

La corretta scelta degli interruttori differenziali (1/7)

1. Generalità

La somma vettoriale delle correnti che percorrono i conduttori attivi (compreso il neutro se esiste) di alimentazione di un circuito, nulla in condizioni di normale isolamento, quando si verifica un guasto verso terra assume valori maggiori di zero e prende il nome di corrente di guasto verso terra o corrente differenziale I_{Δ} . L'interruttore automatico differenziale è un dispositivo sensibile alla somma di tali correnti in grado di intervenire quando si presenta una corrente di dispersione verso terra.

2. Caratteristiche costruttive e principio di funzionamento

Costruttivamente è costituito da un trasformatore toroidale nel quale, in condizioni di normale funzionamento, il flusso risultante dovuto alle correnti che percorrono il circuito è uguale a zero (fig. 1).

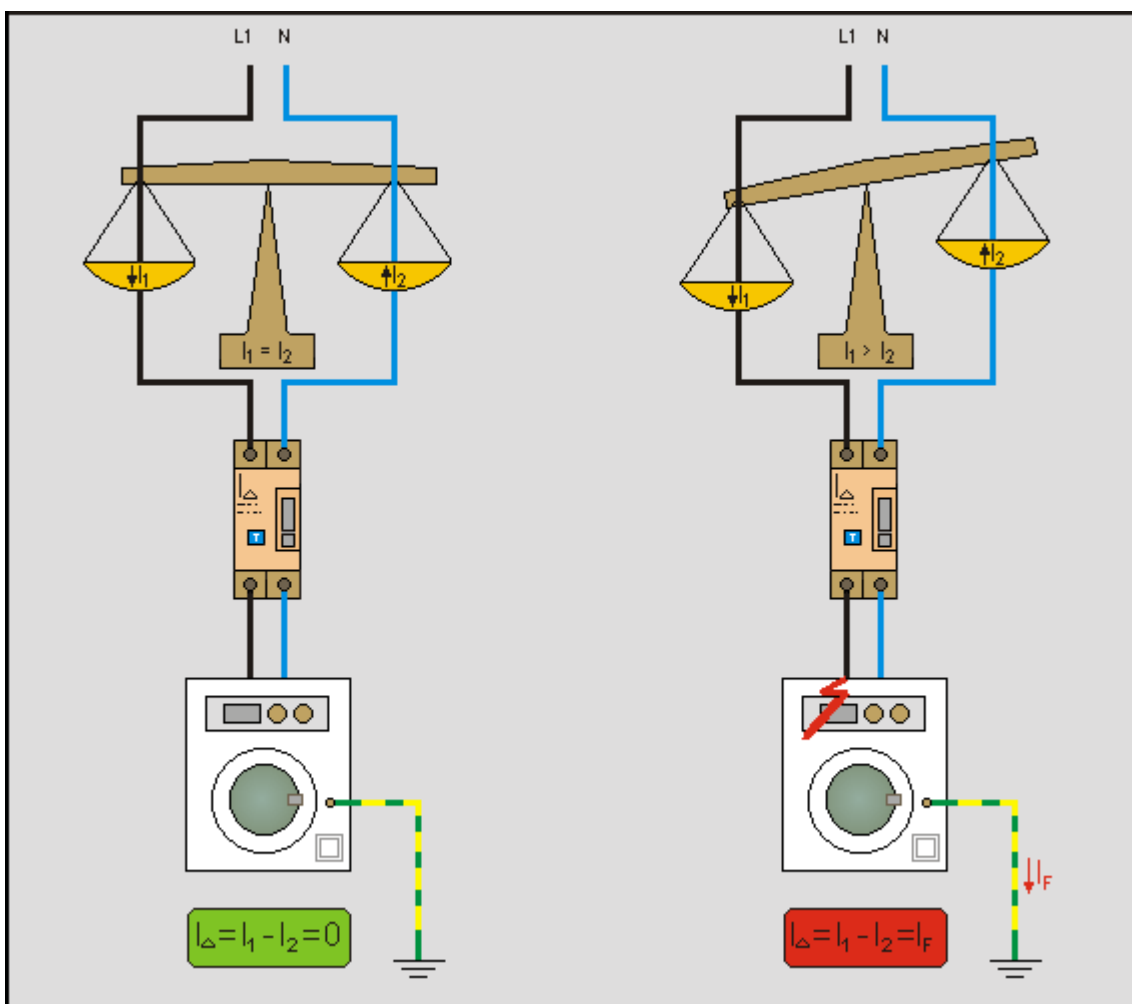


Fig. 1 - Principio di funzionamento di un interruttore differenziale

In condizioni normali, quando la differenza fra la corrente entrante e quella uscente è uguale a zero, il flusso magnetico nel toroide è nullo mentre in caso di guasto a massa, quando la differenza fra le due correnti (chiamata corrente differenziale) non è più uguale a zero, si crea un flusso nel circuito magnetico del toroide.

Al manifestarsi di un guasto d'isolamento, ad esempio fase-terra, il flusso risultante non è più nullo ed induce, su di un appropriato avvolgimento secondario, una forza elettromotrice in grado di provocare, tramite l'intervento del relè differenziale, l'apertura dell'interruttore (fig. 2).

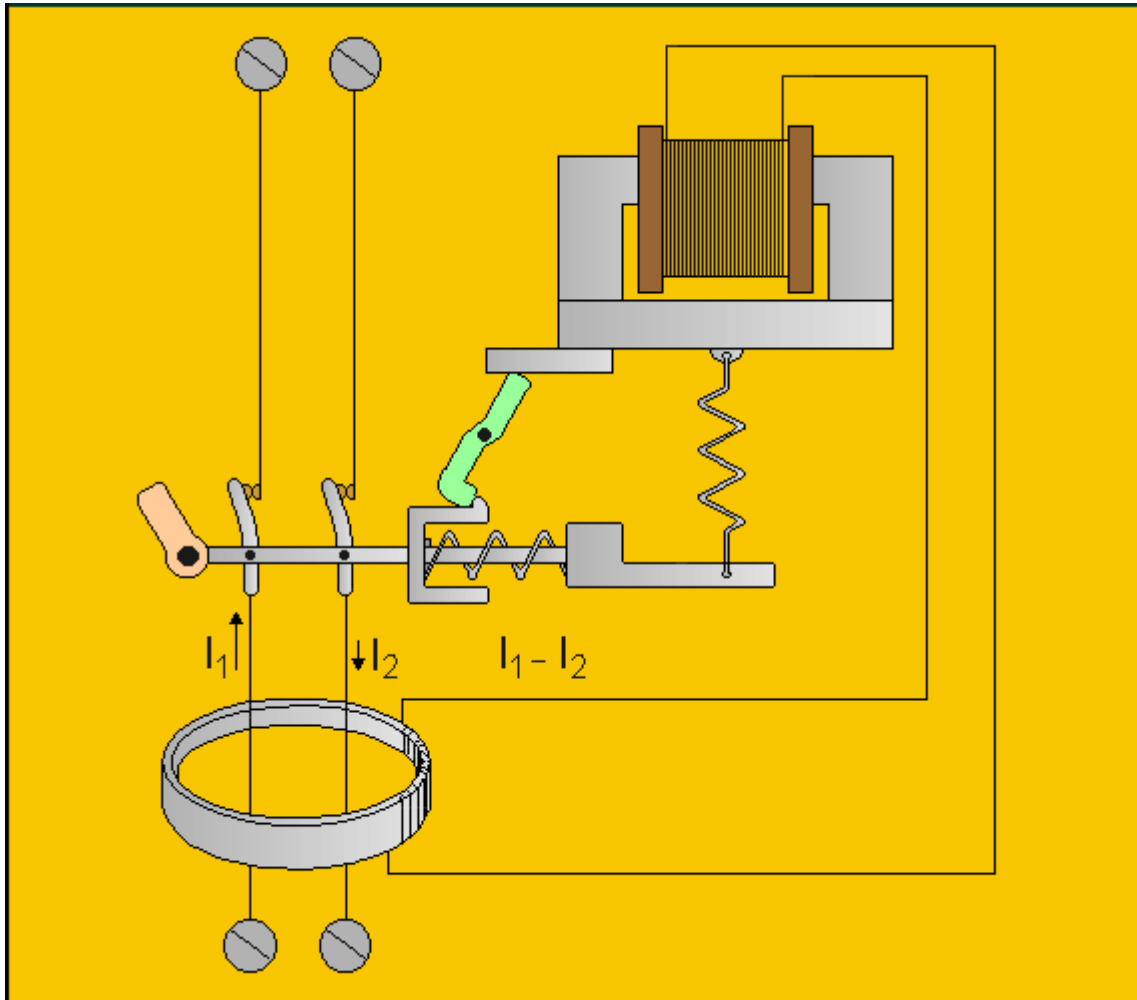


Fig. 2 – Caratteristiche costruttive e funzionamento dell'interruttore differenziale

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 ad un apposito amplificatore di segnale. L'amplificatore può essere di tipo meccanico, associato ad 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 (fig. 3).

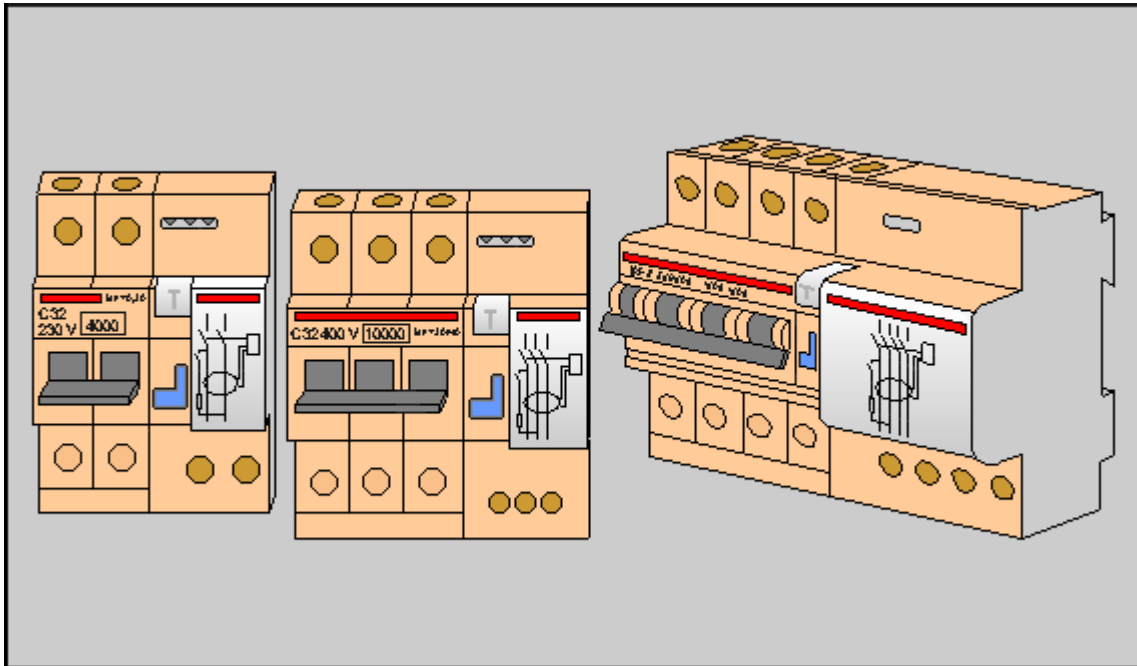


Fig. 3- Interruttori differenziali

La corretta scelta degli interruttori differenziali (2/7)

3. Principali definizioni e caratteristiche di funzionamento

Corrente nominale (I_n)

E' il valore di corrente che l'apparecchio è in grado di portare ininterrottamente.

Corrente nominale differenziale di intervento ($I_{\Delta n}$)

E' il valore di corrente assegnato dal costruttore ad un determinato interruttore che possiede o integra una protezione differenziale. L'interruttore deve operare in funzione di questo valore a condizioni specificate dalle norme.

Corrente nominale differenziale di non intervento ($I_{\Delta n0}$)

E' il valore di corrente assegnato dal costruttore ed in indicato dalle norme come il 50% della $I_{\Delta n}$, per il quale l'interruttore differenziale non deve intervenire nelle condizioni definite dalle norme stesse.

Potere di chiusura e di interruzione differenziale nominale ($I_{\Delta m}$)

E' il valore della componente alternata della corrente differenziale che l'interruttore può stabilire, portare ed interrompere nelle condizioni specificate dalle norme. Le norme stabiliscono che il valore minimo deve essere scelto tra 10I_n e 500 A, scegliendo tra i due il valore più alto.

Potere di chiusura e di interruzione nominale (I_m)

E' il valore efficace della componente alternata della corrente presunta, assegnata 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 500 A, scegliendo tra i due il valore più elevato.

Corrente di corto circuito nominale condizionale (I_{nc})

E' il valore di corrente di cortocircuito che un interruttore differenziale rispondente alla norma CEI EN 61008 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.

Corrente di corto circuito nominale condizionale differenziale ($I_{\Delta c}$)

E' il valore di corrente differenziale presunta che l'interruttore differenziale, opportunamente coordinato con un opportuno SCPD, può sopportare senza subire danneggiamenti che ne pregiudichino il buon funzionamento. E' un parametro caratteristico degli interruttori differenziali senza sganciatori di sovracorrente incorporati (differenziali puri).

Caratteristica di funzionamento tipo AC

Sono interruttori che funzionano correttamente entro i limiti stabiliti dalle norme solo in presenza di correnti di guasto verso terra di tipo alternato

Caratteristica di funzionamento tipo A

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.

Caratteristica di funzionamento tipo B

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 sia con componenti unidirezionali di tipo continuo.

Differenziali con ritardo intenzionale (selettivi)

Qualunque differenziale (A, AC, e B) può essere di tipo S. Sono caratterizzati da un intervento ritardato (o regolabile per apparecchi rispondenti alla norma CEI EN 60947-2) rispetto altri differenziali di tipo istantaneo. Sono utilizzati quando occorre realizzare la selettività differenziale.

Differenziali immuni da interventi intempestivi

Apparecchio immune 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.

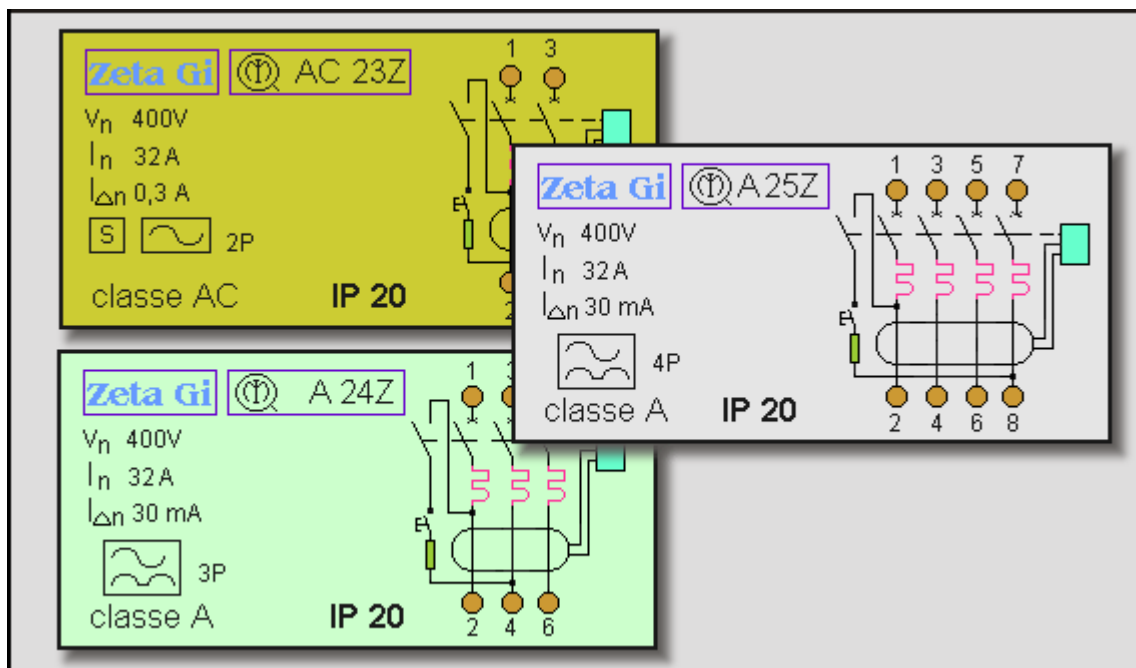


Fig. 4 - Esempi di targhe

La corretta scelta degli interruttori differenziali (3/7)

4. I vari tipi di interruttori differenziali

In relazione ad alcuni parametri caratteristici si possono individuare diversi esemplari di interruttori differenziali. In tabella 1 sono raccolte le più diffuse tipologie di prodotto offerte dal mercato.

Parametri di classificazione	Tipologia
Protezione dalle sovracorrenti	Senza sganciatori di sovracorrente (Puri)
	Magnetotermico -differenziali
	Adattabili (DDA) ad 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 di intervento	Con ritardo intenzionale (selettivi)

	Senza ritardo intenzionale
Regolazione	Regolabili
	Non regolabili
Componibilità	Monoblocco
	Assiemabili

Tab. 1 - Classificazione degli interruttori differenziali

5. Protezione dalle sovracorrenti

Gli interruttori differenziali devono essere provvisti di protezione contro le sovracorrenti. In relazione a tale protezione si suddividono in differenziali senza sganciatore magnetotermico (differenziali puri), adattabili (assiembabili dall'installatore) o con protezione magnetotermica incorporata (fig. 5).

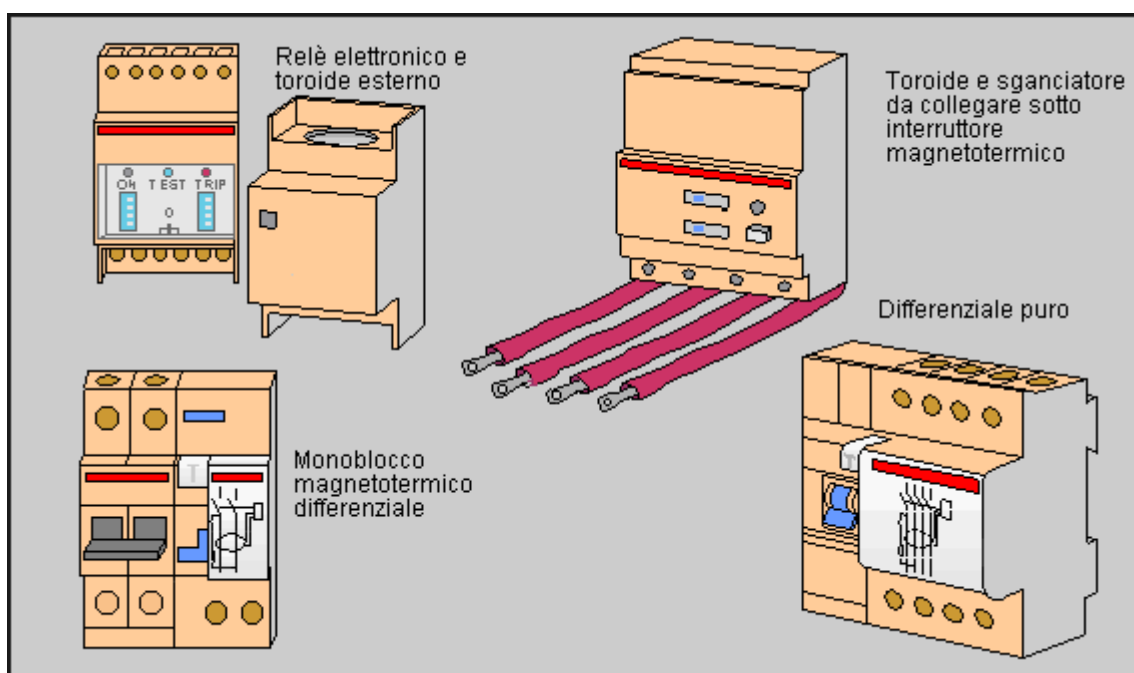
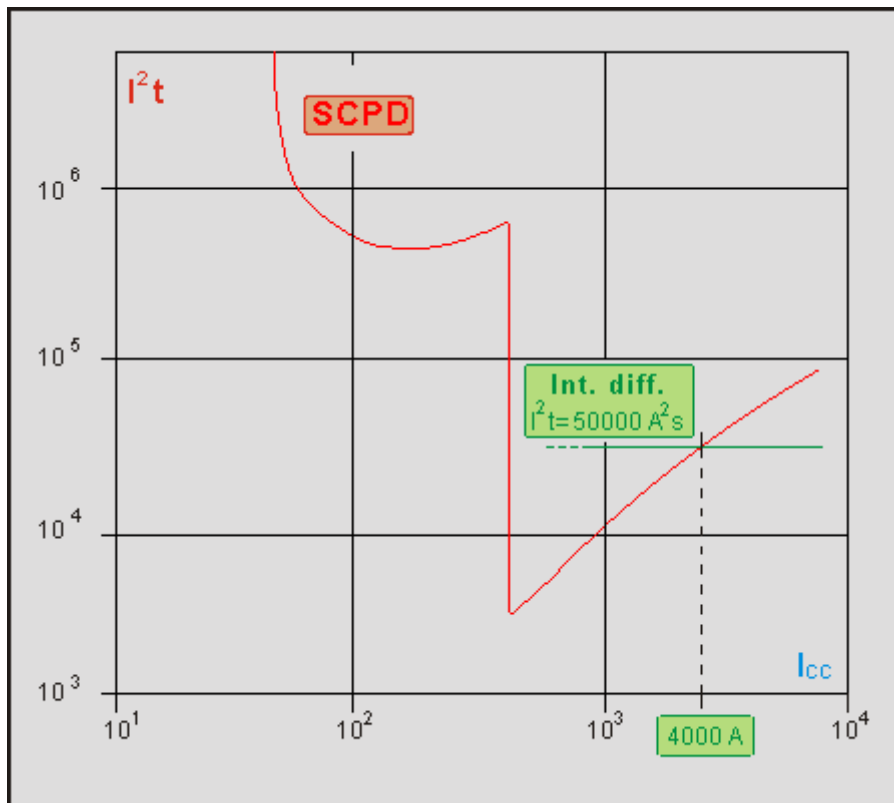


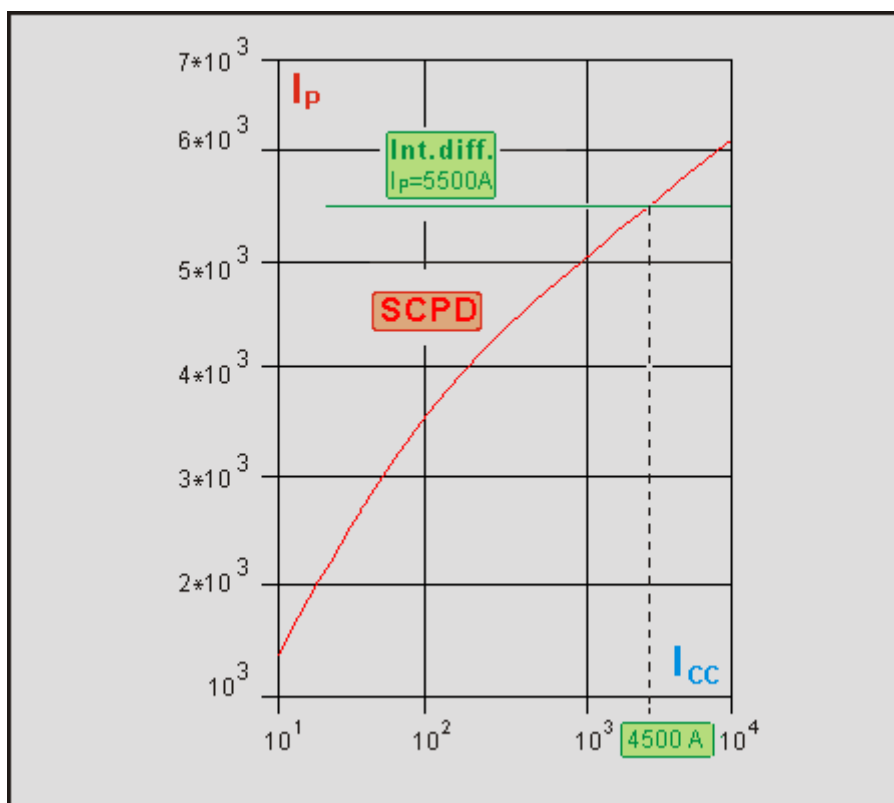
Fig. 5 - Le varie tipologie di interruttori differenziali

5.1 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 ed 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 ($I^2 t$) 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 $I^2 t$ 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 6 e 7, confrontando le caratteristiche di limitazione dell'SCPD coi valori di $I^2 t$ ($50000 \text{ A}^2 \text{ s}$) 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.



*Fig. 6 – Coordinamento dell'interruttore differenziale con il dispositivo di protezione contro il cortocircuito (SCPD)
Verifica dell' I^2t*



*Fig. 7 – 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*

Alla 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 (fig. 8). 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) mentre nei sistemi TT, 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.

La corretta scelta degli interruttori differenziali (3/7)

4. I vari tipi di interruttori differenziali

In relazione ad alcuni parametri caratteristici si possono individuare diversi esemplari di interruttori differenziali. In tabella 1 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) ad 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 di intervento	Con ritardo intenzionale (selettivi)
	Senza ritardo intenzionale
Regolazione	Regolabili
	Non regolabili
Componibilità	Monoblocco
	Assiemabili

Tab. 1 - Classificazione degli interruttori differenziali

5. Protezione dalle sovracorrenti

Gli interruttori differenziali devono essere provvisti di protezione contro le sovracorrenti. In relazione a tale protezione si suddividono in differenziali senza sganciatore magnetotermico (differenziali puri), adattabili (assiembabili dall'installatore) o con protezione magnetotermica incorporata (fig. 5).

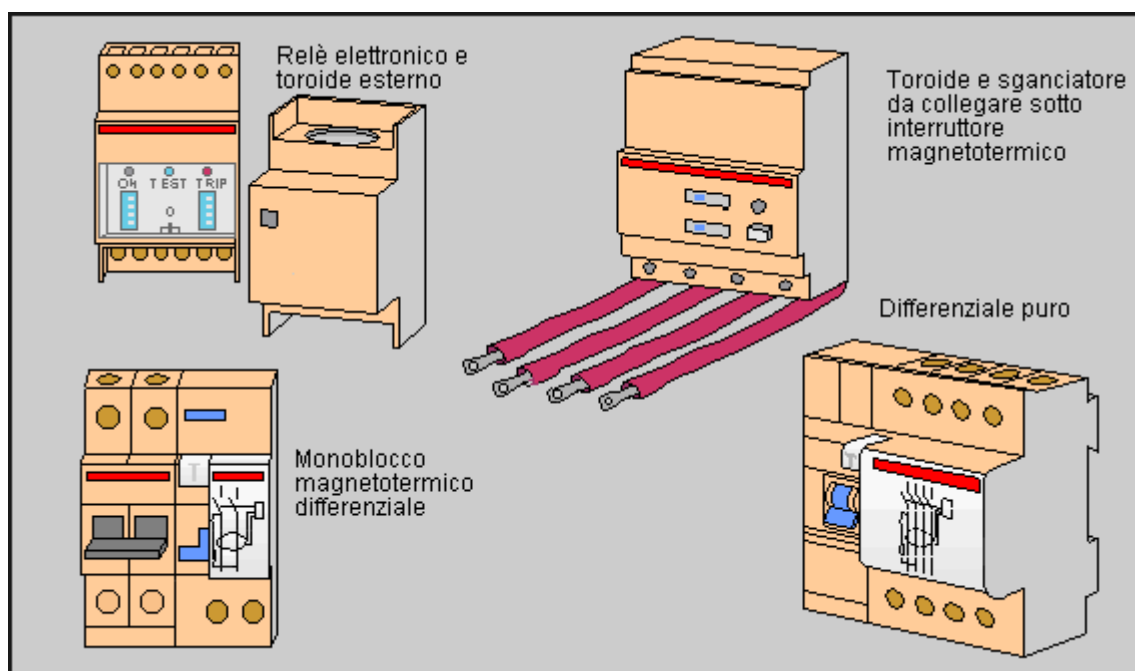


Fig. 5 - Le varie tipologie di interruttori differenziali

5.1 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 ed 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 ($I^2 t$) 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 $I^2 t$ 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 6 e 7, confrontando le caratteristiche di limitazione dell'SCPD coi valori di $I^2 t$ (50000 A² s) 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.

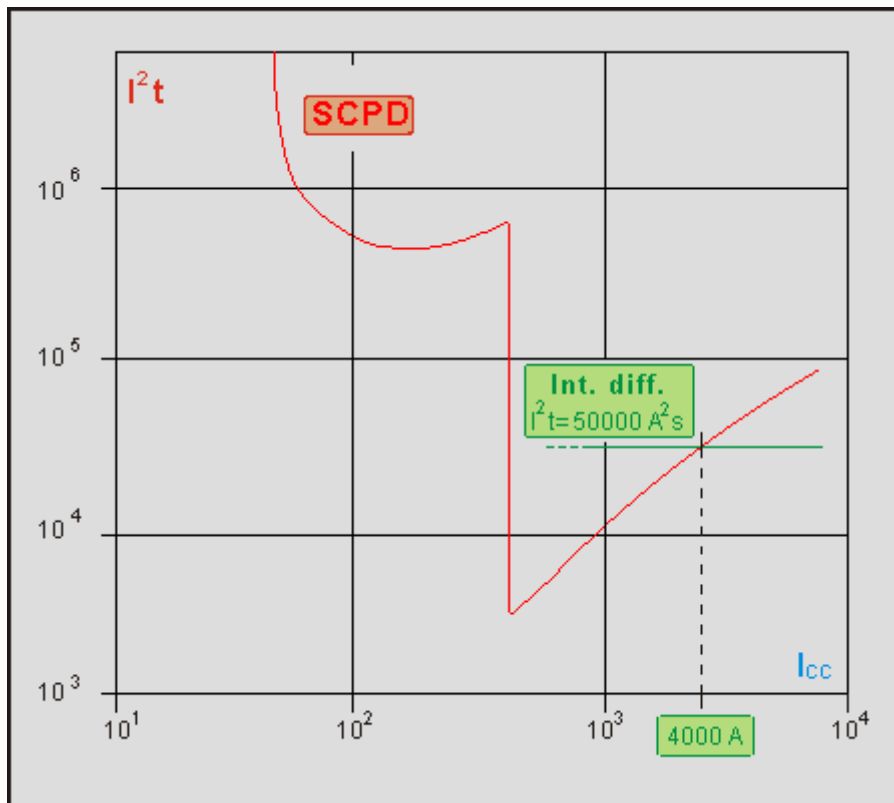
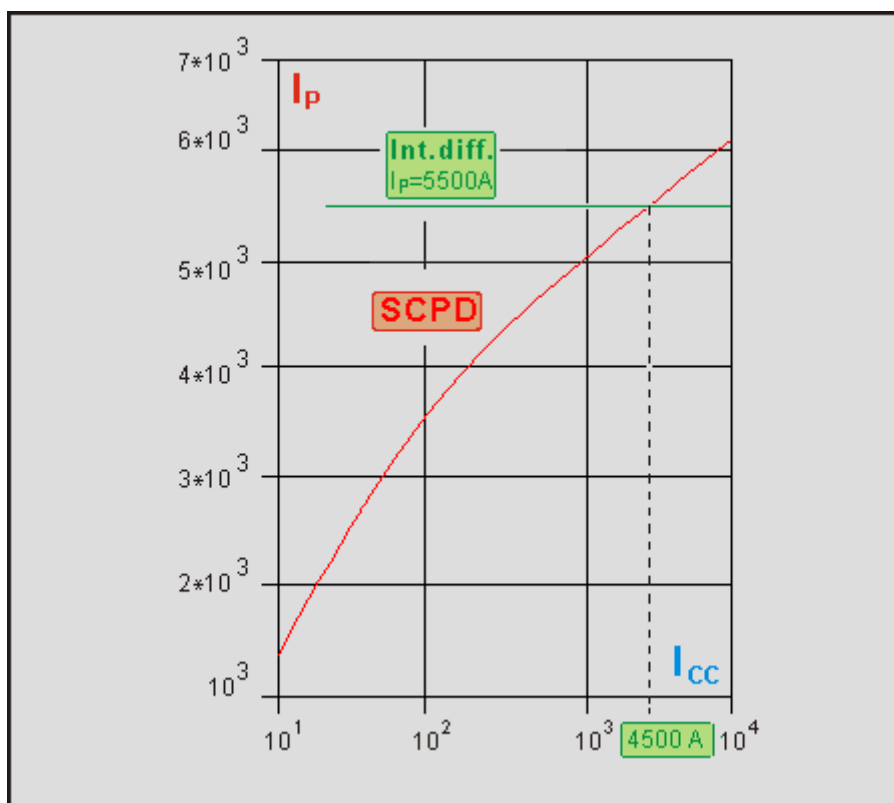


Fig. 6 – Coordinamento dell'interruttore differenziale con il dispositivo di protezione contro il cortocircuito (SCPD)
Verifica dell' I^2t



*Fig. 7 – 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*

Alla 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 (fig. 8). 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) mentre nei sistemi TT, 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.

La corretta scelta degli interruttori differenziali (5/7)

6. La sensibilità alle correnti pulsanti e continue

L'impiego ormai generalizzato di apparecchiature con dispositivi di tipo elettronico sia in ambiente civile che industriale può determinare, in occasione di un guasto di isolamento, correnti di dispersione verso terra con componenti non sempre sinusoidali ma sovente anche del tipo unidirezionale, pulsanti o continue (fig. 11). In situazioni come queste un dispositivo differenziale tradizionale non è sempre idoneo a funzionare correttamente. In relazione alle correnti di dispersione a cui l'interruttore differenziale è sensibile le norme prevedono una classificazione in tre tipi, AC, A e B.

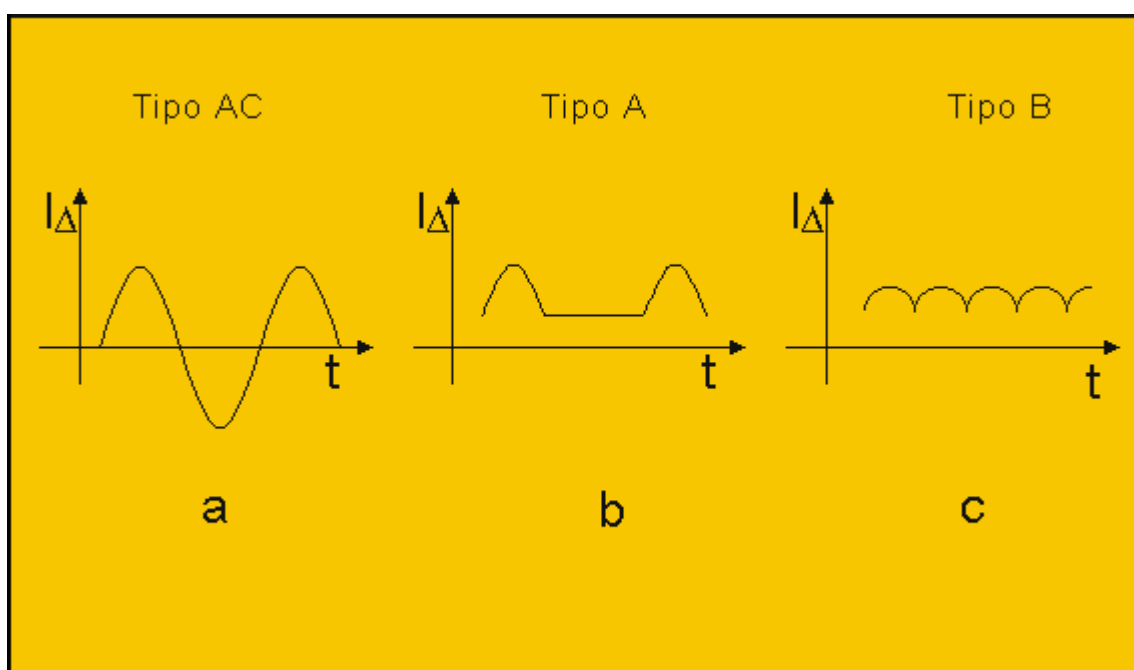


Fig. 12 - Cicli di isteresi dei materiali magnetici utilizzati per la realizzazione di interruttori differenziali di tipo AC e di tipo A. Il circuito magnetico dei dispositivi di tipo A presenta un ciclo di isteresi molto più inclinato e ristretto rispetto a quello di tipo AC.

La corretta scelta degli interruttori differenziali (6/7)

7. Selettività tra interruttori differenziali

La selettività di un sistema di protezione presuppone, in caso di guasto, che ad 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. 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 (fig. 13).

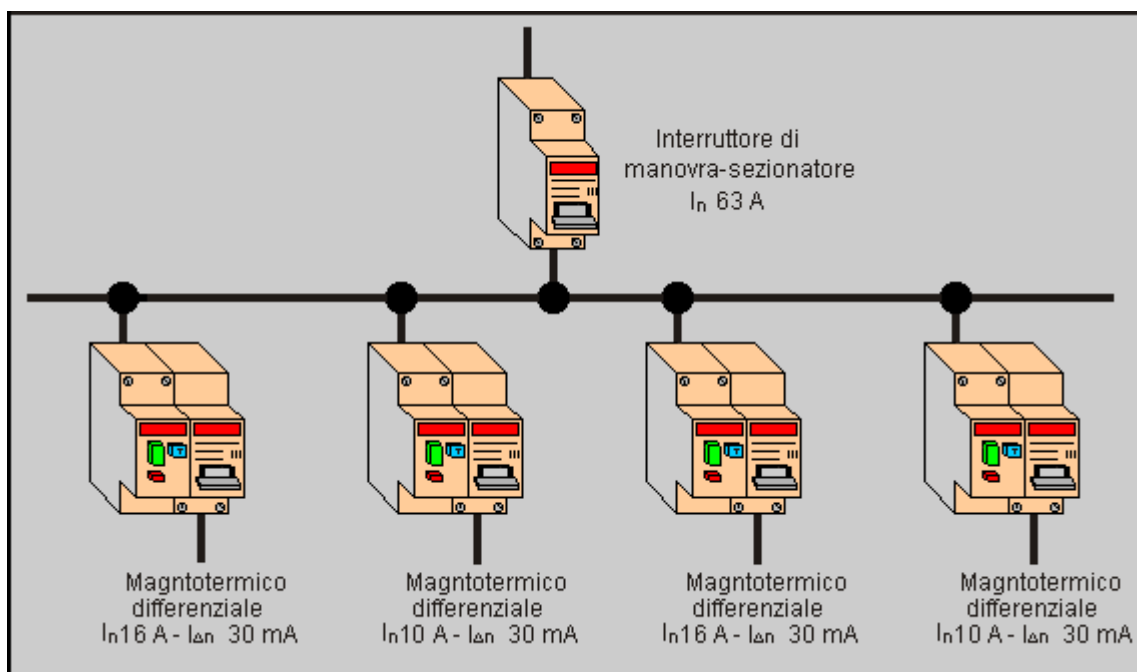


Fig. 13 - Esempio di selettività orizzontale fra interruttori differenziali

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.

Fra due interruttori differenziali installati in serie (fig. 14), 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.

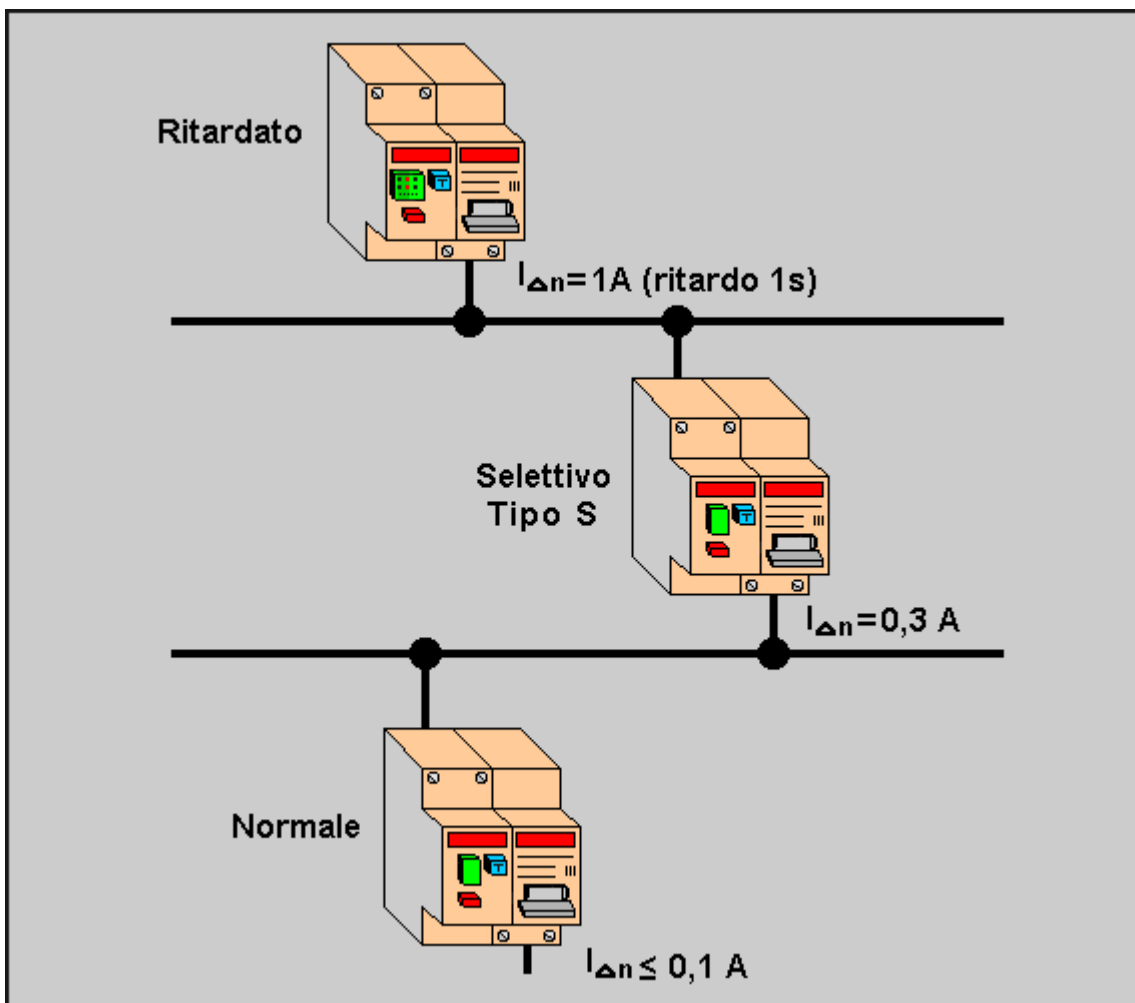


Fig. 14 – Esempio di selettività verticale fra interruttori differenziali

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 ad uso domestico e similare le norme prevedono un interruttore con ritardo di intervento intenzionale denominato di tipo S da installare a monte rispetto a quelli per uso ordinario che invece sono chiamati di tipo g (tab.2).

Tipo	Tempi di intervento (s)	Corrente differenziale			
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	500 A
Selettivo (S)	massimo	0,5	0,2	0,04	0,04
	minimo	0,13	0,06	0,05	0,04
Ordinario (g)	massimo	0,3	0,15	0,04	0,04

Tab. 2 - 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 (fig 15).

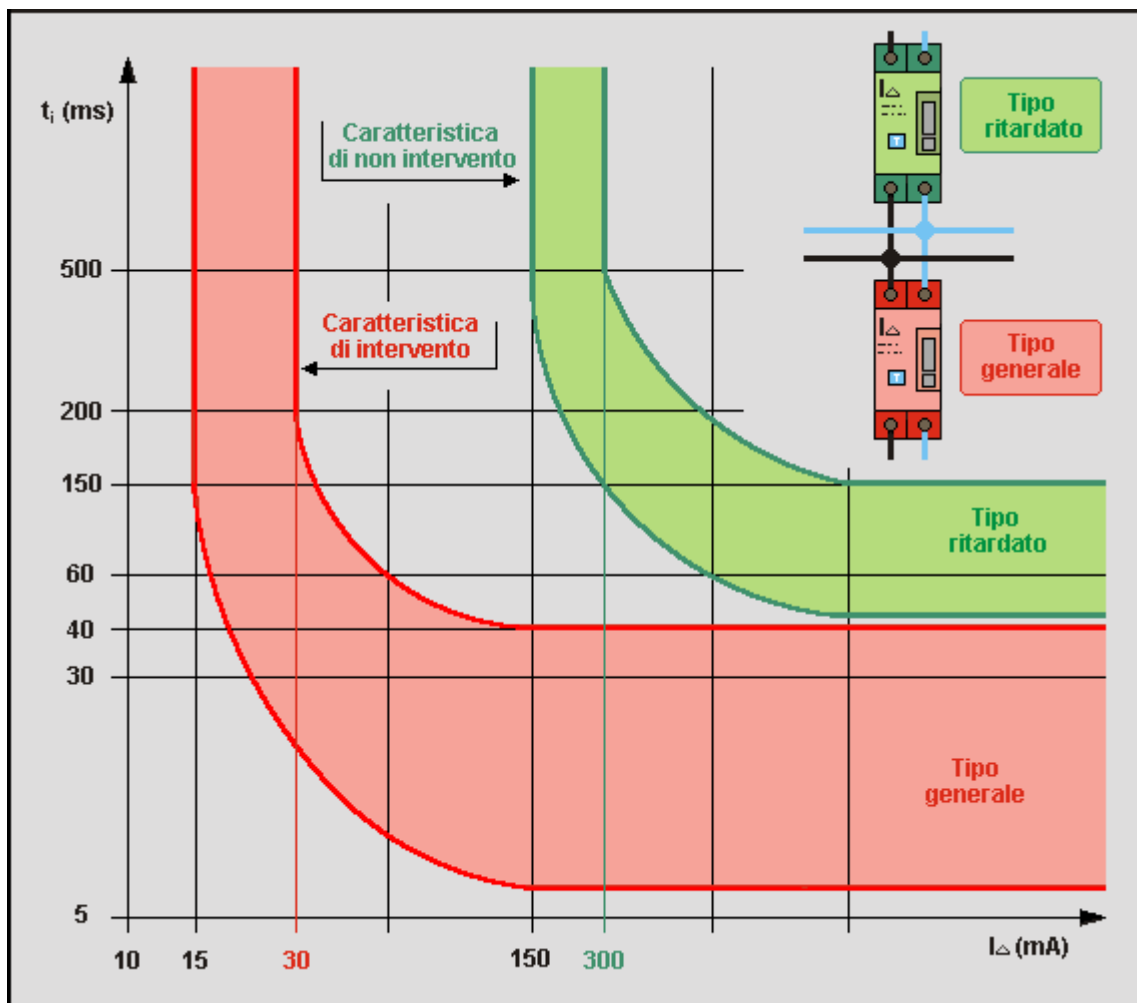


Fig. 15 – Selettività verticale tra interruttori differenziali

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 in presenza di personale addestrato. Gli interruttori differenziali ad 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 5 s per le linee di distribuzione mentre nei sistemi TT è a 1 s. Come si può vedere dalla fig. 16 non può invece essere ammesso nessun ritardo di intervento se il dispositivo differenziale è impiegato anche per la protezione addizionale contro i contatti diretti.

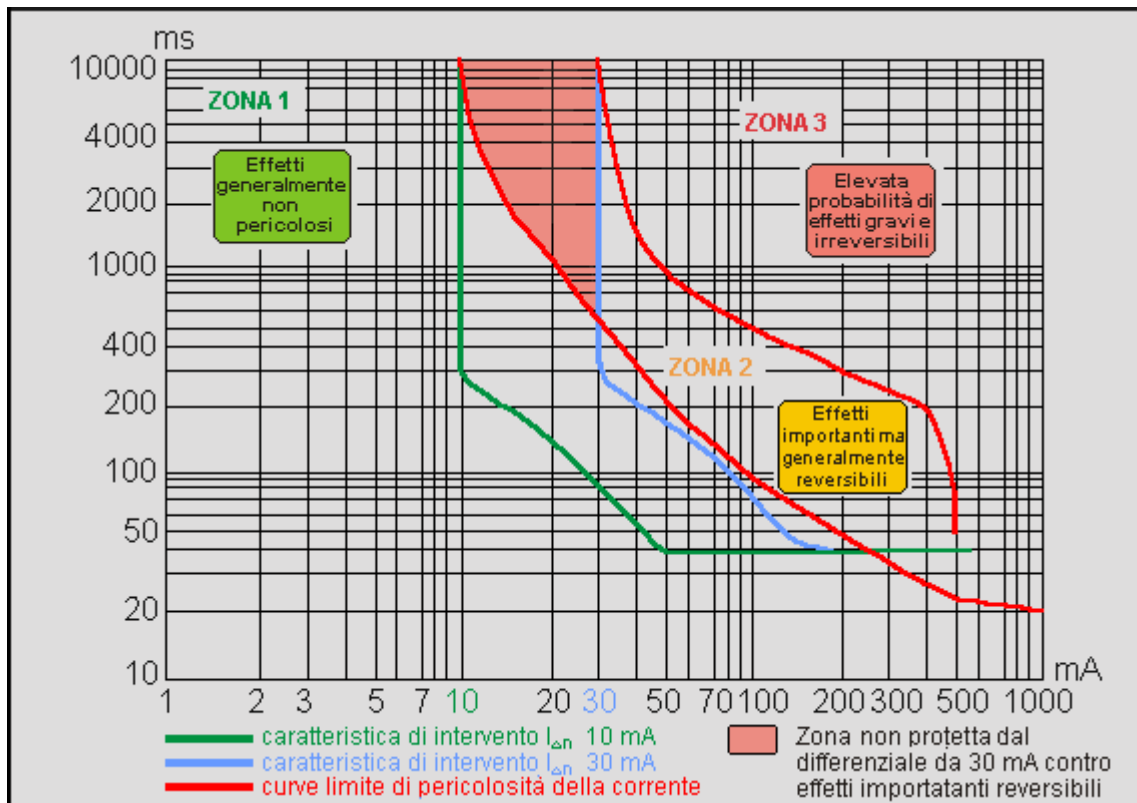


Fig. 16 - Protezione addizionale contro i contatti diretti

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

La corretta scelta degli interruttori differenziali (7/7)

8. Interventi intempestivi

In particolari circostanze gli interruttori differenziali possono essere soggetti ad 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 tale evento sono di seguito brevemente descritte.

8.1 Correnti di dispersione capacitive 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.

8.2 Sovratensioni di origine atmosferica o di manovra

Altre cause di 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.

8.3 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.

8.4 Correnti di dispersione in presenza di armoniche

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

9. 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'innescò d'incendio. per la protezione contro i contatti indiretti come 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 di intervento del dispositivo differenziale di 1s. Nel sistema TN l'impiego del differenziale potrebbe non essere necessario essendo normalmente possibile soddisfare la nota relazione $I_{\Delta n} \leq U_0 / Z_s$ 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'innescò d'incendio le norme prevedono una corrente nominale differenziale non superiore a 500 mA.