta in tempi molto brevi e si hanno così dei punti deboli in cui avvengono più fusioni con formazione di diversi archi, in serie tra loro, che facilitano l'interruzione della corrente.

L'estinzione dell'arco è 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 è raggiunto. Il fusibile dimostra di possedere una notevole azione limitatrice sulla corrente di corto circuito.

9.3.4 Grandezze nominali

Tensione nominale U_n - è il massimo valore della tensione 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 avvengano 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).

Corrente nominale I_n	Tempo convenzionale	Correnti convenzionali	
		I_f	I_{nf}
(A)	(h)		
$I_n < 16A$	(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. 9.1a - Correnti convenzionali di fusione I_f non fusione I_{nf} dei fusibili gG e gM.

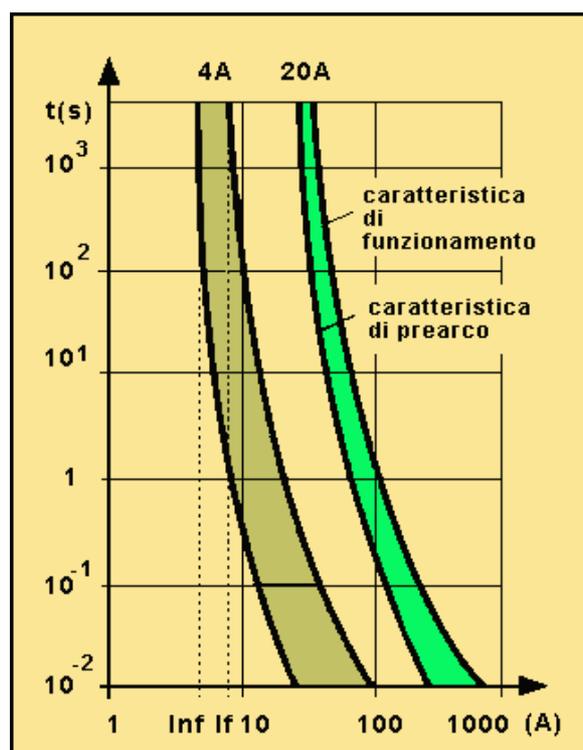
Potere d'interruzione - valore massimo di corrente che il fusibile è in grado di interrompere in condizioni specificate.

Tipo impianto	Tensione nominale (V)	Potere di interruzione minimo (kA)
Domestico	$U_n < 240$	6
	$240 \leq U_n \leq 500$	20
Industriale	$U_n < 660$	50
	$U_n < 750$	25

Tab. 9.1.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. 9.2) i fusibili sono 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.9.2).

Importante, per un corretto uso dei fusibili, è conoscere dai costruttori la temperatura alla quale sono riferite le caratteristiche d'intervento. Normalmente ci si riferisce alla temperatura ambiente di 20°C (caratteristiche normalizzate), per temperature diverse i tempi d'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. 9.2a - Caratteristica di intervento di un fusibile gG

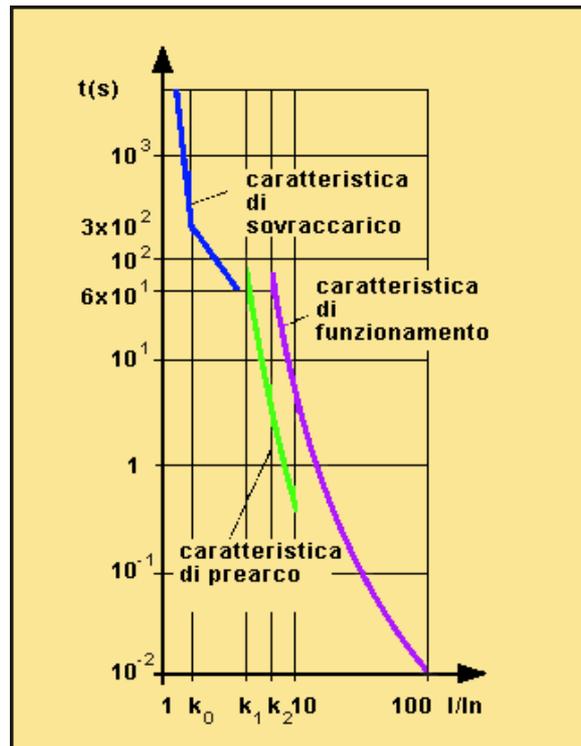


Fig. 9.2b - Caratteristica di intervento di un fusibile aM

- **Energia specifica (impulso Termico)** - rappresenta il massimo valore di energia passante durante il tempo di intervento del fusibile le tabelle 9.1c e 9.1d 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. 9.1c - Cartucce aM. Valori massimi di energia passante per tempi non superiori a 0,01 s

Corrente nominale I_n (A)	I^2t minimo (A ² s)	I^2t massimo (A ² s)
16	300	1 000
20	500	1 800
25	1 000	3 000
32	1 800	5 000
40	3 000	9 0000
50	5 000	16 0000
63	9 000	27 0000
80	16 000	46 0000
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

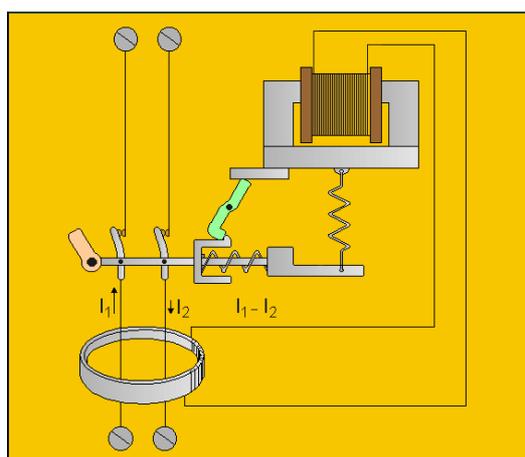
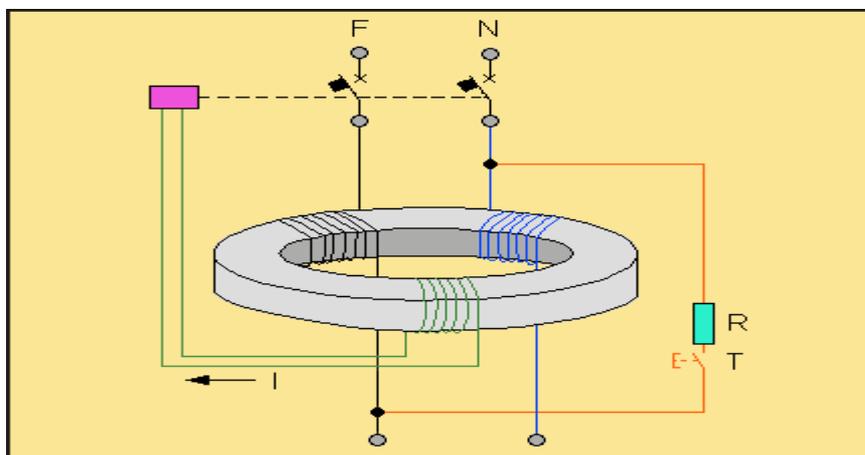
Tab. 9.1d - Cartucce gG. Valori minimi e massimi dell'energia specifica di prearco per tempi di 0,01 s

9.4 Interruttore Differenziale

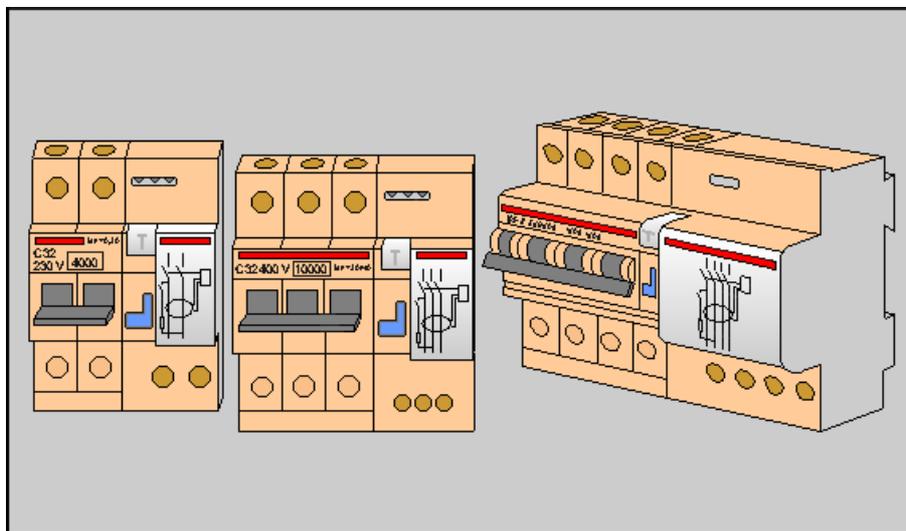
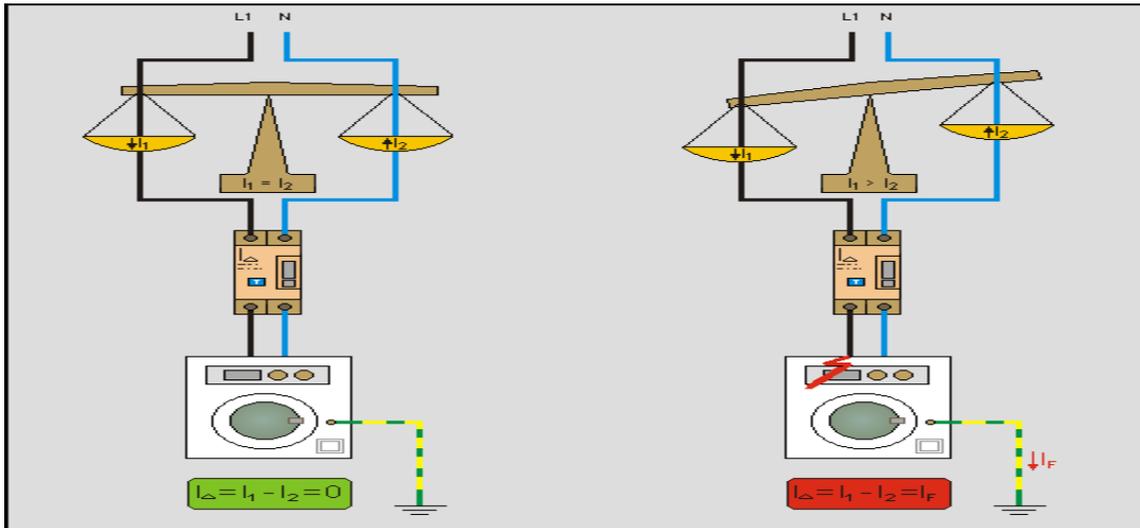
L'*interruttore differenziale per la protezione dai contatti diretti e indiretti* è un dispositivo in grado di aprire un circuito quando si manifesta una differenza di correnti superiore a un determinato valore limite in seguito ad un guasto a terra.

9.4.1 Principio di funzionamento

In figura 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 sono collegate in serie con la linea da proteggere, e da una bobina di rilevazione differenziale che agisce sull'organo di comando. Le due bobine sono avvolte nello stesso senso in modo che le forze magnetomotrici da esse generate, quando in condizioni normali sono attraversate da correnti uguali in valore efficace ma di verso opposto, siano uguali ed opposte, tali quindi da generare nel nucleo un flusso risultante nullo. Non si avrà perciò alcuna forza elettromotrice indotta di tipo trasformatore e il relè di sgancio non interverrà. Se l'isolamento dell'utilizzatore protetto dal dispositivo cede, una corrente di guasto I_g è convogliata verso terra e le correnti che circoleranno attraverso le due bobine non saranno più uguali in valore efficace e genereranno quindi una corrente differenziale $I_d = I_1 - I_2$. Il flusso magnetico risultante nel nucleo non sarà più nullo e la sua variabilità nel tempo indurrà nella bobina differenziale una forza elettromotrice che farà circolare la corrente I . Tale corrente, andrà a interessare l'organo di comando dello sganciatore differenziale provocando l'apertura del circuito guasto se la corrente differenziale supera il valore di soglia.



Caratteristiche costruttive e funzionamento dell'interruttore differenziale

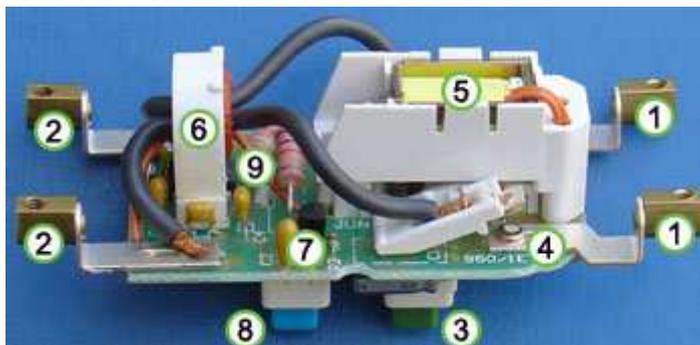


Interruttori differenziali

In un sistema trifase senza neutro la somma vettoriale delle tre correnti in assenza di guasto verso terra, anche alla 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 è superata dalla corrente differenziale la soglia d'intervento dello sganciatore. Nei sistemi trifase con neutro la somma vettoriale delle tre correnti è uguale e 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 $2,5I_{\Delta n}$. 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 d'intervento dell'interruttore differenziale (questa verifica deve essere eseguita 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.



Interruttore differenziale aperto

- | | |
|--|--|
| 1 Morsetti di ingresso | 2 Morsetti di uscita (verso il carico) |
| 3 Pulsante di inserimento | 4 Contatti di interruzione |
| 5 Solenoide che tiene chiusi i contatti | 6 Trasformatore di corrente (sensore) |
| 7 Circuito elettronico amplificatore | 8 Pulsante di test |
| 9 Filo (arancio) che alla pressione di test è attraversato da una corrente sbilanciata | |

Nei piccoli interruttori modulari per attivare lo sganciatore a basso consumo può essere sufficiente l'energia fornita dalla stessa corrente di guasto mentre per gli interruttori di taglia superiore, a causa delle maggiori energie di sgancio necessarie, può essere indispensabile ricorrere a un apposito amplificatore di segnale. L'amplificatore può essere di tipo meccanico, associato a uno sganciatore di basso consumo oppure di tipo elettronico con alimentazione ausiliaria derivata direttamente dal circuito protetto.

L'interruttore differenziale può essere utilizzato come protezione dai contatti indiretti, come protezione addizionale dai contatti diretti e come protezione contro gli incendi causati dagli effetti termici dovuti alle correnti di guasto verso terra.

Per operare una scelta oculata fra le numerose proposte offerte dai costruttori può essere utile conoscere le caratteristiche tecniche fondamentali regolamentate dalle norme di prodotto CEI EN 60947-2 e 61008.

9.4.2 Classificazione degli interruttori differenziali

Gli interruttori differenziali per usi domestici e simili devono ottemperare ai dettami normativi, le prescrizioni generali sono quelle della Norma CEI EN 61008-1 (CEI 23-42) per gli interruttori senza sganciatori di sovracorrente incorporati e della Norma CEI EN 61009-1 (CEI 23-44) per quelli con sganciatori di sovracorrente incorporati.

A seconda degli sganciatori di cui sono dotati, gli interruttori differenziali si dividono in:

- **interuttori differenziali puri**, interruttori senza sganciatori di sovracorrente incorporati, dotati del solo sganciatore differenziale che intervengono in modo automatico solo per guasti a terra;
- **interuttori differenziali magnetotermici**, interruttori con sganciatori di sovracorrente incorporati, costituiti da un interruttore automatico, da uno sganciatore differenziale e da uno sganciatore di massima corrente; servono per la protezione combinata dai guasti a terra e dalle sovracorrenti;
- **interuttori differenziali con toroide separato**, sono impiegati negli impianti industriali caratterizzati da forti intensità di corrente. Sono 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.

Un'importante distinzione viene anche fatta in funzione del comportamento dell'interruttore differenziale in presenza di deformazioni della forma d'onda della corrente rispetto a quella sinusoidale.

➤ Tipo AC



PAS improvvisi o lentamente crescenti

Gli interruttori **differenziali di tipo AC** sono stati i primi a essere introdotti sul mercato e ancora i più utilizzati per le applicazioni generali. **Sono idonei a rilevare correnti di guasto verso terra di tipo alternato sinusoidale applicate improvvisamente o lentamente crescenti alla frequenza di rete di 50 Hz.** Gli RCD (Residual Current Device) di tipo AC, quindi, **sono indicati in presenza di carichi lineari, quali le lampadine tradizionali o apparecchi riscaldatori elettrici privi di elettronica di controllo, oppure apparecchi non collegati a terra** (isolati in classe II).

Sono interruttori che funzionano correttamente entro i limiti stabiliti dalle norme solo in presenza di correnti di guasto verso terra di tipo alternato. Essi quindi intervengono correttamente per correnti di tipo sinusoidale applicate istantaneamente o lentamente crescenti. La particolare caratteristica del circuito magnetico, realizzato con materiali aventi cicli d'isteresi molto ripidi, li rende poco sensibili alle correnti verso terra con componenti continue. Il ciclo d'isteresi e il segnale di guasto si riducono rendendo poco probabile l'intervento del dispositivo per questi tipi di correnti. Sono idonei a proteggere gli usuali impianti che alimentano utenze di tipo termico o elettromeccanico e gli apparecchi con parti elettroniche ma che non comportano modificazioni significative della forma d'onda.

➤ Tipo A



AC + pulsanti unidirezionali improvvisi o lentamente crescenti

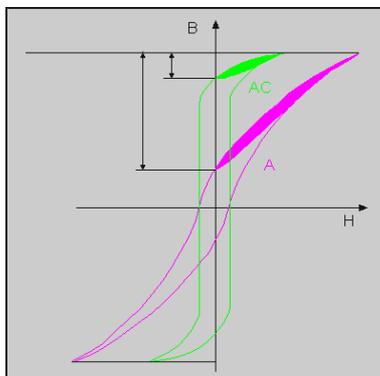
Gli interruttori differenziali di **tipo A**, sono idonei a rilevare **correnti alternate sinusoidali differenziali e correnti differenziali pulsanti unidirezionali applicate improvvisamente o lentamente crescenti, comprese quelle parzializzate o sovrapposte a una componente continua fino a 6 mA.**

Sono le forme tipiche delle correnti di guasto a terra degli apparecchi monofase contenenti diodi, ponti raddrizzatori di vario tipo, dimmer per la regolazione di lampade.

Questo non significa che gli RCD di tipo A rilevino la corrente differenziale continua, ma che la presenza di una componente continua sino a 6 mA, non altererà il comportamento dell'interruttore differenziale. Il valore di 6 mA è la massima corrente continua di guasto ammessa per gli apparecchi utilizzatori dotati di presa a spina ad uso domestico (IEC 61140).

Sono interruttori che funzionano correttamente entro i limiti stabiliti dalle norme in presenza sia di correnti di guasto verso terra di tipo alternato sia di tipo alternato con componenti pulsanti unidirezionali applicate istantaneamente o lentamente crescenti. Sono quindi adatti sia per le correnti di tipo sinusoidale sia per le correnti pulsanti con componente continua. Il circuito magnetico presenta un ciclo d'isteresi molto più inclinato e ristretto rispetto a quello del tipo AC. Un guasto verso terra alla presenza di correnti con componenti continue non modifica significativamente il ciclo di isteresi e il segnale di guasto è in grado di far intervenire correttamente il dispositivo differenziale.

Sono raccomandabili in impianti in cui sono installati circuiti raddrizzatori o componenti elettronici che possono determinare verso terra correnti raddrizzate. Essendo abbastanza arduo determinare la presenza di tali condizioni, nei casi più ambigui può essere conveniente installare tali tipi di dispositivi che sono, come si è detto, adatti anche alla protezione contro le usuali correnti di dispersione alternate sinusoidali.



Cicli di isteresi dei materiali magnetici utilizzati per la realizzazione di interruttori differenziali di tipo AC e di tipo A. Il circuito magnetico dei dispositivi di tipo A presenta un ciclo di isteresi molto più inclinato e ristretto rispetto a quello di tipo AC.

➤ **Tipo F**



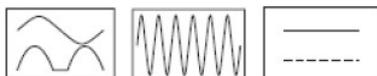
A + pulsanti con sovrapposta corrente cc o multifrequenza

Gli interruttori differenziali di tipo F, sono una evoluzione dei tipo A, hanno inoltre la capacità di rilevare e interrompere anche correnti differenziali composite multi frequenza fino a 1kHz, correnti pulsanti unidirezionali sovrapposte a una corrente continua livellata (smooth direct current) di 10mA.

Si tratta delle forme tipiche degli inverter monofase a frequenza variabile utilizzati per l'azionamento di motori, (elettrodomestici: lavatrici, condizionatori, pompe di calore).

L'immunità alla corrente differenziale continua è innalzata a 10 mA. Inoltre, i differenziali di tipo F, hanno una elevata immunità ai disturbi (tenuta agli impulsi di corrente di breve durata) contribuendo a risolvere il fastidioso problema degli scatti intempestivi che la presenza dei moderni elettrodomestici contribuisce a provocare.

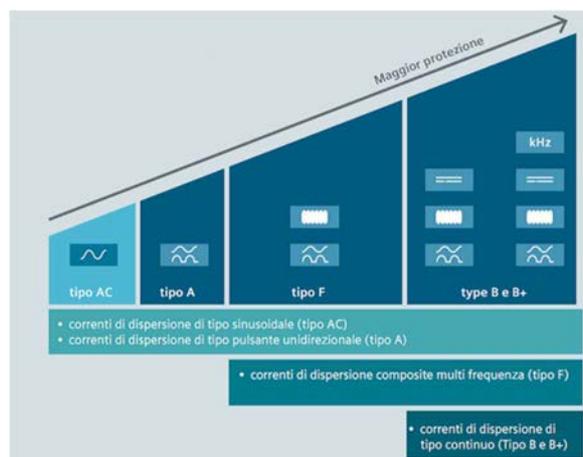
➤ **Tipo B**



F +

Gli interruttori differenziali di tipo B, estendono ulteriormente le prestazioni e sono in grado di coprire in pratica qualunque applicazione. Gli interruttori di tipo B sono sensibili anche alla corrente differenziale continua senza ondulazione, positiva o negativa, alla corrente differenziale alternata sino a 1 kHz, alla sovrapposizione di corrente differenziale alternata e corrente differenziale continua, alla corrente differenziale proveniente da raddrizzatori bifase e trifase. Le applicazioni sono prevalentemente ma non esclusivamente trifase e includono gli inverter per l'azionamento dei motori, i convertitori statici in genere, i sistemi di ricarica dei veicoli elettrici, gli apparecchi elettromedicali, gli impianti fotovoltaici, i sistemi di accumulo.

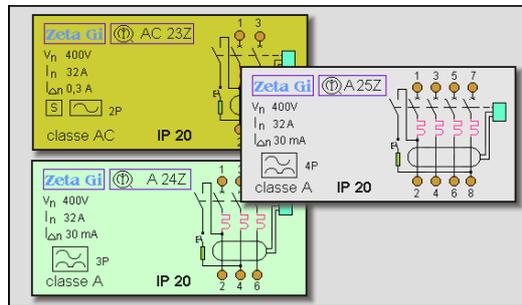
Sono dispositivi che uniscono alle caratteristiche di intervento del tipo A anche la possibilità di interrompere correnti aventi la forma d'onda di figura, tipicamente presenti a valle di raddrizzatori trifase con collegamento a ponte di Graetz o a stella. In tali dispositivi sono in genere presenti due toroidi, il primo per rilevare le correnti di tipo alternato e pulsante unidirezionale, il secondo per rilevare quelle di tipo continuo. Essi sono necessari dove siano utilizzati apparecchi con alimentatori elettronici, negli impianti industriali su macchine dotate di azionamenti elettronici di potenza;



Riepilogo dei principali riferimenti normativi, a livello nazionale, in cui viene richiesto o raccomandato l'uso di uno specifico tipo di interruttore differenziale in tutti i casi in cui l'interruttore è da intendersi necessario (per un impianto TT i differenziali sono sempre obbligatori).

Applicazione	Riferimento normativo	Tipo di RCD
Lavatrici e condizionatori fissi nelle abitazioni	CEI 64-8, art. 37.4.1	F (raccomandato)
Ricarica in corrente alternata dei veicoli elettrici tramite prese industriali o domestiche (modo di ricarica 1 o 2)	CEI 64-8, art. 722.531.1	A
Ricarica in corrente alternata dei veicoli elettrici tramite prese o connettori conformi alla norma CEI EN 62196 (modo di ricarica 3)	CEI 64-8, art. 722.531.1	B, oppure A purché in congiunzione con un dispositivo RDC-DD per la rilevazione della corrente differenziale continua
Locali ad uso medico di gruppo 1 e gruppo 2	CEI 64-8, art. 710.413.1.3	A o B, in funzione della possibile corrente di guasto
Sistemi Statici di Continuità (UPS)	CEI EN 62040-1, art. 6.4.3.102.4	A o B, secondo le istruzioni, se è possibile una corrente di guasto verso terra con componenti continue
Sistemi Statici di Trasferimento (STS)	CEI EN 62310-1, art. 4.1.10	A o B, secondo le istruzioni, se è possibile una corrente di guasto verso terra con componenti continue
Lato c.a. degli impianti fotovoltaici senza separazione elettrica	CEI 64-8, art. 712.413.1.1.1.1	B, a meno che il convertitore non sia esente per costruzione dall'iniettare a terra correnti continue di guasto
Sistemi di conversione elettronica di potenza e loro componenti	CEI EN 62477-1, art. 4.4.8	A o B, secondo le istruzioni, se è possibile una corrente di guasto verso terra componente continua > 6 mA
Azionamenti a velocità variabile	CEI EN 61800-5-1, art. 6.3.6.7	A o B, secondo le istruzioni, se è possibile una corrente di guasto continua verso terra
Apparecchiature per la saldatura ad arco in ambienti a maggior rischio di scossa elettrica	CEI EN 60974-9, art. 7.10	B (RCD "sensibile a tutti i tipi di corrente") (consigliato)

- **differenziali immuni da interventi intempestivi** , apparecchi immuni da scatti intempestivi a causa di onde di corrente di tipo impulsivo che circolano attraverso le capacità in aria che si creano fra l'impianto e la terra, causate da sovratensioni di origine atmosferica o da manovre di grossi carichi sulla rete di alimentazione



Esempi di targhe

Un'ulteriore classificazione degli interruttori differenziali è basata sul ritardo di apertura dello sganciatore differenziale:

- **differenziali di tipo generale G**, privi di ritardo intenzionale poiché l'apertura avviene istantaneamente solo con il ritardo dovuto alla velocità di allontanamento dei contatti;
- **differenziali di tipo selettivo S** , con intervento intenzionalmente ritardato in sede costruttiva, sono utilizzati quando occorre realizzare la selettività differenziale tra dispositivi in cascata

Nel campo degli interruttori differenziali di potenza esistono anche quelli **regolabili**, l'operatore può tarare il dispositivo scegliendo il tempo d'intervento tra diversi valori prefissati (per apparecchi rispondenti alla norma CEI EN 60947-2).

9.4.3 Caratteristiche funzionali degli interruttori differenziali

Due delle principali norme da consultare nello studio dei dispositivi automatici differenziali sono le Norme CEI EN 61009-1 e CEI EN 61008-1, che trattano le prescrizioni generali degli interruttori differenziali rispettivamente con e senza sganciatori di sovracorrente incorporati per installazioni domestiche e similari. Al punto 5. di entrambe le norme è possibile consultare le grandezze caratteristiche di un interruttore differenziale che il costruttore deve assegnare. Esse sono:

- **numero dei poli:** 2P, 3P, 4P;
- **tensione nominale (V_n):** valore di tensione per la quale l'interruttore è destinato a funzionare. Non deve essere superiore a 250 V, valore preferenziale 230 V
- **corrente nominale (I_n):** valore di corrente che l'apparecchio è in grado di portare ininterrottamente. La scelta dipende dal valore della corrente d'impiego del circuito; per impianti domestici e similari i valori più comuni sono 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125 A
- **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, 1 A.
Si dicono a **bassa sensibilità** gli apparecchi con $I_{dn} > 0,03$ A, ad **alta sensibilità** quelli con $I_{dn} < 0,03$ A
- **frequenza nominale:** frequenza di esercizio per la quale l'interruttore differenziale è previsto e alla quale si riferiscono le altre grandezze. Valore preferenziale 50 Hz;
- **corrente differenziale nominale di non intervento I_{dno}**
(Norme CEI EN 61008-1 e CEI EN 61009-1)
valore efficace di corrente differenziale che sicuramente non provoca l'intervento del dispositivo, per correnti alternate sinusoidali il 50% della corrente differenziale nominale di intervento.
Il valore normale di tale corrente corrisponde a $0,5 I_{dn}$: ciò significa che l'interruttore deve poter garantire il non funzionamento fino a correnti differenziali pari al 50% del valore nominale, lasciando perciò "scoperto" l'intervallo $[0,5 I_{dn}; I_{dn}]$, all'interno del quale l'interruttore può intervenire;



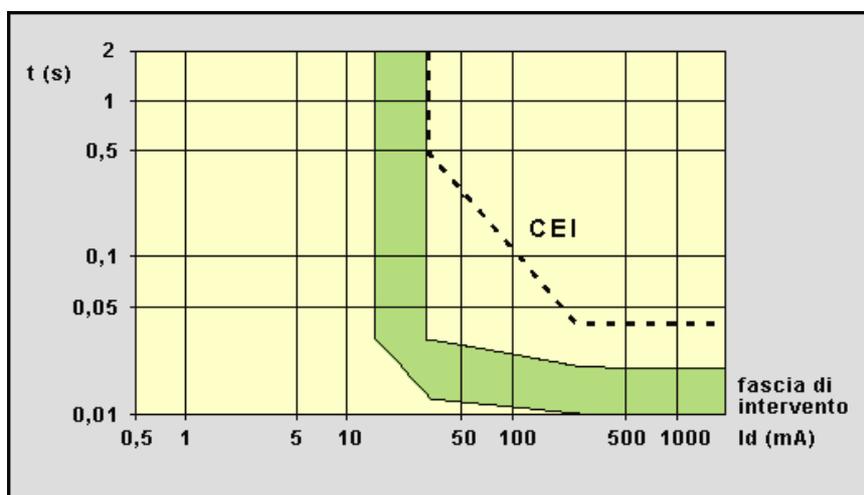
Limiti d'intervento e di non intervento dei dispositivi differenziali

- **tempo d'intervento:** è l'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 d'intervento in secondi per			
		$I I_{Dn}$	$2 I_{Dn}$	$5 I_{Dn}$	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	---

Correnti nominali differenziali normalizzate e tempi massimi d'intervento degli interruttori differenziali

- **caratteristica d'intervento:** è la curva, tracciata sul piano cartesiano, che lega il tempo d'intervento t del dispositivo, alla corrente differenziale I_d . Definisce i valori corrente differenziale/tempo d'intervento che caratterizzano il funzionamento del dispositivo.



Caratteristiche d'intervento di un interruttore differenziale

- **potere di chiusura e di interruzione differenziale nominale I_{dm}**
(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_{dm} è $10 I_n$ oppure 500A scegliendo il valore più elevato.
- **potere di chiusura e di interruzione nominale I_m**
(Norma 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}**
(Norma CEI EN 61008-1)
è il valore di corrente di cortocircuito che un interruttore differenziale può sopportare senza che degradino le prestazioni o venga pregiudicata la sua funzionalità quando è coordinato con un interruttore o fusibile (SCPD - Short Circuit Protective Device) in grado di garantire la protezione aggiuntiva dalle sovracorrenti, 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}**
(Norma 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} .
- **metodo di installazione;**
- **metodo di connessione;**
- **gamme di temperatura dell'aria ambiente:** le gamme normali di temperatura dell'aria ambiente sono da -5°C a $+40^{\circ}\text{C}$ e da -25°C a $+40^{\circ}\text{C}$;
- **grado di protezione:** definito in base alla Norma IEC 60529, che fornisce indicazioni riguardo la protezione degli involucri per materiale elettrico contro penetrazione di corpi solidi estranei (tra cui la polvere) e contro penetrazione di acqua;

- **Comportamento dell'interruttore differenziale in caso di difetto nella tensione di rete:** nel caso in cui le funzioni di rivelazione, valutazione o interruzione dell'interruttore differenziale dipendano dalla tensione di rete;
- **tempo di ritardo:** se applicabile: nel caso di interruttore differenziale tipo S, in cui si può stabilire un ritardo intenzionale;
- **comportamento in presenza di correnti differenziali pulsanti unidirezionali:** dipende dal tipo di interruttore differenziale (tipo AC, A, B, F).

9.4.4 I vari tipi d'interruttori differenziali

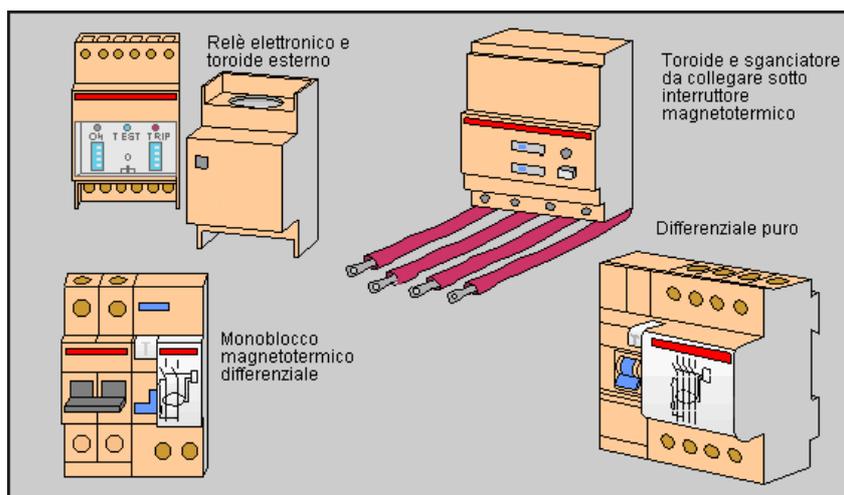
In relazione ad alcuni parametri caratteristici si possono individuare diversi esemplari d'interruttori differenziali. In tabella sono raccolte le più diffuse tipologie di prodotto offerte dal mercato.

<i>Parametri di classificazione</i>	<i>Tipologia</i>
Protezione dalle sovracorrenti	Senza sganciatori di sovracorrente (Puri)
	Magnetotermico - differenziali
	Adattabili (DDA) a interruttori magnetotermici a cura dell'installatore
Destinazione d'uso	Uso domestico e similare
	Uso generale
Modalità di intervento in funzione della tensione di rete	Con funzionamento dipendente
	Con funzionamento indipendente
Tipo di corrente di dispersione rilevata	Tipo AC
	Tipo A
	Tipo B
Ritardo d'intervento	Con ritardo intenzionale (selettivi)
	Senza ritardo intenzionale
Regolazione	Regolabili
	Non regolabili
Componibilità	Monoblocco
	Assiemabili

Classificazione degli interruttori differenziali

9.4.5 Protezione dalle sovracorrenti

Gli interruttori differenziali devono essere provvisti di protezione contro le sovracorrenti. Riguardo a tale protezione si suddividono in differenziali senza sganciatore magnetotermico (differenziali puri), adattabili (assiembabili dall'installatore) o con protezione magnetotermica incorporata.

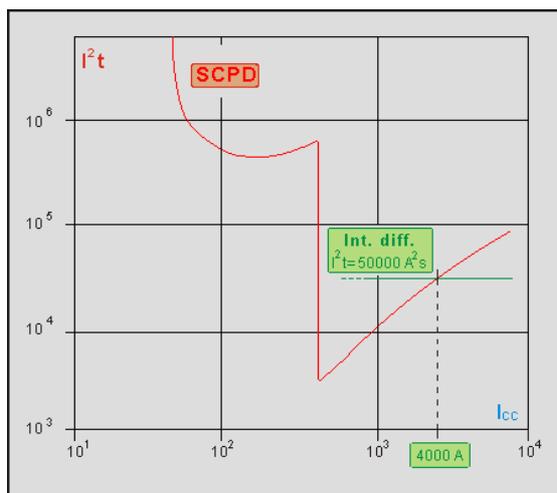


Le varie tipologie di interruttori differenziali

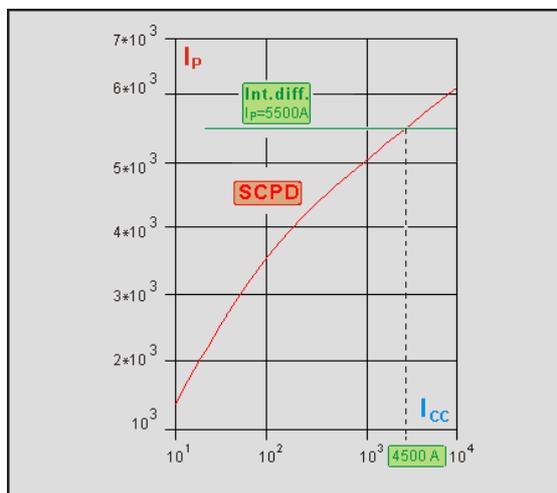
9.4.6 Interruttori differenziali puri

Quando l'interruttore differenziale è puro (senza sganciatori di sovracorrente incorporati) deve essere protetto contro i sovraccarichi e i cortocircuiti. Le norme (CEI EN 61008-1) stabiliscono le prove che il costruttore deve eseguire per stabilire il corretto coordinamento tra l'interruttore differenziale e il dispositivo di protezione contro il cortocircuito (SCPD - Short Circuit Protective Device, indifferentemente un fusibile o un interruttore automatico). Gli interruttori differenziali puri associati ad opportuni SCPD, devono infatti poter sopportare i valori di energia specifica passante (I^2t) e di corrente di picco (I_p) che sono dichiarati dal costruttore. L'SCPD deve cioè essere scelto con caratteristiche di limitazione dell'energia specifica passante I^2t e della corrente di picco I_p non superiori a quelli specificamente dichiarati dal costruttore per l'interruttore differenziale.

Ad esempio, con riferimento alle figure seguenti, confrontando le caratteristiche di limitazione dell'SCPD coi valori di I^2t (50000 A²s) e di I_p (4500 A) sopportati dall'interruttore differenziale, si può rilevare il valore massimo di corrente (4000 A) per il quale il dispositivo differenziale risulta protetto contro il cortocircuito.

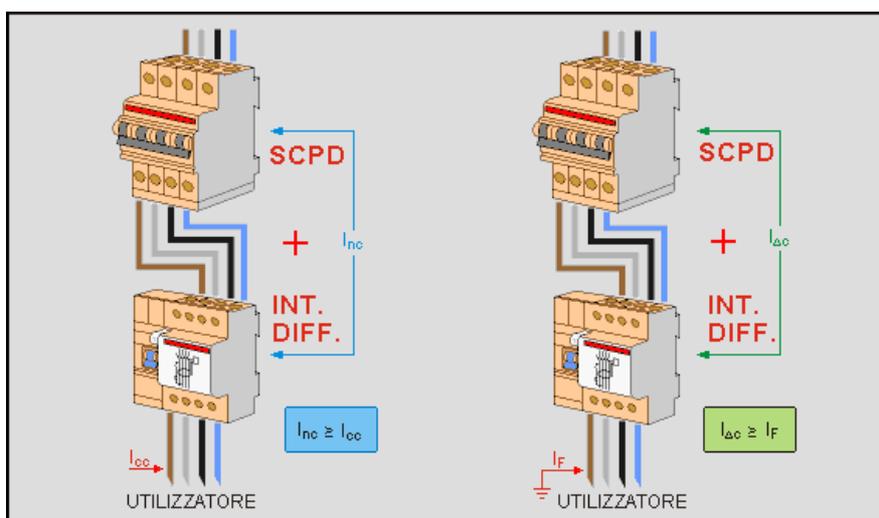


Coordinamento dell'interruttore differenziale con il dispositivo di protezione contro il cortocircuito (SCPD).
Verifica dell' I^2t



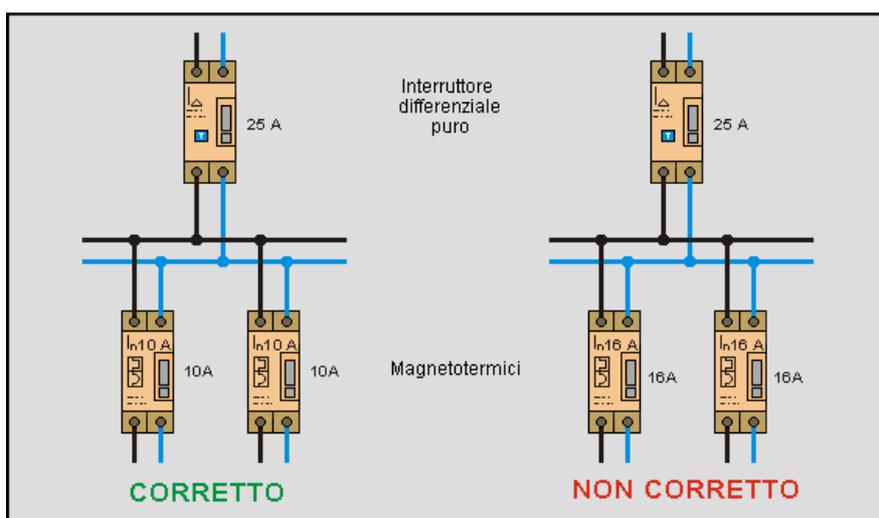
Coordinamento dell'interruttore differenziale con il dispositivo di protezione contro il cortocircuito (SCPD).
Verifica del valore di picco della corrente di cortocircuito limitata dallo SCPD

All'associazione SCPD e interruttore differenziale il costruttore fornisce il valore della corrente di cortocircuito nominale condizionale I_{nc} e della corrente di cortocircuito nominale condizionale differenziale $I_{\Delta c}$, valori che non devono essere rispettivamente inferiori alla corrente di cortocircuito I_{cc} presunta immediatamente a valle dell'interruttore differenziale e alla massima corrente di guasto a terra I_F nel punto di installazione (figura sotto). Le due verifiche sono necessarie nei sistemi di tipo TN perché la corrente di guasto verso terra presenta le caratteristiche di una vera e propria corrente di cortocircuito (che può assumere valori anche molto elevati ad esempio nel quadro generale immediatamente a valle di trasformatori di grande potenza). Nei sistemi TT, invece, dove la corrente di guasto a terra è limitata dalla resistenza di terra del neutro e dalla resistenza dell'impianto di terra dell'utente, è generalmente sufficiente verificare solo la prima condizione.



Coordinamento dell'interruttore differenziale combinato con un dispositivo di protezione contro il cortocircuito (SCPD)

In aggiunta alla protezione contro i cortocircuiti deve essere prevista anche una protezione contro i sovraccarichi. Nella figura seguente è riportato un esempio di coordinamento corretto e scorretto dell'interruttore differenziale puro con opportuni dispositivi di protezione contro il sovraccarico. In ogni caso il costruttore deve fornire indicazioni per la corretta scelta di uno o più dispositivi idonei alla protezione contro le sovracorrenti.

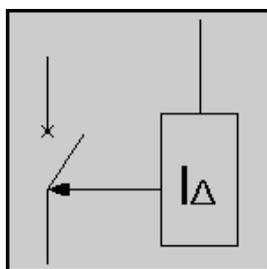


Esempio di coordinamento fra interruttore differenziale puro e dispositivi di protezione contro il sovraccarico

Nel secondo caso la corrente nominale (I_n) dell'interruttore differenziale (valore di corrente che l'apparecchio è in grado di portare ininterrottamente) è inferiore alla somma delle correnti nominali dei magnetotermici, nell'ipotesi di carichi con f.d.p. uguali o leggermente diversi, per cui nel differenziale potrebbe circolare una corrente maggiore di 25A non sopportabile dall'interruttore stesso.

9.4.7 Interruttori differenziali per uso domestico e similare

Sono apparecchiature destinate a un'utenza non esperta e per questo motivo sono normalmente di tipo monoblocco con protezione magnetotermica incorporata oppure adattabili, del tipo assemblabile direttamente dall'installatore (norma EN 61009). Gli interruttori differenziali con sganciatore magnetotermico incorporato svolgono la doppia funzione di protezione delle condutture e di se stessi eliminando quindi tutte le problematiche inerenti il coordinamento SCPD - interruttori differenziali puri. I blocchi differenziali adattabili devono essere cablati con un idoneo interruttore magnetotermico direttamente dall'installatore conformemente alle istruzioni fornite dal costruttore. Il dispositivo svolge la funzione di rilevazione della corrente differenziale e di comando del cinematismo di sgancio dell'interruttore di protezione dalle sovracorrenti. A cura del costruttore deve essere impedito l'accoppiamento di interruttori automatici aventi una determinata corrente nominale con un blocco differenziale a corrente massima inferiore e con blocchi differenziali aventi un numero di poli maggiore. L'assemblaggio dei due componenti deve in ogni caso essere facile e sicuro e deve essere impedito un montaggio scorretto. L'accoppiamento deve avvenire una sola volta e, per evitare modifiche all'insieme tali da comprometterne la sicurezza, la separazione tra i due blocchi deve essere possibile solo rompendo o danneggiando in modo evidente gli elementi di fissaggio. Sul blocco differenziale deve essere riportato in modo visibile, anche dopo il montaggio, il simbolo riportato in figura. Le caratteristiche del prodotto assemblato si presentano identiche al tipo monoblocco eliminando anche in questo caso la necessità di particolari verifiche per quanto concerne il coordinamento con l'SCPD.



Simbolo che deve essere riportato sui blocchi differenziali assemblabili con interruttore magnetotermico e che deve essere ben visibile anche dopo il montaggio.

9.4.8 Interruttori differenziali per uso generale

Gli interruttori differenziali per uso generale devono essere conformi alle norme CEI EN 60947-2. Le esigenze di sicurezza, congiuntamente a quelle di continuità di servizio, ne hanno favorita la diffusione, soprattutto dispositivi differenziali di tipo elettronico, negli ambienti di tipo industriale. Normalmente sono di tipo regolabile e quindi possono essere installati solo in impianti condotti da personale addestrato. La regolazione a gradini o continua sia della corrente differenziale sia dei tempi d'intervento li rende particolarmente flessibili e adatti a realizzare la selettività di intervento.

9.4.9 Interruttori differenziali a funzionamento dipendente o indipendente dalla tensione di rete

La protezione delle persone può essere attuata solo con apparecchi in grado di funzionare anche quando, interrompendosi il neutro, ma alla presenza di tensioni pericolose, può mancare l'alimentazione a eventuali dispositivi di amplificazione. Con gli sganciatori differenziali a relè polarizzato siamo in grado di ottemperare a tale necessità mentre questo non è solitamente possibile con interruttori di tipo elettronico. L'uso di tali dispositivi è consentito solo se installati su circuiti (ad esempio circuiti terminali protetti da differenziali elettronici ad alta sensibilità da 10 mA) protetti da interruttori differenziali con sganciatori a relè polarizzato. L'impiego dei dispositivi di tipo elettronico è previsto dalle norme che però richiedono dispositivi di apertura in caso di mancanza o abbassamento della tensione di rete e l'impossibilità di richiusura automatica al ritorno della stessa. Tali prerogative se da un lato forniscono una sufficiente garanzia di sicurezza dall'altro impediscono la diffusione di tali tipi di sganciatori elettronici problemi legati alla necessità di dover riarmare l'interruttore ad ogni interruzione della rete di alimentazione.

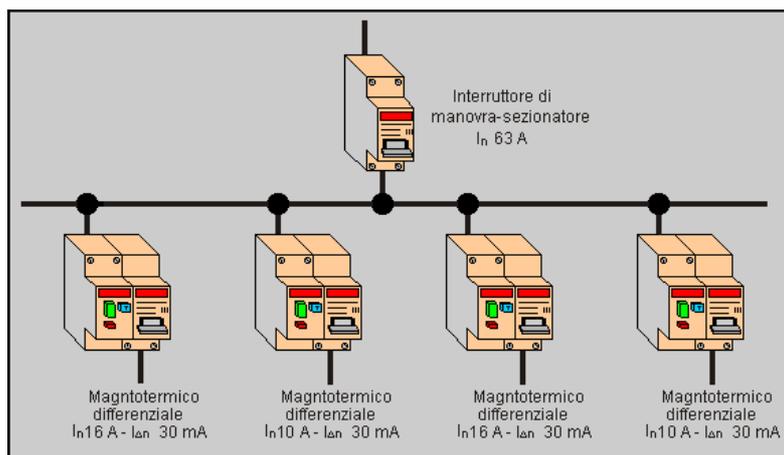
9.4.10 Selettività tra interruttori differenziali

La selettività di un sistema di protezione presuppone, in caso di guasto, che a intervenire sia il dispositivo più vicino al punto di guasto mentre il resto dell'impianto deve continuare a funzionare regolarmente. La selettività differenziale può essere orizzontale o verticale.

Selettività orizzontale

Per avere una selettività orizzontale è necessario evitare l'uso di interruttori differenziali in cascata (suddivisione dei carichi).

Per garantire la selettività orizzontale è sufficiente suddividere e proteggere i circuiti singolarmente affinché, in caso di guasto, sia posto fuori servizio solo il circuito effettivamente interessato dalla corrente di dispersione.



Esempio di selettività orizzontale fra interruttori differenziali

Se ogni circuito è protetto singolarmente da un proprio interruttore differenziale magnetotermico in caso di guasto interviene soltanto l'interruttore del circuito interessato dal guasto.

Selettività verticale

Devono essere soddisfatte 3 condizioni.

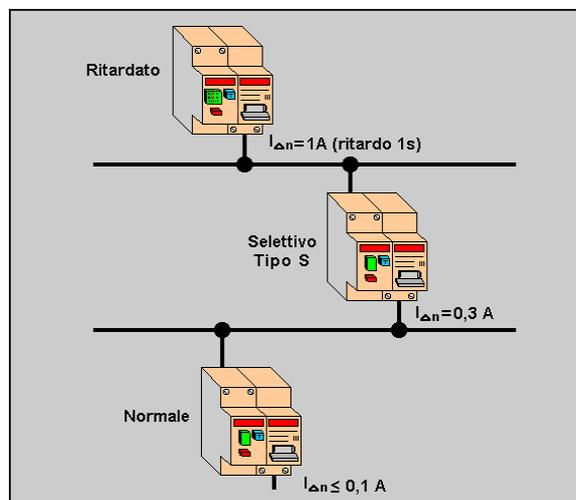
1. Selettività amperometrica: il valore di sensibilità del differenziale collegato a monte ($I\Delta N_1$) deve essere maggiore del doppio della sensibilità del differenziale a valle ($I\Delta N_2$).

2. Selettività cronometrica: il differenziale collegato a monte (t_1) non deve agire prima del differenziale a valle (t_2) per qualsiasi valore corrente, in modo tale che l'interruttore posto a valle completi la sua apertura prima che intervenga quello situato a monte. I normali differenziali agiscono immediatamente, tuttavia i differenziali selettivi (tipo "S" o ritardati) hanno un tempo di ritardo.

3. Selettività in base al tipo: per garantire la selettività verticale, il tipo di differenziale a monte deve essere migliore o uguale al differenziale installato a valle. A causa della maggiore esigenza delle protezioni differenziali negli impianti, sono richieste sempre maggiori protezioni di tipo "A" e di tipo "B", il che rende necessario rispettare la selettività verticale in base al tipo installato a valle. In pratica, **il dispositivo posto a monte deve avere una sensibilità da 2 a 3 volte inferiore con un basso tempo di intervento e $I\Delta N$ almeno 4 volte superiore a quello che si trova a valle.**

SELETTIVITA' A TRE LIVELLI		
SELETTIVITA' A DUE LIVELLI		
1° Livello	2° Livello	3° Livello
Interruttore differenziale CEI EN 60947-2 Allegato B	Interruttore differenziale AC, A, B CEI EN 61009-1	Interruttore differenziale AC, A, B CEI EN 61008-1; CEI EN 61009-1
	30 mA tipo generale	NP
	300 mA tipo generale	NP
	100 mA tipo S	10 mA, 30 mA, tipo generale
	300 mA tipo S	10 mA, 30 mA, 100 mA, tipo generale
	500 mA tipo S	10 mA, 30 mA, 100 mA, tipo generale
	1 A tipo S	10 mA, 30 mA, 100 mA, 300 mA, tipo generale
300 mA 0,3 s (ritardo)	100 mA tipo S	10 mA, 30 mA, tipo generale
1 A 0,5 s (ritardo)	300 mA tipo S	10 mA, 30 mA, 100 mA, tipo generale

Fra due interruttori differenziali installati in serie, interessati cioè dalla stessa corrente di dispersione, è garantita la selettività verticale solo se il tempo massimo di intervento del dispositivo a valle è inferiore al tempo minimo di non intervento di quello posto a monte.



Esempio di selettività verticale fra interruttori differenziali

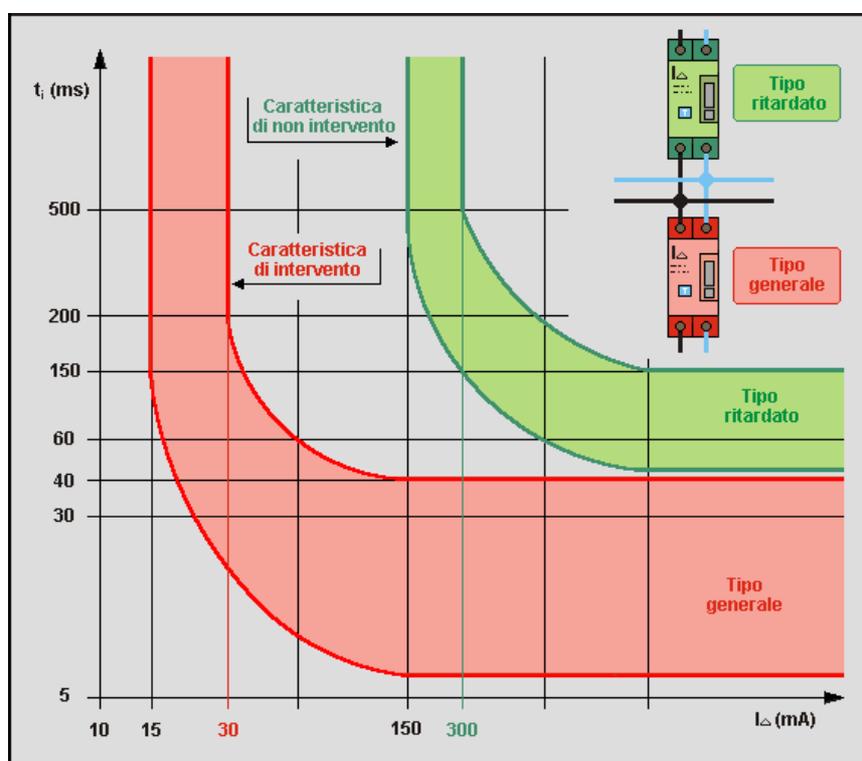
Per ottenere la selettività, la caratteristica tempo-corrente di non intervento del dispositivo installato a monte deve essere al di sopra di quella di intervento del dispositivo a valle e la corrente differenziale nominale del dispositivo a monte non deve essere inferiore a tre volte la corrente differenziale nominale del dispositivo installato a valle.

Per ottenere la selettività degli interruttori a uso domestico e similare le norme prevedono un interruttore con ritardo d'intervento intenzionale denominato di tipo S da installare a monte rispetto a quelli per uso ordinario che invece sono chiamati di tipo G.

Tipo	Tempi di intervento (s)	Corrente differenziale			
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	500 A
Selettivo (S)	massimo	0,50	0,20	0,04	0,04
	minimo	0,13	0,06	0,05	0,04
Ordinario (G)	massimo	0,30	0,15	0,04	0,04

Confronto dei tempi di intervento di interruttori differenziali di tipo selettivo (S) e di tipo ordinario (G)

Affinché la selettività sia garantita il dispositivo di tipo S deve però avere una corrente nominale differenziale di almeno tre volte superiore rispetto a quella del dispositivo installato a valle.



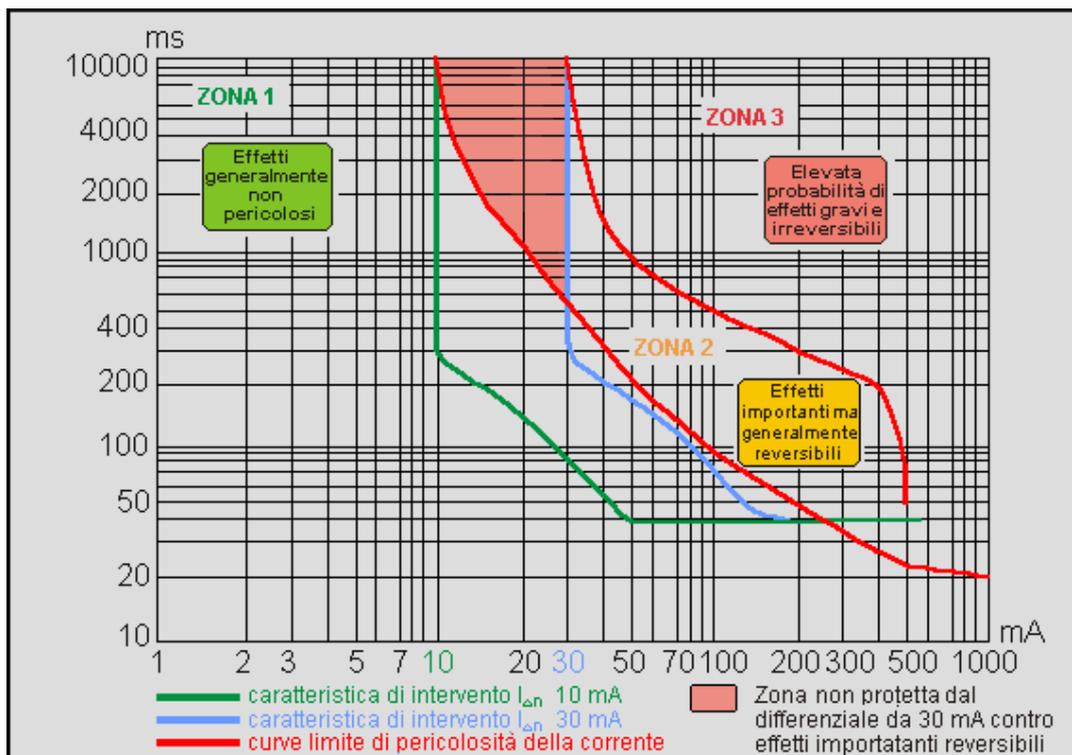
Selettività verticale tra interruttori differenziali

Per ottenere selettività devono essere verificate le seguenti condizioni:

- 1) *la caratteristica tempo-corrente di non intervento del dispositivo installato a monte deve situarsi al di sopra di quella di intervento del dispositivo a valle*
- 2) *La corrente differenziale nominale del dispositivo a monte non deve essere inferiore a tre volte la corrente differenziale nominale del dispositivo installato a valle*

Questa condizione non garantisce comunque la selettività per correnti di dispersione di alcune decine di ampere tipiche dei guasti franchi a terra. La selettività ad esempio non può essere ottenuta con differenziali di tipo S nei sistemi TN dove le correnti in gioco sono dell'ordine delle centinaia di ampere. In questi casi è necessario ricorrere a dispositivi con tempo di ritardo regolabile, utilizzabili in ambienti di tipo industriale solo alla presenza di personale addestrato. Gli interruttori differenziali a uso industriale essendo regolabili in corrente e tempo di intervento permettono di ottenere una completa selettività su più livelli.

Da non dimenticare comunque che il tempo di ritardo massimo non deve essere superiore nei sistemi TN a 0,4 s per utilizzatori mobili e 5s per le linee di distribuzione mentre nei sistemi TT a 1s. Come si può vedere dalla figura seguente non può invece essere ammesso nessun ritardo d'intervento se il dispositivo differenziale è impiegato anche per la protezione addizionale contro i contatti diretti.



Protezione addizionale contro i contatti diretti

Massimi tempi di intervento per dispositivi differenziali che attuano la protezione addizionale contro i contatti diretti confrontati con le curve di pericolosità della corrente elettrica. La caratteristica tempo-corrente del differenziale da 10 mA è contenuta interamente nella zona 1 caratterizzata da effetti fisiologici generalmente non pericolosi mentre il differenziale da 30 mA presenta una zona nella quale non c'è protezione contro il pericolo di arresto respiratorio e la tetanizzazione muscolare

9.4.11 Interventi intempestivi

In particolari circostanze gli interruttori differenziali possono essere soggetti a interventi intempestivi. Sono situazioni piuttosto fastidiose che l'utente, pregiudicando la sicurezza dell'impianto, potrebbe maldestramente risolvere disattivando l'interruttore differenziale. Le cause più comuni di un tal evento sono di seguito brevemente descritte.

9.4.12 Correnti di dispersione capacitiva verso terra

Piccole correnti verso terra di natura capacitiva sono fisiologiche anche in un impianto sano. Anche gli apparecchi sono soggetti a correnti di dispersione verso terra perché l'impedenza d'isolamento non è mai infinita. La presenza di filtri verso terra, sempre più diffusi per motivi di compatibilità elettromagnetica, può accentuare tale fenomeno. Se la corrente di dispersione supera determinati valori, il dispositivo differenziale può intervenire intempestivamente. Per limitare la corrente di dispersione, essendo la risultante della corrente verso terra la somma vettoriale delle correnti di dispersione sulle tre fasi, si possono suddividere i circuiti sulle varie fasi. In ogni caso, per evitare interruzioni indesiderate, la corrente di dispersione che interessa ogni singolo interruttore differenziale deve essere mantenuta inferiore alla metà della sua corrente nominale differenziale ripartendo eventualmente gli utilizzatori su più circuiti.

9.4.13 Sovratensioni di origine atmosferica o di manovra

Altre cause d'intervento inopportuno possono dipendere da sovratensioni atmosferiche o di manovra. In particolare quelle di origine atmosferica, soprattutto quelle dovute alla fulminazione diretta o indiretta delle linee aeree di alimentazione dell'impianto, sono le più insidiose. La sovratensione, caricando le capacità verso terra dell'impianto oppure provocando una scarica in aria, può determinare una corrente verso terra in grado di far intervenire il dispositivo differenziale. Tale fenomeno può essere particolarmente seccante nelle zone soggette a frequenti temporali. Gli interruttori ritardati di tipo S sono normalmente insensibili a tali fenomeni transitori e più adatti a resistere alle sovratensioni rispetto a quelli di uso generale.

9.4.14 Correnti di spunto

Correnti di avviamento elevate possono suscitare un flusso risultante a causa di possibili differenze tra gli avvolgimenti del toroide anche se la somma delle correnti è zero. fino a sei volte la corrente nominale dell'interruttore non ci sono normalmente problemi, per correnti superiori, con l'inserzione di trasformatori o la partenza di motori, si possono invece avere interventi intempestivi.

9.4.15 Correnti di dispersione alla presenza di armoniche

Le correnti capacitive verso terra aumentano alla presenza di armoniche (in particolare la terza) determinando anche in questo caso la possibilità di interventi intempestivi.

9.4.16 La scelta della corrente differenziale nominale

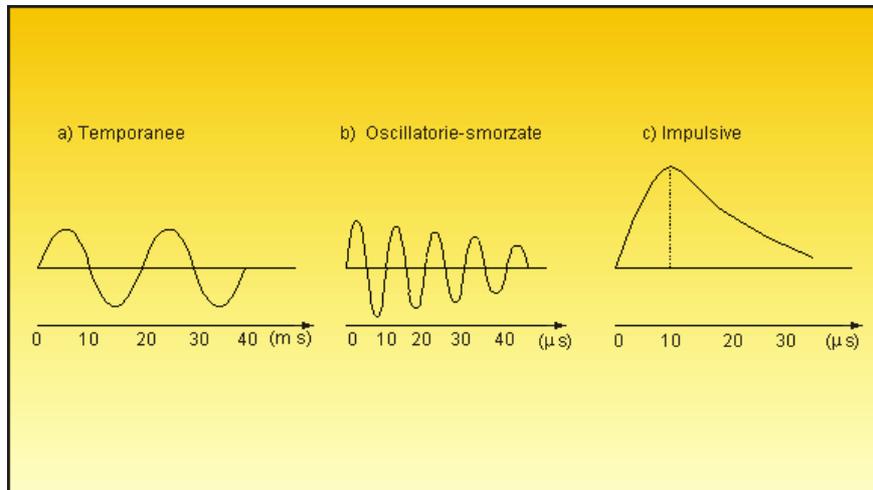
L'interruttore differenziale può essere convenientemente utilizzato per la protezione dai contatti indiretti, per una protezione addizionale contro i contatti diretti e contro l'innesco d'incendio. Per la protezione contro i contatti indiretti occorre distinguere tra sistema TT e sistema TN. Nel primo caso, sistema TT, è sufficiente verificare la nota relazione $I_{\Delta n} \leq U_L / R_E$ dove U_L è la tensione limite ammessa e R_E la resistenza di terra con un tempo massimo d'intervento del dispositivo differenziale di 1s. Nel sistema TN l'impiego del differenziale potrebbe non essere necessario essendo normalmente possibile soddisfare la nota relazione $I(0,4s) \leq U_0 / Z_s$ utilizzando interruttori magnetotermici (U_0 è la tensione di fase e Z_s l'impedenza dell'anello di guasto dell'ordine dei milliohm). L'interruttore differenziale potrebbe però essere utile per eliminare eventuali correnti, anche piuttosto elevate, che potrebbero permanere verso terra con la possibilità di formazione di punti caldi e inutile spreco di energia (interruttori con correnti differenziali nominali di 0,5-1A installati ad esempio sul quadro generale). Per la protezione addizionale contro i contatti diretti, un interruttore con corrente differenziale nominale minore o uguale a 30 mA può essere sufficiente per difendere le persone dai pericoli di contatti che provocano effetti fisiologici rilevanti ma generalmente reversibili mentre garantire una protezione maggiore si rendono indispensabili differenziali con correnti non superiori a 10 mA. Essendo questo tipo di dispositivi di tipo elettronico, come detto in precedenza sono installabili soltanto a valle di interruttori differenziali con relè polarizzato. Da ricordare infine che per quanto riguarda la protezione contro l'innesco d'incendio le norme prevedono una corrente nominale differenziale non superiore a 500 mA.

9.4.17 La tenuta alle sovratensioni degli interruttori differenziali

L'uso dell'interruttore differenziale ha assunto negli ultimi tempi, principalmente nei sistemi di tipo TT dopo l'introduzione della legge 46/90, una veste da prim'attore per quanto riguarda la protezione dai contatti indiretti. Sotto la spinta di un tale successo e in forza del costante progresso tecnologico degli ultimi anni le case costruttrici hanno sviluppato apparecchiature sempre più sofisticate ed affidabili che riescono a soddisfare la maggior parte delle esigenze impiantistiche. Con l'utilizzo sempre più frequente si sono però evidenziati anche i punti deboli di queste apparecchiature, punti deboli che devono essere attentamente valutati per un corretto esercizio dell'impianto. La tenuta degli interruttori differenziali alle sovratensioni di origine interna o esterna è uno dei punti critici da esaminare se si vuole evitare l'intervento intempestivo o, nella peggiore delle ipotesi, il danneggiamento irreversibile dell'interruttore differenziale.

9.4.18 Sovratensioni

Le sovratensioni possono essere di tipo impulsivo di origine esterna, conseguenti a fenomeni atmosferici, oppure temporanee o transitorie di origine interna, causate da guasti in BT o in AT/MT o da manovre sugli impianti.



a) sovratensione temporanea a frequenza di rete
b) sovratensione transitoria
c) sovratensione impulsiva di origine atmosferica

9.4.18.1 Sovratensioni di origine atmosferica

Le fulminazioni dirette o indirette sulla linea elettrica di distribuzione dovute a fenomeni temporaleschi possono dar luogo a sovratensioni, anche a fronte molto ripido e a frequenza dell'ordine delle decine di kilohertz, che generano impulsi di corrente attraverso le capacità costituite dai conduttori dell'impianto verso terra. Queste capacità, pur essendo piuttosto piccole, dell'ordine di qualche decina di nanofarad, determinano correnti di dispersione verso terra che in alcuni casi, rivelate dal toroide, possono provocare l'intervento indesiderato dell'interruttore differenziale.

9.4.18.2 Sovratensioni provocate da manovre sugli impianti

Sono sovratensioni della durata di pochi microsecondi, oscillatorie e smorzate, causate da manovre sull'impianto come ad esempio l'inserzione o la disinserzione di carichi. Possono essere generate dall'intervento sul lato BT di apparecchi di tipo limitatore oppure anche da interventi di dispositivi di protezione sulla parte primaria del trasformatore MT/BT. Anche in questo caso si può avere un intervento inopportuno dell'interruttore differenziale.

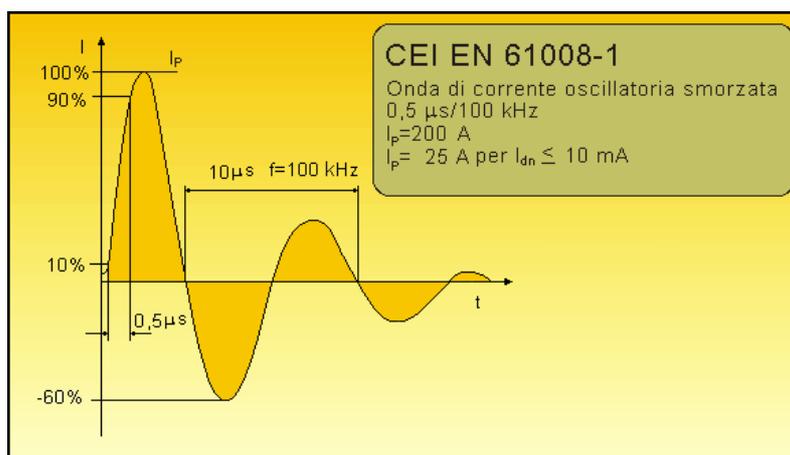
9.4.18.3 Sovratensioni temporanee

Sono sovratensioni a frequenza industriale, generate da guasti che interessano l'impianto in BT oppure in AT/MT, di durata relativamente lunga. Di queste sovratensioni devono tener conto i costruttori quando dimensionano gli isolamenti delle apparecchiature di bassa tensione.

9.4.19 La tenuta degli interruttori differenziali alle sovratensioni di manovra e di origine atmosferica

In relazione agli interventi indesiderati provocati da sovratensioni, gli interruttori differenziali sono classificati dalla norma CEI EN 61008-1 in differenziali di tipo generale con resistenza normale agli interventi intempestivi e interruttori differenziali a resistenza aumentata (selettivo - tipo S). Per accertare la tenuta alle sovratensioni di origine interna dovute a manovre sugli impianti sia i differenziali di tipo generale, sia quelli di tipo S sono sottoposti a dieci impulsi di corrente oscillatoria smorzata che presenta una forma d'onda con le caratteristiche di figura. L'impulso di corrente deve essere misurato e regolato usando un interruttore differenziale supplementare dello stesso tipo con la stessa I_n e la stessa I_{dn} per soddisfare le seguenti condizioni:

- Valore di picco: 200 A (ridotto a 25 A per $I_{dn} < 10\text{mA}$)
- Tempo virtuale alla cresta: 0,5 microsecondi
- Durata dell'onda oscillatoria seguente: 10 microsecondi
- Ogni picco successivo: circa il 60% di quello precedente

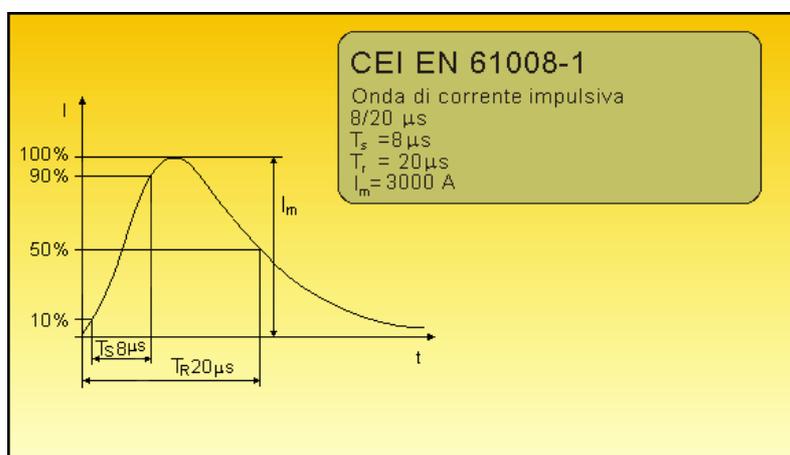


Forma d'onda di corrente oscillatoria smorzata per la prova di tenuta degli interruttori differenziali di tipo generale (tipo G) e con resistenza aumentata contro gli interventi intempestivi (tipo S)

Se l'interruttore differenziale è di tipo S, resistente agli interventi intempestivi anche in caso di sovratensioni di origine atmosferica, oltre agli impulsi di corrente con le caratteristiche della figura precedente è sottoposto anche a dieci impulsi di corrente con la forma d'onda della figura seguente.

La prova deve essere eseguita alle seguenti condizioni:

- Valore di picco: 3000 A
- Tempo virtuale alla cresta: 8 microsecondi
- Tempo virtuale all'emivalore: 20 microsecondi
- Picco della corrente inversa: inferiore al 30% del valore di picco

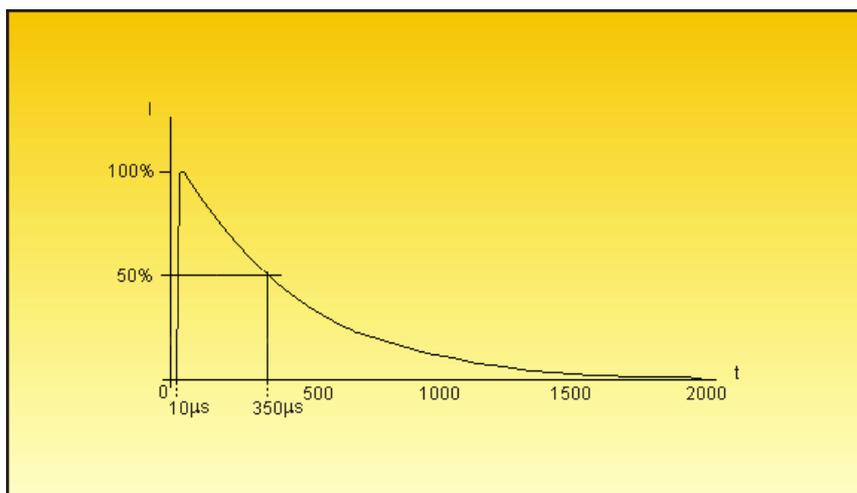


Forma d'onda di corrente impulsiva per la prova di tenuta degli interruttori differenziali con resistenza aumentata alle sovratensioni (tipo S)

Il dispositivo sottoposto agli impulsi di corrente deve resistere senza intervenire e senza danneggiarsi e, superata la serie di prove previste, deve continuare a funzionare correttamente alla sua I_{dn} . Le prove descritte valgono per tutti gli interruttori differenziali con (CEI EN 61009-1) o senza (“differenziali puri”) sganciatori di sovracorrente (CEI EN 61008-1). Le stesse prove con onda di tipo oscillante sono previste anche dalla Norma CEI EN 60947-2 che si occupa anche degli interruttori differenziali di tipo scatolato. Oltre a questa prova è però prevista anche una ulteriore prova con corrente impulsiva di forma 8/20 microsecondi e valore di picco di 250 A.

9.4.20 L'interruttore differenziale e la fulminazione diretta

Quanto fin qui descritto, si riferisce a sovratensioni di origine interna o di origine esterna dovute a una fulminazione indiretta avvenuta nelle vicinanze della linea. Se però il fulmine cade direttamente sulla linea che entra nell'edificio (fulminazione diretta) la sovratensione non possiede più la forma 8/20 microsecondi utilizzata per provare l'interruttore differenziale di tipo S, ma assume la forma 10/350 microsecondi con un valore di picco maggiore e porta con sé un'energia sufficiente a danneggiare irrimediabilmente anche il differenziale di tipo S.



Forma d'onda di corrente impulsiva tipica di una sovratensione originata da fulminazione diretta

Il problema non può essere ignorato quando la frequenza di fulminazione diretta della linea è elevata e non può più essere risolto installando dispositivi di tipo S ma solamente installando a monte dell'interruttore differenziale adeguati limitatori di sovratensione (SPD – Surge Protective Device).

9.4.21 Interruttori differenziali e sistema TN

Il vantaggio dei sistemi TN è quello di utilizzare i dispositivi di massima corrente per la protezione dai contatti indiretti: ricorrere agli interruttori differenziali vuol dire rinunciare a questo vantaggio. Bisogna ricordare che questi dispositivi possono essere utilizzati solo nei sistemi TN-S poiché nei sistemi TN-C l'uso combinato del conduttore di neutro e di protezione ne impedirebbe il funzionamento in caso di guasto a terra. Nei sistemi TN si è detto che un guasto franco a terra costituisce un corto circuito monofase a terra quindi la corrente differenziale corrisponde a una corrente di corto circuito. L'interruttore deve essere capace di interromperla poiché si è in presenza proprio di una corrente differenziale. Come per un interruttore magnetico contro il cortocircuito è stabilito il potere d'interruzione, così per l'interruttore differenziale deve essere specificato il potere d'interruzione differenziale. Se il dispositivo non è dotato di sganciatori di sovracorrente nei sistemi TN occorre verificare che il potere d'interruzione differenziale sia maggiore della corrente presunta di cortocircuito monofase a terra. In alternativa il dispositivo differenziale deve essere associato a un dispositivo di protezione di massima corrente capace di assicurare la protezione di tutto il circuito compreso il differenziale in situazione di cortocircuito (il coordinamento tra i vari dispositivi deve essere dichiarato dal costruttore).

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

9.5.1 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 sarà descritto, anche se brevemente, il sezionatore nelle sue parti e caratteristiche per poi passare a esporre le particolarità costruttive e funzionali degli interruttori di manovra-sezionatori.

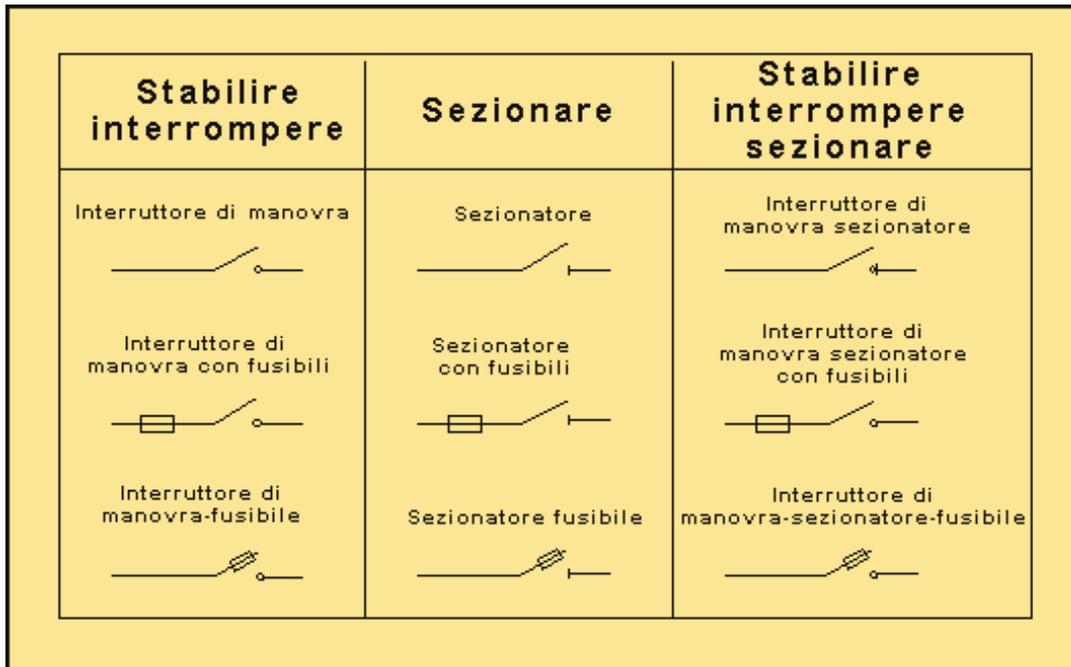
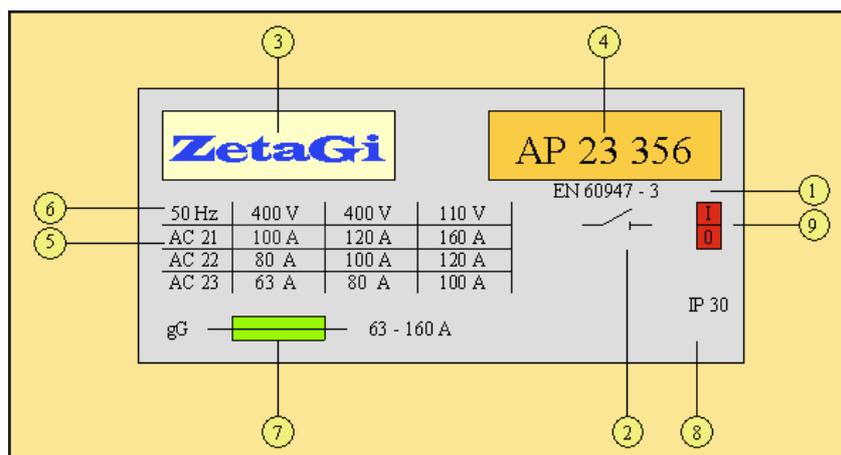


Fig. 9.3 - Definizioni e simbologia grafica dei sezionatori, interruttori di manovra - sezionatori e combinazioni con fusibili

9.5.2 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_n (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 è 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. 9.4 - 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 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 diverse coppie di valori.

9.5.3 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 a indicare la posizione assunta dai contatti mobili anche in condizioni anormali come ad esempio in caso di saldatura dei contatti. Un'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, a proposito del 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, sono 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.

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

Tab. 9.2 - Categorie di utilizzazione degli interruttori di manovra

9.5.5 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 alla 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 è 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 e quello comunemente denominato "aperto".

9.5.6 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 sono utilizzati per garantire la sicurezza in fase di sostituzione delle cartucce fusibili quando a 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.

9.5.7 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.

9.5.8 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.

9.5.9 Verifica della tenuta al corto circuito

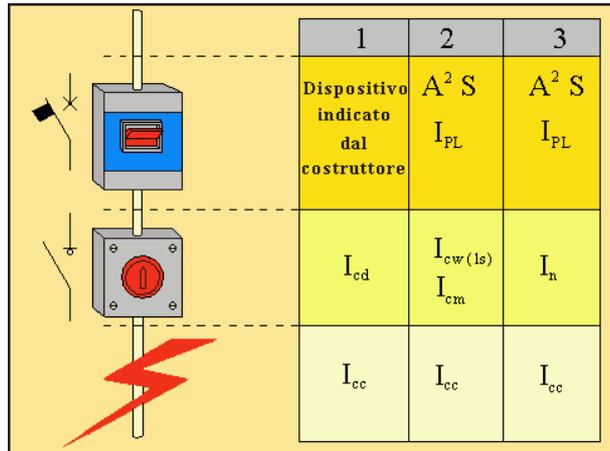


Fig. 9.5 - Condizioni di protezione dal corto circuito di un sezionatore

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 $I_{cw}(t)$ non sia inferiore alla sollecitazione termica di corto circuito I^2t 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:

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

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

3. Se il costruttore non fornisce dati di tenuta al corto circuito è necessario che $144 I_n^2$ non sia inferiore a I^2t lasciato passare nel circuito dai dispositivi di protezione. In questo caso non è 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 9.3.

$$I_n > \sqrt{A^2s/12} \text{ (protezione contro le sollecitazioni termiche da corto circuito)}$$

$$I_{PL}/12n \text{ (protezione contro la corrente di picco di corto circuito)}$$

n - rapporto tra il valore efficace e valore di picco indicato in tabella 9.3

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)	≤ 1,5	> 1,5 ≤ 3	> 3 ≤ 4,5	> 4,5 ≤ 6	> 6 ≤ 10	> 10 ≤ 20	> 20 ≤ 50	> 50
$n = \frac{I_P}{I_{cc}}$	1,41	1,42	1,47	1,53	1,7	2	2,1	2,2

Tab. 9.3