

Sistemi di distribuzione e protezione contro i contatti indiretti ed i guasti a terra

1SDC007102G0902



Sistemi di distribuzione e protezione contro i contatti indiretti ed i guasti a terra

Indice

1	Introduzione	2	6.2.1	Interruttori modulari System pro <i>M</i> e System pro <i>M</i> compact con protezione differenziale	21
2	Principali definizioni	3	6.2.2	Sganciatori differenziali per interruttori scatolati Tmax	26
3	La protezione dai guasti a terra		6.2.3	Sganciatori elettronici PR... per interruttori scatolati e aperti con protezione integrata differenziale	27
	3.1 Generalità.....	5	6.2.4	Relè differenziale con trasformatore esterno	28
4	Classificazione dei sistemi di distribuzione		6.3	La soluzione con funzione G contro i guasti a terra.....	29
	4.1 Sistema TT	6	6.4	Funzione G o differenziale?	31
	4.2 Sistema TN	6	6.4.1	Applicazioni tipiche degli interruttori differenziali.....	31
	4.3 Sistema IT	7	6.4.2	Applicazioni tipiche degli interruttori scatolati e aperti con funzione "G" contro i guasti a terra	32
	4.4 Conclusioni	7	6.5	Sistemi di protezione avanzati contro i guasti a terra.....	32
5	La protezione contro i contatti indiretti		6.5.1	Generalità	32
	5.1 Effetti della corrente nel corpo umano.....	8	6.5.2	Source Ground Return	33
	5.2 La protezione contro i contatti indiretti mediante disconnessione automatica del circuito	9	6.5.3	Protezione di terra ristretta (Restricted Earth Fault Protection)	33
	5.3 La protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT	13	7	La selettività delle protezioni contro i guasti a terra	35
	5.4 La protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN	14		Appendice A: I sistemi di distribuzione in corrente continua.....	37
	5.5 La protezione contro i contatti indiretti nei sistemi IT	18		Appendice B: Protezione contro i contatti diretti	39
6	La soluzione di ABB SACE per la protezione contro i guasti di terra			Appendice C: Protezione contro i contatti indiretti senza disconnessione automatica del circuito.....	41
	6.1 Generalità	20		Appendice D: Protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti	43
	6.2 La soluzione con differenziale	21		Appendice E: Considerazioni sul conduttore di neutro e di protezione	45
				Glossario	50

1 Introduzione

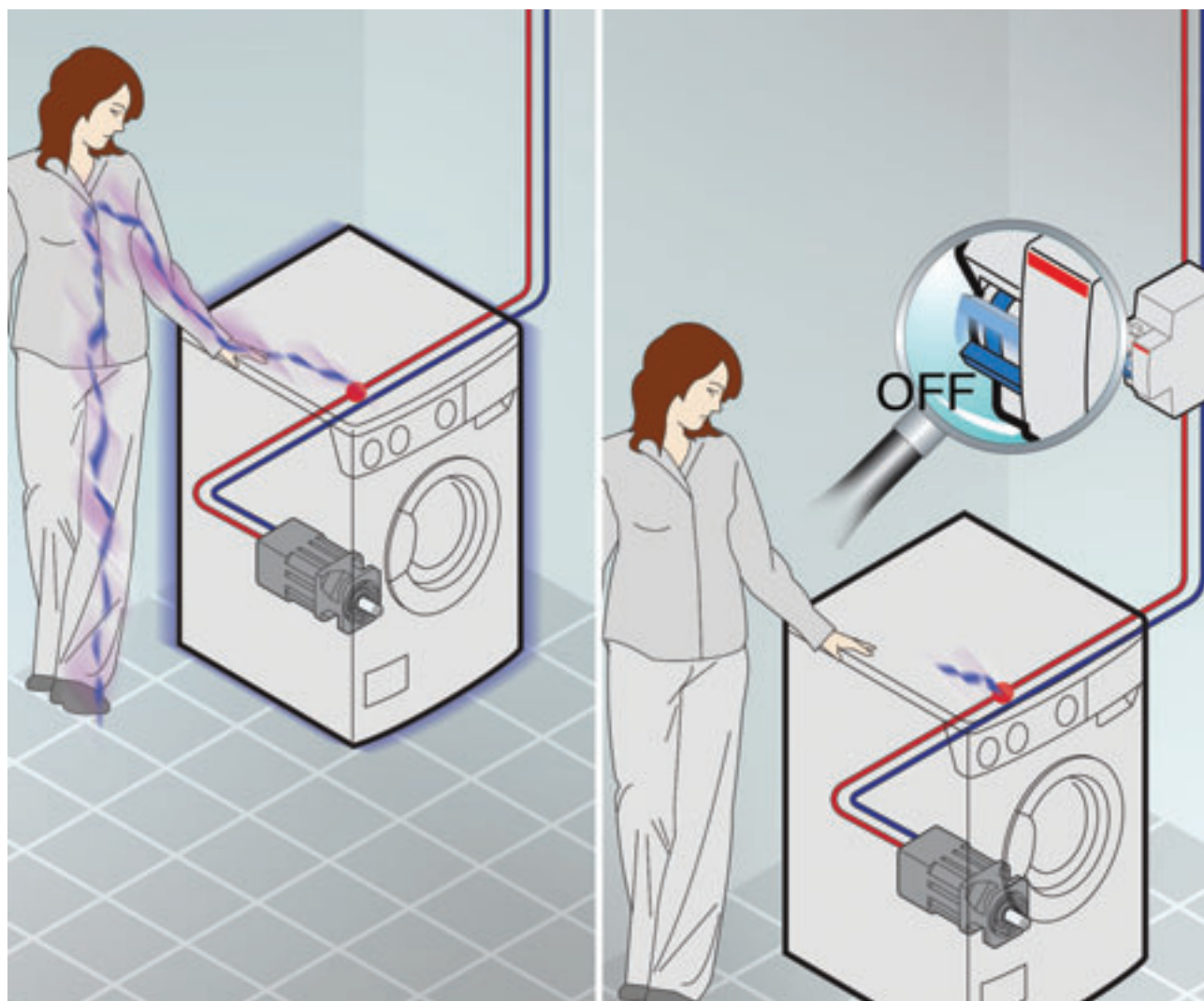
Il guasto a terra, provocato da una perdita di isolamento tra un conduttore in tensione e una massa, rappresenta una problematica impiantistica che arreca danno alle installazioni elettriche e soprattutto rappresenta un pericolo per le persone; queste ultime infatti potrebbero trovarsi in contatto con una parte conduttrice normalmente non in tensione ma che, a causa del guasto, viene a trovarsi ad un potenziale pericoloso.

Il presente quaderno di applicazione tecnica, aggiornato alla sesta edizione della norma CEI 64-8 (anno 2007), intende spiegare al lettore i principali aspetti normativi relativi alla protezione contro i guasti a terra e i contatti indiretti, chiarire le problematiche connesse e illustrare la soluzione offerta da ABB SACE.

Questa pubblicazione è divisa in tre parti fondamentali:

- aspetti normativi (definizioni, classificazione dei sistemi di distribuzione, prescrizioni per la protezione etc.);
- la soluzione di ABB SACE per la protezione contro i guasti a terra e i contatti indiretti;
- la selettività delle protezioni contro i guasti a terra.

Sono inoltre presenti delle appendici in cui sono approfonditi ulteriori aspetti relativi alla protezione contro lo shock elettrico fra i quali la protezione contro i contatti diretti, la protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti, considerazioni sul conduttore di neutro e di protezione, etc.

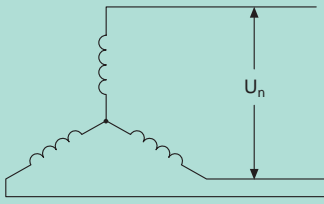
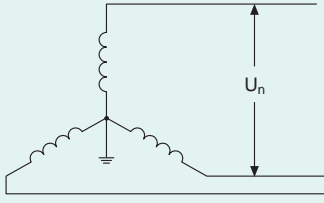
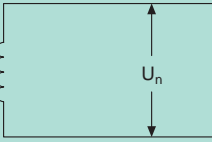
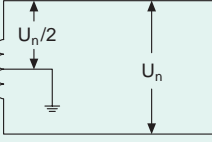


2 Principali definizioni

Di seguito sono riportate le definizioni utili per meglio comprendere il contenuto della presente documentazione; tali definizioni sono derivate dalla norma CEI 64-8/2 *Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e 1500V in corrente continua. Parte 2: Definizioni.*

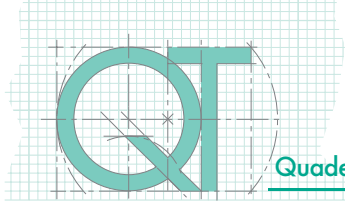
- **Tensione di contatto:** tensione che si stabilisce fra parti simultaneamente accessibili in caso di guasto dell'isolamento.
- **Tensione totale di terra:** tensione che si stabilisce a seguito di un cedimento dell'isolamento fra masse e un punto sufficientemente lontano a potenziale zero.
- **Tensione nominale verso terra di un sistema:** si intende tensione nominale verso terra U_{ne} (vedi Tab.1):
 - nei sistemi trifase con neutro isolato o con neutro a terra attraverso impedenza, la tensione nominale;
 - nei sistemi trifase con neutro direttamente a terra, la tensione stellata corrispondente alla tensione nominale diviso $\sqrt{3}$;
 - nei sistemi monofase, o a corrente continua, senza punti di messa a terra, la tensione nominale;
- nei sistemi monofase, o a corrente continua , con punto di mezzo messo a terra, la metà della tensione nominale.
- **Parte attiva:** conduttore o parte conduttrice in tensione nel servizio ordinario, compreso il conduttore di neutro, ma escluso, per convenzione, il conduttore PEN.
- **Parte attiva pericolosa:** parte attiva che può dare origine in determinate condizioni di influenze esterne a una corrente pericolosa.
- **Massa:** parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che non è in tensione in condizioni ordinarie, ma che può andare in tensione in condizioni di guasto².
- **Contatto diretto:** contatto di persone con parti attive.
- **Contatto indiretto:** contatto di persone con una massa in tensione per un guasto.
- **Parti a portata di mano:** conduttori o parti conduttrici situati nella zona che si estende da un punto o da una superficie occupata o percorsa ordinariamente da persone fino ai limiti che una persona può raggiungere con una mano senza l'uso di attrezzi.

Tab.1

<p>sistemi trifase con neutro isolato o con neutro a terra attraverso impedenza</p> $U_{ne} = U_n$	
<p>sistemi trifase con neutro direttamente a terra</p> $U_{ne} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = U_0^1$	
<p>sistemi monofase, o a corrente continua, senza punti di messa a terra</p> $U_{ne} = U_n$	
<p>sistemi monofase, o a corrente continua, con punto di mezzo messo a terra</p> $U_{ne} = \frac{U_n}{2}$	

¹ Con U_0 si indica la tensione tra fase e neutro

² Una parte conduttrice che può andare in tensione solo perché è in contatto con una massa non è da considerare una massa.



- **Parti simultaneamente accessibili:** conduttori o parti conduttrici che possono essere toccati simultaneamente da una persona.
- **Corrente di dispersione verso terra:** corrente che, in assenza di guasto, fluisce verso terra o verso le masse.
- **Corrente differenziale:** somma vettoriale dei valori istantanei delle correnti che percorrono tutti i conduttori attivi di un circuito in un punto dell'impianto.
- **Involucro:** parte che assicura la protezione di un componente elettrico contro determinati agenti esterni e, in ogni direzione, contro i contatti diretti.
- **Barriera:** parte che assicura la protezione contro i contatti diretti nelle direzioni abituali di accesso.
- **Ostacolo:** elemento inteso a prevenire un contatto diretto involontario con le parti attive, ma non a impedire il contatto diretto intenzionale.
- **Isolamento principale:** isolamento delle parti attive utilizzato per la protezione base contro i contatti diretti e indiretti.
- **Isolamento supplementare:** isolamento indipendente previsto in aggiunta all'isolamento principale per assicurare la protezione contro i contatti elettrici in caso di guasto dell'isolamento principale.
- **Doppio isolamento:** isolamento comprendente sia l'isolamento principale sia l'isolamento supplementare.
- **Isolamento rinforzato:** sistema unico di isolamento applicato alle parti attive, in grado di assicurare un grado di protezione contro contatti elettrici equivalente al doppio isolamento, nelle condizioni specificate nelle relative norme.
- **Pavimenti e pareti isolanti:** pavimenti e pareti di locali la cui resistenza è sufficientemente elevata da limitare la corrente a un valore non pericoloso.
- **Terra:** il terreno come conduttore il cui potenziale elettrico in ogni punto è convenzionalmente considerato uguale a zero.
- **Dispersore:** corpo conduttore o gruppo di corpi conduttori in contatto elettrico con il terreno e che realizza un collegamento elettrico con la terra.
- **Resistenza di terra:** resistenza tra il collettore (o nodo) principale di terra e la terra.
- **Impianti di terra elettricamente indipendenti:** impianti di terra aventi dispersori separati e tali che la corrente massima che uno di questi impianti può disperdere non modifica il potenziale rispetto a terra dell'altro impianto in misura superiore ad un valore determinato.
- **Conduttore di protezione PE:** conduttore prescritto per alcune misure di protezione contro i contatti indiretti per il collegamento di alcune delle seguenti parti:
 - masse;
 - masse estranee;
 - collettore (o nodo) principale di terra;
 - dispersore;
 - punto di terra della sorgente o neutro artificiale.
- **Conduttore PEN:** conduttore che svolge insieme le funzioni sia di conduttore di protezione sia di conduttore di neutro¹.
- **Impianto di terra:** insieme dei dispersori, dei conduttori di terra, dei collettori (o nodi) principali di terra e dei conduttori di protezione ed equipotenziali, destinato a realizzare la messa a terra di protezione e/o di funzionamento.
- **Corrente di guasto:** corrente che si stabilisce a seguito di un cedimento dell'isolamento o quando l'isolamento è cortocircuitato.
- **Corrente di guasto a terra:** corrente di guasto che si chiude attraverso l'impianto di terra.
- **Persona esperta:** persona avente sufficienti conoscenze tecniche o sufficiente esperienza per permetterle di prevenire i pericoli che può presentare l'elettricità.
- **Persona avvertita:** persona adeguatamente informata od avvisata da persone esperte, per permetterle di prevenire i pericoli che può presentare l'elettricità.
- **Persona addestrata:** persona aventi conoscenze tecniche o esperienza (persona esperta), o che ha ricevuto istruzioni specifiche sufficienti per permetterle di prevenire i pericoli dell'elettricità, in relazione a determinate operazioni condotte in condizioni specificate (persona avvertita). Il termine addestrato è pertanto un attributo relativo:
 - al tipo di operazione;
 - al tipo d'impianto sul quale, o in vicinanza del quale, si deve operare;
 - alle condizioni ambientali, contingenti e di supervisione da parte di personale più preparato.
- **Persona non addestrata:** persona non esperta e non avvertita.

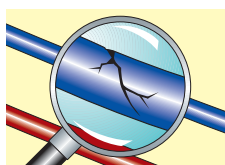
¹ Il simbolo PEN risulta dalla combinazione del simbolo PE per il conduttore di protezione e del simbolo N per il conduttore di neutro.

3 La protezione contro i guasti a terra

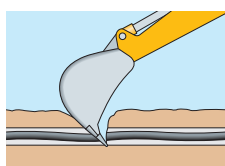
3.1 Generalità

La perdita di isolamento tra i conduttori normalmente in tensione e le masse può provocare un guasto chiamato generalmente guasto a terra.

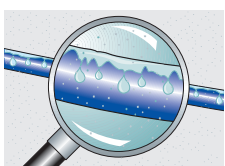
Le principali cause di perdita di isolamento sono:



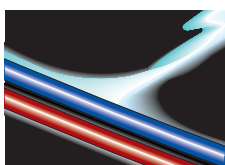
- decadimento nel tempo delle proprietà dielettriche (crepature nelle gomme isolanti, etc.);



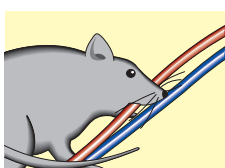
- rottura meccanica (es. la tranciatura di un cavo interrato da parte di una pala meccanica);



- ambienti particolarmente aggressivi (presenza di polveri, umidità, inquinamento, etc.);



- sovratensioni di origine atmosferica o di manovra;

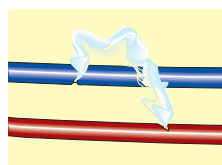


- azione di roditori.

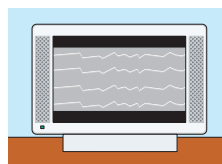
I principali effetti della corrente di guasto a terra sono:



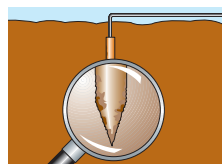
- portare in tensione le masse;



- archi elettrici localizzati e conseguenti surriscaldamenti;



- disturbi ai sistemi di telecomunicazione;



- fenomeni di erosione dei dispersori elettrici.

La corrente di guasto a terra si manifesta inizialmente come un arco localizzato nel punto in cui è venuto meno l'isolamento; questo arco è caratterizzato da un'intensità di corrente molto modesta dell'ordine di qualche decina di milliampere. In seguito, il guasto evolve, più o meno rapidamente, per assumere il carattere di guasto franco fase-terra e, se tale guasto non è tempestivamente interrotto dalle protezioni, può arrivare a coinvolgere tutte le fasi dando origine ad un cortocircuito trifase con contatto a terra.

Una prima conseguenza della corrente di guasto a terra è, quindi, quella relativa al danno che l'impianto subisce, sia a causa delle modeste correnti iniziali d'arco, le quali difficilmente rivelate dagli sganciatori di sovracorrente possono permanere per lungo tempo ed innescare un incendio, sia a causa del cortocircuito che si sviluppa dopo che è stata compromessa l'integrità dell'impianto stesso.

Un'altra importante conseguenza della corrente di guasto a terra è quella relativa al pericolo per le persone derivante da un contatto indiretto, cioè a seguito del contatto con masse che sono andate accidentalmente in tensione a causa del cedimento dell'isolamento principale.

4 Classificazione dei sistemi di distribuzione

L'entità del guasto a terra e le conseguenze che derivano dal contatto con masse in tensione sono legate in modo determinante allo stato del neutro del sistema di alimentazione e alla modalità di connessione delle masse verso terra.

Per scegliere opportunamente il dispositivo di protezione contro i guasti a terra occorre quindi conoscere il sistema di distribuzione dell'impianto. La norma italiana CEI 64-8/3 (allineata a quella internazionale IEC 60364-3) classifica i sistemi elettrici con la combinazione di due lettere.

La prima lettera indica la situazione del sistema di alimentazione verso terra¹:

- T collegamento diretto a terra di un punto, in c.a., in genere il neutro;
- I isolamento da terra, oppure collegamento a terra di un punto, generalmente il neutro, tramite un'impedenza.

La seconda lettera indica la situazione delle masse dell'impianto elettrico rispetto a terra:

- T masse collegate direttamente a terra;
- N masse collegate al punto messo a terra del sistema di alimentazione.

Eventuali lettere successive indicano la disposizione dei conduttori di neutro e di protezione:

- S funzioni di neutro e protezione svolte da conduttori separati;
- C funzioni di neutro e protezione svolte da un unico conduttore (conduttore PEN).

Con riferimento a queste definizioni di seguito sono illustrati i principali sistemi di distribuzione utilizzati.

¹ La connessione a terra di un punto a livello di trasformatori MT/BT è necessaria per evitare di trasferire a valle tensioni pericolose, ad esempio per guasto tra gli avvolgimenti di MT e quelli di BT. Nei sistemi IT dovrebbero utilizzarsi trasformatori costruiti in modo da non trasferire tensioni pericolose per l'uomo e le apparecchiature.

4.1 Sistema TT

Nel sistema TT il neutro e le masse sono collegati a due impianti di terra elettricamente indipendenti (Fig. 1) e la corrente di guasto a terra ritorna quindi al nodo di alimentazione attraverso il terreno (Fig. 2).

Fig.1: sistema TT

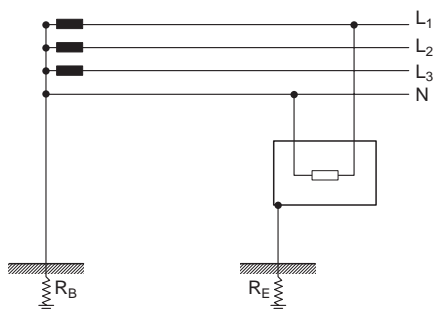
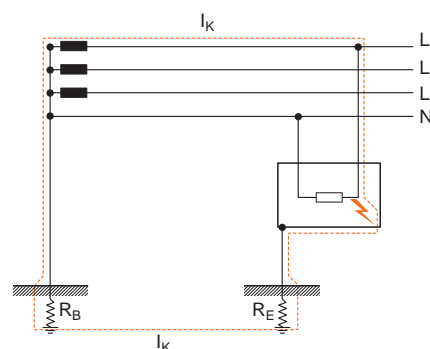


Fig.2: guasto a terra in un sistema TT



In impianti di questo tipo il neutro viene normalmente distribuito e la sua funzione è quella di rendere disponibile la tensione di fase (es. 230 V), utile per l'alimentazione dei carichi monofase degli impianti civili.

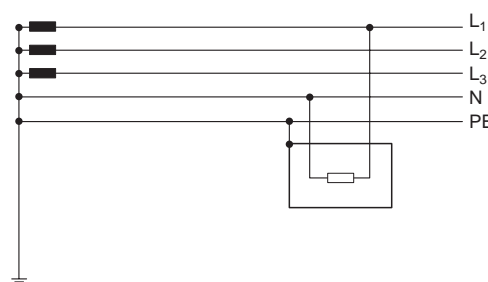
4.2 Sistema TN

Nel sistema TN il neutro è connesso direttamente a terra mentre le masse sono connesse allo stesso impianto di terra del neutro.

Il sistema elettrico TN si distingue in tre tipi a seconda che i conduttori di neutro e di protezione siano separati o meno:

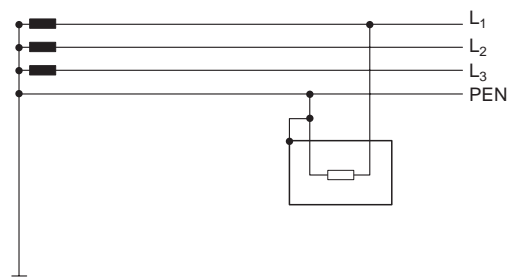
1. TN-S: il conduttore di neutro N e di protezione PE sono separati (Fig. 3)

Fig.3: sistema TN-S



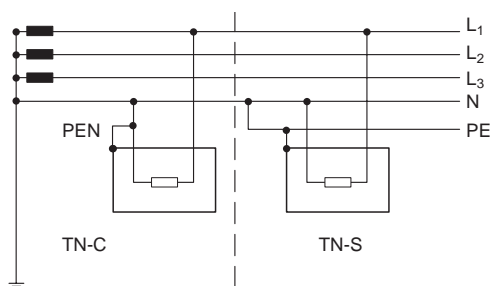
2. TN-C: le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un unico conduttore definito PEN (Fig. 4)

Fig.4: sistema TN-C



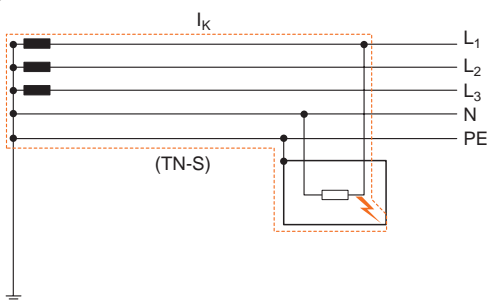
3. TN-C-S: le funzioni di neutro e di protezione sono in parte combinate in un solo conduttore PEN ed in parte separate PE + N (Fig. 5).

Fig.5: sistema TN-C-S



Nei sistemi TN la corrente di guasto a terra ritorna al nodo di alimentazione attraverso un collegamento metallico diretto (conduttore PE o PEN) senza praticamente interessare il dispersore di terra (Fig. 6).

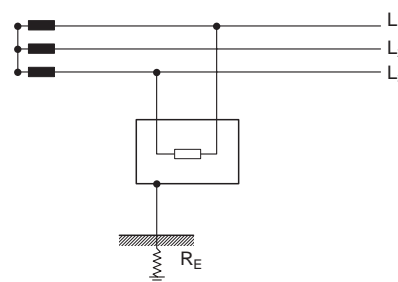
Fig.6: guasto a terra in un sistema TN



4.3 Sistema IT

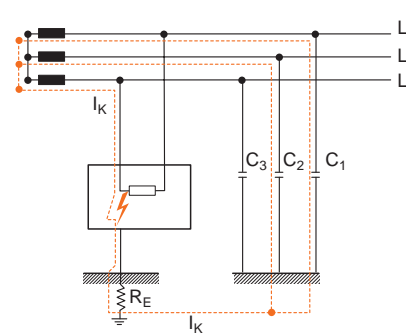
Il sistema elettrico IT non ha parti attive collegate direttamente a terra ma può avere parti attive collegate a terra tramite un'impedenza di valore elevato (Fig. 7). Tutte le masse, singolarmente o in gruppo, sono connesse ad un impianto di terra indipendente.

Fig.7: sistema IT



La corrente di guasto a terra ritorna al nodo di alimentazione attraverso l'impianto di terra delle masse e le capacità verso terra dei conduttori di linea (Fig. 8).

Fig.8: guasto a terra in un sistema IT



4.4 Conclusioni

sistema di distribuzione	principali applicazioni	valore tipico delle correnti di guasto a terra	Note
TT	installazioni domestiche e similari; piccole industrie alimentate in bassa tensione	10÷100 A	Il sistema di distribuzione TT è utilizzato quando non è possibile garantire la distribuzione del conduttore di protezione (PE) e si preferisce affidare all'utente la responsabilità della protezione dai contatti indiretti.
TN	industrie e grossi impianti alimentati in media tensione	valori simili al guasto monofase	Il sistema TN è un sistema con il quale viene distribuita l'energia alle utenze che dispongono di propria cabina di trasformazione; in questo caso è relativamente semplice garantire il conduttore di protezione.
IT	industrie chimiche e petrolchimiche, impianti in cui è fondamentale la continuità di servizio	$\mu A \div 2 A$ in funzione dell'estensione dell'impianto; in caso di doppio guasto a terra la corrente di guasto assume valori tipici dei sistemi TT o TN a secondo del collegamento delle masse rispetto a terra	Questo tipo di sistema risulta essere particolarmente adatto nei casi in cui deve essere garantita la continuità di servizio in quanto la presenza di un primo guasto non dà luogo a correnti di valore elevato e/o pericoloso per le persone.

5 La protezione contro i contatti indiretti

5.1 Effetti della corrente nel corpo umano

I pericoli derivanti dal contatto di una persona con una parte in tensione derivano dal conseguente passaggio della corrente nel corpo umano. Tali effetti possono così riassumersi:

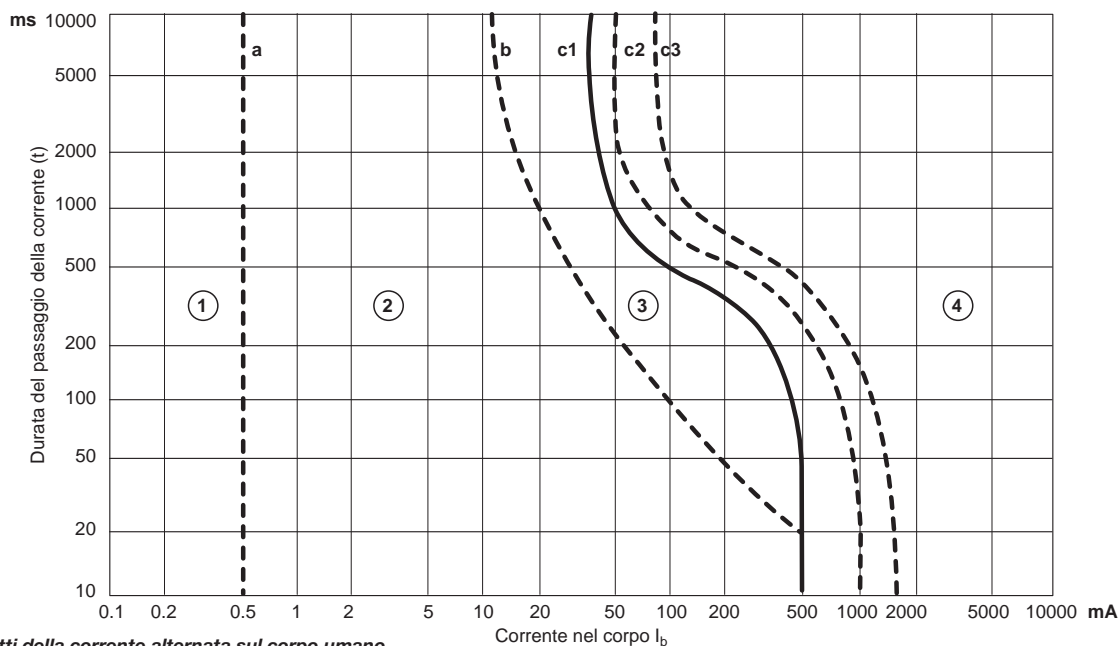
- Tetanizzazione: si contraggono i muscoli interessati al passaggio della corrente e risulta difficile staccarsi dalla parte in tensione. Da notare che correnti molto elevate non producono solitamente la tetanizzazione perché quando il corpo è da esse attraversato, l'eccitazione muscolare è talmente elevata che i movimenti muscolari involontari generalmente proiettano il soggetto lontano dalla sorgente.
- Arresto respiratorio: se la corrente elettrica attraversa i muscoli che controllano il movimento dell'apparato respiratorio, la contrazione involontaria di questi muscoli altera il normale funzionamento del sistema respiratorio e il soggetto può morire soffocato o subire le conseguenze di traumi dovuti all'asfissia.

- Fibrillazione ventricolare: è l'effetto più pericoloso ed è dovuto alla sovrapposizione delle correnti provenienti dall'esterno con quelle fisiologiche che, generando delle contrazioni scoordinate, fa perdere il giusto ritmo al cuore. Questa anomalia si chiama fibrillazione ed è particolarmente pericolosa se ventricolare perché diventa un fenomeno non reversibile poichè persiste anche se lo stimolo è cessato.
- Ustioni: sono prodotte dal calore che si sviluppa per effetto Joule dalla corrente elettrica che fluisce attraverso il corpo.

La norma IEC 60479-1 *Effects of current on human beings and livestock (Effetti della corrente sul corpo umano e sugli animali domestici)*, fornisce una guida sugli effetti della corrente attraverso il corpo umano, da utilizzare nella definizione dei requisiti per la sicurezza elettrica. La norma identifica graficamente quattro zone (figura 1) con le quali sono stati distinti gli effetti fisiologici in relazione all'entità della corrente alternata (15 – 100 Hz) che attraversa il corpo umano.

Tali zone sono illustrate nella tabella 1.

Fig.1: zone tempo-corrente relative agli effetti della corrente alternata sul corpo umano



Tab. 1: effetti della corrente alternata sul corpo umano

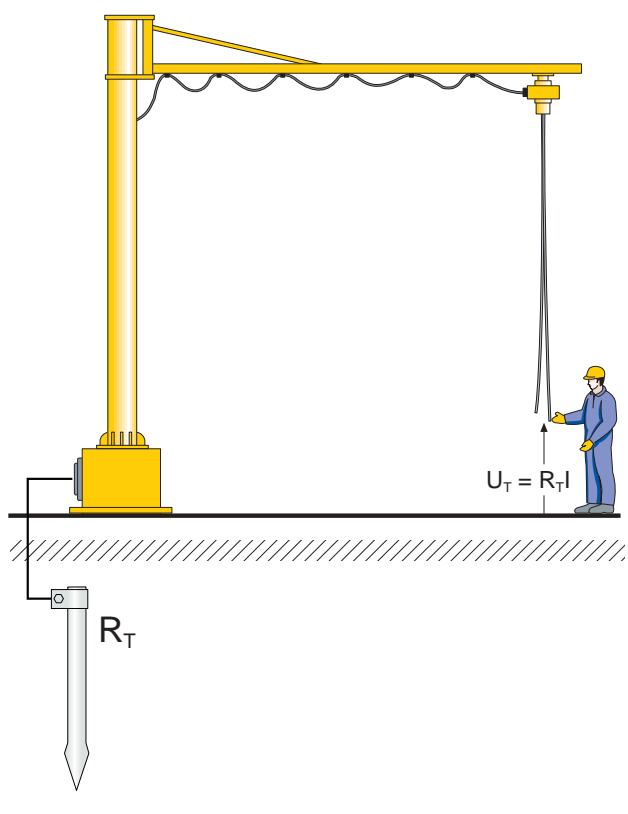
Zona	Effetti
1	Abitualmente nessuna reazione.
2	Abitualmente nessun effetto fisiologicamente pericoloso.
3	Abitualmente nessun danno organico. Probabilità di contrazioni muscolari e difficoltà respiratoria; disturbi reversibili nella formazione e conduzione di impulsi nel cuore, inclusi fibrillazione atriale e arresto cardiaco provvisorio senza fibrillazione ventricolare, che aumentano con l'intensità della corrente e il tempo.
4	In aggiunta agli effetti della zona 3, la probabilità di fibrillazione ventricolare aumenta fino a circa il 5% (curva c2), al 50% (curva c3), oltre il 50% al di là della curva c3. Effetti pato-fisiologici come arresto cardiaco, arresto respiratorio, gravi ustioni possono presentarsi con l'aumentare dell'intensità della corrente e del tempo.

La norma IEC 60479-1 fornisce un grafico analogo per la corrente continua e con il medesimo significato per le zone presenti.

Le curve rappresentate nella figura 1 risultano di difficile applicazione ai fini della definizione dei limiti massimi di corrente accettabili per la sicurezza delle persone.

Nota l'impedenza del corpo umano offerta al passaggio della corrente, si possono facilmente ricavare le curve della tensione massima ammissibile grazie alla legge di Ohm.

L'impedenza del corpo umano offerta al passaggio della corrente elettrica che transita fra due sue estremità è molto variabile, la norma IEC 60479-1 ne riporta diversi valori in funzione della tensione di contatto e del percorso interessato dal passaggio della corrente.



La tensione totale di terra U_T è la tensione che si stabilisce tra una massa e un punto del terreno sufficientemente lontano.

5.2 La protezione contro i contatti indiretti mediante disconnessione automatica del circuito

La norma CEI 64-8 prescrive l'interruzione automatica dell'alimentazione ai fini della protezione contro i contatti indiretti.

Il dispositivo di protezione deve interrompere automaticamente l'alimentazione in modo che, in caso di guasto, tra una parte attiva ed una massa o un conduttore di protezione, non possa persistere una tensione di contatto presunta superiore alla tensione di contatto limite convenzionale di 50V in c.a. (25V in ambienti speciali) per una durata sufficiente a causare un rischio di effetti fisiologici dannosi in una persona in contatto con parti simultaneamente accessibili.

Questa misura di protezione richiede il coordinamento tra la modalità di collegamento a terra del sistema e le caratteristiche dei conduttori di protezione e dei dispositivi di protezione.

I dispositivi adatti alla disconnessione automatica dell'alimentazione capaci di rilevare le correnti di guasto a terra sono:

- interruttori automatici con sganciatore termomagnetico;
- interruttori automatici con sganciatore elettronico a microprocessore;
- interruttori automatici con sganciatore elettronico a microprocessore con protezione contro guasto a terra integrata (funzione G);
- interruttori automatici magnetotermici o elettronici con sganciatore differenziale integrato;
- interruttori differenziali puri;
- relè differenziali.

Di seguito si riporta una descrizione di tali dispositivi di protezione.

Interruttori automatici con sganciatore termomagnetico

Le protezioni assicurate dagli interruttori automatici con sganciatore termomagnetico sono:

- protezione contro i sovraccarichi;
- protezione contro i cortocircuiti;
- protezione contro i contatti indiretti.

La protezione contro i sovraccarichi è attuata tramite lo sganciatore termico con una curva di intervento a tempo dipendente ossia con intervento tanto più rapido quanto più grande è la corrente di sovraccarico.

La protezione contro i cortocircuiti è attuata tramite lo sganciatore magnetico con una curva di intervento a tempo indipendente ossia con tempo di intervento indipendente dalla corrente di cortocircuito.

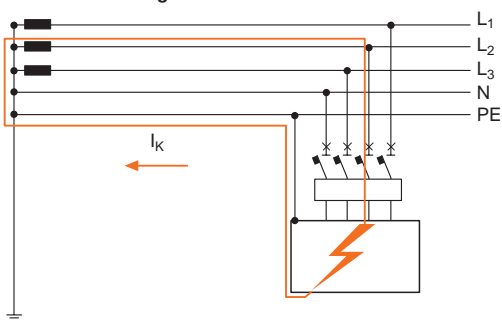
La protezione contro i contatti indiretti può essere attuata sia tramite lo sganciatore termico sia tramite lo sganciatore magnetico in quanto la corrente di guasto a terra interessa almeno una fase; se tale corrente è sufficiente-

mente elevata può provocare lo sgancio dell'interruttore. Come si vedrà in seguito, occorre coordinare il dispositivo di protezione con il sistema di distribuzione e il modo di collegamento delle masse a terra in modo da intervenire in tempi tali da limitare la durata di permanenza delle tensioni di contatto pericolose presenti nelle masse in seguito al guasto.

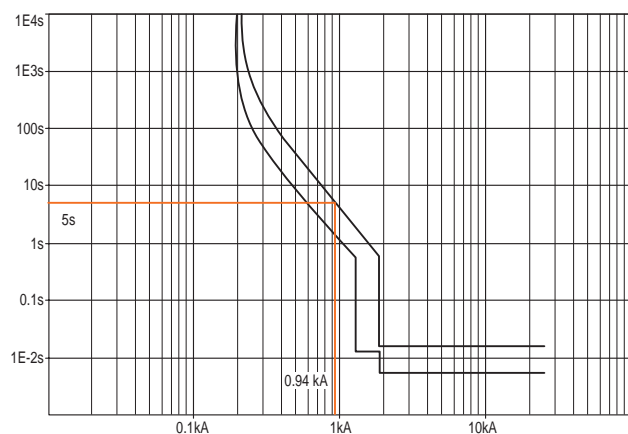
In figura 2 è illustrato un esempio che mostra il percorso della corrente di guasto a terra in un sistema in cui il neutro è connesso direttamente a terra, mentre le masse sono connesse allo stesso impianto di terra del neutro (sistema TN) e la curva di intervento di un interruttore termomagnetico Tmax T1C160 In160.

Fig. 2

Percorso della corrente di guasto



Curva di intervento Tmax T1C160 In160



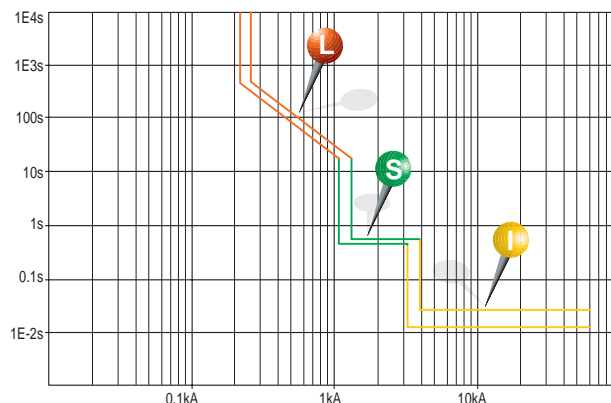
Come si può vedere dal grafico, ipotizzando una corrente di guasto a terra di 940 A l'interruttore interverrà al massimo in 5s (valore letto sulla curva a tolleranza maggiore).

Interruttori automatici con sganciatore elettronico a microprocessore

Le protezioni assicurate dagli interruttori automatici con sganciatore elettronico sono perfettamente analoghe a quelle assicurate dagli interruttori con sganciatore termomagnetico. Le funzioni di protezione implementate dallo sganciatore a microprocessore permettono la protezione

contro il sovraccarico (protezione L), il cortocircuito (protezione S e I) e i contatti indiretti.

Fig. 3

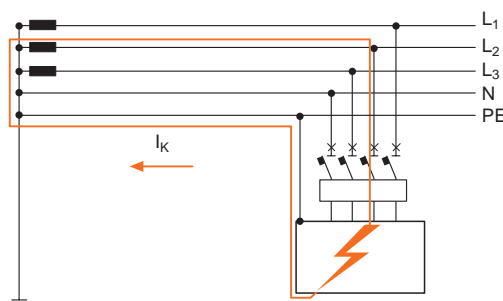


Gli sganciatori elettronici permettono una regolazione accurata sia in termini di tempi di intervento sia in termini di soglie di corrente in modo da soddisfare le esigenze impiantistiche.

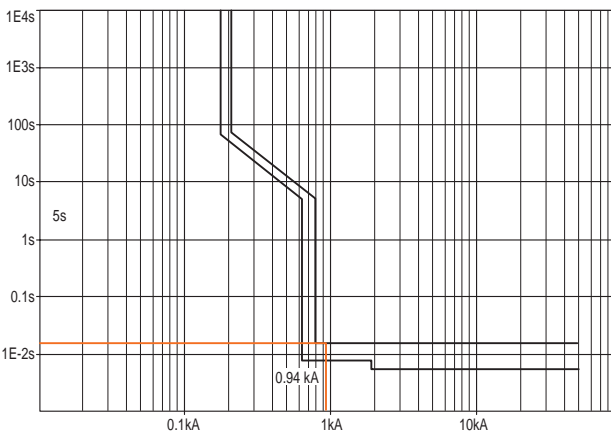
In figura 4 è riportato l'esempio precedente, ma come dispositivo di protezione è installato un interruttore con sganciatore elettronico Tmax T2S160 PR221DS-LS/ In160.

Fig. 4

Percorso della corrente di guasto



Curva di intervento T2S160 PR221DS-LS/ In160



La possibilità di settare una soglia magnetica bassa (circa 750 A) consente di ottenere un tempo di intervento corrispondente all'intervento magnetico (qualche decina di

millisecondi) notevolmente più rapido di quello ottenibile a parità di condizioni con un interruttore termomagnetico di pari taglia.

Interruttori automatici con sganciatore elettronico a microprocessore con protezione contro guasto a terra integrata (funzione G)

Gli sganciatori elettronici a microprocessore nelle versioni evolute presentano oltre alle funzioni di protezione contro sovraccarico (L) e cortocircuito (S e I), una funzione di protezione dedicata ai guasti a terra chiamata funzione G. La protezione G è in grado di valutare la somma vettoriale delle correnti che fluiscono nei conduttori attivi (le tre fasi e il neutro).

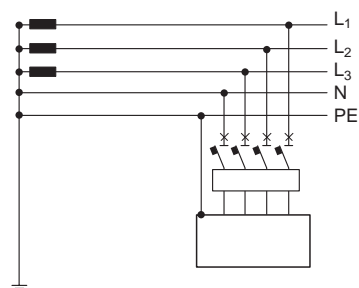
In un circuito sano tale somma è pari a zero ma in presenza di un guasto a terra, parte della corrente di guasto ritornerà alla sorgente di alimentazione attraverso il conduttore di protezione e/o la terra, non interessando i conduttori attivi.

Se tale corrente è superiore al valore di intervento impostato per la funzione G l'interruttore aprirà nel relativo tempo impostato. In figura 5 è illustrato il principio di funzionamento.

Fig. 5: principio di funzionamento della funzione G

In caso di circuito sano la somma vettoriale delle correnti nei circuiti attivi (fasi più neutro) è zero:

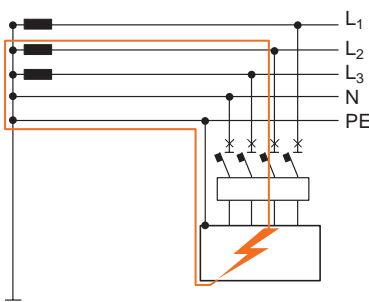
$$I_{\Delta} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N = 0$$



In caso di guasto a terra una parte della corrente di guasto ritorna all'alimentazione attraverso il conduttore di protezione PE non interessando il toroide, la somma vettoriale delle correnti sarà diversa da zero:

$$I_{\Delta} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N \neq 0$$

$I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$ intervento della funzione G

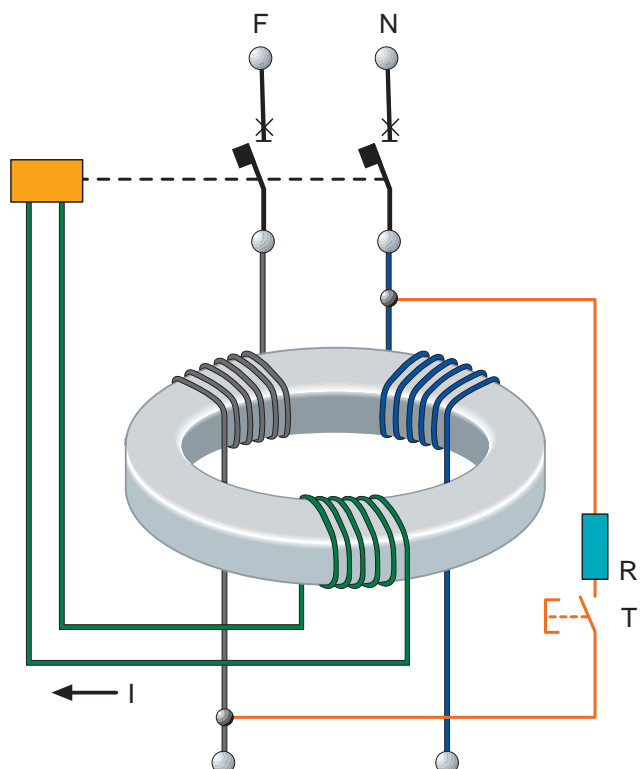


Interruttori automatici magnetotermici o elettronici con sganciatore differenziale integrato

Gli interruttori automatici con sganciatore differenziale integrato abbinano in un unico apparecchio lo sganciatore differenziale e lo sganciatore di protezione contro le sovracorrenti e intervengono sia per dispersione di corrente verso terra sia per sovraccarico/cortocircuito.

Il principio di funzionamento dello sganciatore differenziale consiste essenzialmente nel rilevare la corrente di guasto a terra mediante un trasformatore toroidale che abbraccia tutti i conduttori attivi compreso il neutro se distribuito.

Fig. 6: principio di funzionamento del relè differenziale




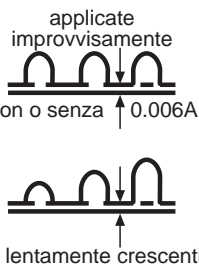

In assenza di guasto a terra la somma vettoriale delle correnti I_{Δ} è zero; in caso di guasto a terra se il valore di I_{Δ} supera il valore di soglia di intervento $I_{\Delta n}$, il circuito posto sul secondario del toroide invia un segnale di comando a un apposito sganciatore di apertura che provoca l'intervento dell'interruttore.

Una prima classificazione degli interruttori differenziali può essere fatta secondo la tipologia di corrente di guasto che possono rilevare:

- tipo AC: lo sgancio è assicurato per correnti alternate sinusoidali differenziali;

- tipo A: lo sgancio è assicurato per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti differenziali pulsanti unidirezionali;
- tipo B: lo sgancio è assicurato per correnti differenziali continue oltre che per correnti alternate sinusoidali differenziali e per correnti differenziali pulsanti unidirezionali.

Tab. 2: tipologia degli sganciatori differenziali

	Forma d'onda delle correnti differenziali	Corretto funzionamento di dispositivi differenziali Tipo		
		AC	A	B
Alternate sinusoidali		+	+	+
Pulsanti unidirezionali			+	+
Continue				+

Un'ulteriore classificazione è stabilita in base al ritardo d'intervento:

- tipo non ritardato
- tipo S selettivo con ritardo intenzionale.

Interruttori differenziali puri

Gli interruttori differenziali puri sono dotati del solo sganciatore differenziale e quindi garantiscono solo la protezione verso terra. Devono essere accoppiati a interruttori magnetotermici o a fusibili per la protezione dalle sollecitazioni termiche e dinamiche.

Il principio di funzionamento è identico a quanto illustrato precedentemente.

Relè differenziali

I relè differenziali, anche detti relè differenziali da quadro, svolgono la funzione di rilevazione della corrente di guasto a terra tramite un toroide separato da installare esternamente sui conduttori attivi del circuito.

Nel caso in cui la corrente differenziale dovesse superare la soglia impostata, il relè attiva un contatto che viene utilizzato per comandare il meccanismo di sgancio di un interruttore.

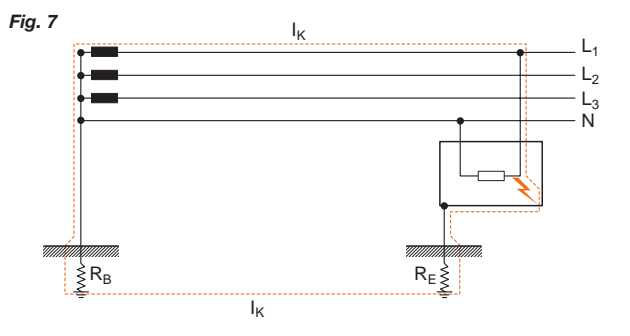
Sono dispositivi impiegati negli impianti industriali dove le condizioni di installazione sono particolarmente restrittive come ad esempio interruttori già installati o spazio limitato nella cella interruttore.

Il principio di funzionamento è identico a quanto illustrato precedentemente.



5.3 La protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT

Un guasto a terra in un sistema TT dà origine al circuito di guasto rappresentato nella figura 7.



La corrente di guasto percorre l'avvolgimento secondario del trasformatore, il conduttore di fase, la resistenza di guasto, il conduttore di protezione, le resistenze di terra (dell'utente R_E e del neutro R_B).

In accordo con le prescrizioni della norma CEI 64-8/4, i dispositivi di protezione devono essere coordinati con l'impianto di terra in modo da interrompere tempestivamente il circuito, se la tensione di contatto assume valori pericolosi per l'uomo.

Assumendo come tensione limite 50V (ambienti ordinari), la condizione da soddisfare per poter contenere la tensione di contatto sulle masse entro tale valore è:

$$R_E \cdot I_{\Delta n} \leq 50V \quad \text{quindi: } R_E \leq \frac{50V}{I_{\Delta n}}$$

dove:

R_E è resistenza in ohm del dispersore di terra*;

$I_{\Delta n}$ è la corrente d'intervento differenziale nominale (in ampere) con un ritardo massimo ammesso di un secondo.

Da quanto indicato appare evidente che il valore della resistenza R_E che l'impianto di terra potrà assumere risulta diverso impiegando interruttori differenziali aventi differenti sensibilità, in quanto diverso sarà l'ordine di grandezza della corrente che compare nel denominatore della relazione appena vista. Infatti utilizzando un differenziale con sensibilità di 30mA, si dovrà ottenere un valore di resistenza di terra inferiore a:

$$R_E \leq \frac{50}{0.03} = 1666.6\Omega$$

Utilizzando invece un differenziale meno sensibile (per esempio con sensibilità di 300mA) si dovrà ottenere un valore di resistenza di terra inferiore a:

$$R_E \leq \frac{50}{0.3} = 166.6\Omega$$

Come mostrato nell'esempio con l'impiego di un differenziale più sensibile sarà più facile a livello pratico ottenere un impianto di terra coordinato alle caratteristiche del differenziale stesso.

La tabella 3 riporta i valori massimi della resistenza di terra ottenibili con interruttori differenziali e con riferimento ad un ambiente ordinario (50V):

Tabella 3

$I_{\Delta n}$ [A]	R_E [Ω]
0.01	5000
0.03	1666
0.1	500
0.3	166
0.5	100
3	16
10	5
30	1.6

Principio di funzionamento di un dispositivo differenziale

Il principio di funzionamento dello sganciatore differenziale consiste essenzialmente nel rilevare la corrente di guasto a terra mediante un trasformatore toroidale che abbraccia tutti i conduttori attivi compreso il neutro, se distribuito. In assenza di guasto a terra la somma vettoriale delle correnti, indicata con I_{Δ} , è zero; in caso di guasto a terra se il valore di I_{Δ} supera il valore di soglia di intervento nominale, detta $I_{\Delta n}$, il circuito posto al secondario del toroide invia un segnale di comando a un apposito sganciatore di apertura che provoca l'intervento dell'interruttore.

Nella scelta della corrente differenziale nominale d'intervento occorre considerare, oltre al coordinamento con l'impianto di terra, anche la corrente totale di dispersione dell'impianto nel suo funzionamento normale e, per evitare scatti intempestivi, tale corrente non deve superare $0.5 \cdot I_{\Delta n}$.

Conclusioni

Riassumendo, nei sistemi TT la norma CEI 64-8/4 consente l'utilizzo di:

- dispositivi differenziali rispettando la relazione $R_E \cdot I_{\Delta n} \leq 50V$ con un tempo di interruzione non superiore a 1s.

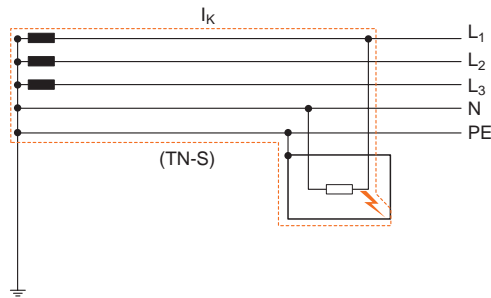
Se la condizione per l'interruzione automatica non può essere ottenuta è necessario realizzare un collegamento equipotenziale supplementare connesso a terra, tuttavia tale collegamento non dispensa dalla necessità di interrompere l'alimentazione per altre ragioni (es. contro l'incendio, contro le sollecitazioni termiche in componenti elettrici, ecc.).

* La resistenza di terra R_E è in serie a quella del conduttore di protezione e quest'ultima è trascurabile rispetto alla resistenza R_E ; nella formula si può quindi considerare solo la resistenza del dispersore di terra dell'impianto utilizzatore.

5.4 La protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN

Un guasto a terra in un sistema TN dà origine al circuito di guasto rappresentato nella figura 8.

Fig.8



Come mostrato in figura, la via di richiusura della corrente non coinvolge il terreno ma è costituita essenzialmente dal conduttore di protezione (PE).

Per realizzare una corretta protezione contro i contatti indiretti in un sistema TN tramite la disconnessione automatica del circuito in accordo alla norma CEI 64-8/4, è necessario rispettare la seguente relazione:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

dove:

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto e il conduttore di protezione tra il guasto e la sorgente (in ohm);

I_a è la corrente d'intervento in ampere del dispositivo di protezione entro il tempo definito nella tabella 4 (in funzione della tensione nominale U_0) per i circuiti terminali con correnti non superiori a 32A oppure entro 5 secondi per i circuiti di distribuzione e per i circuiti terminali con correnti superiori a 32A, se si usa un interruttore differenziale I_a è la corrente differenziale nominale d'intervento.

U_0 è la tensione nominale verso terra in c.a. o in c.c.

Tabella 4: Tempi massimi di interruzione per i sistemi TN

Sistema	50V $U_0 \le 120V$ s		130V $U_0 \le 230V$ s		230V $U_0 \le 400V$ s		$U_0 > 400V$ s	
	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
TN	0.8	Nota 1	0.4	5	0.2	0.4	0.1	0.1

NOTA 1 Per le tensioni che sono entro la banda di tolleranza precisata nella Norma CEI 8-6 si applicano i tempi di interruzione corrispondenti alla tensione nominale.

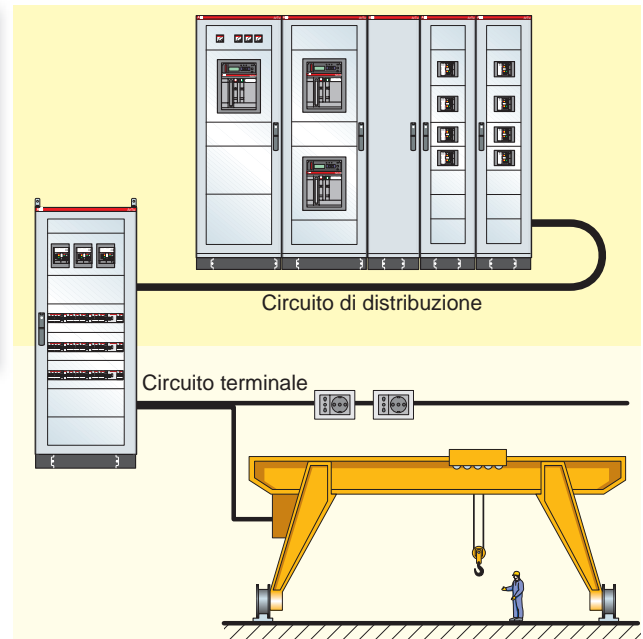
NOTA 2 Per valori di tensione intermedi, si sceglie il valore prossimo superiore della Tabella 4.

NOTA 3 L'interruzione può essere richiesta per ragioni diverse da quelle relative alla protezione contro i contatti elettrici.

NOTA 4 Quando la prescrizione citata sia soddisfatta mediante l'uso di dispositivi di protezione a corrente differenziale, i tempi di interruzione della presente Tabella si riferiscono a correnti di guasto differenziali presunte significativamente più elevate della corrente differenziale nominale dell'interruttore differenziale [tipicamente 5 $I_{\Delta n}$].

In pratica la norma distingue due tipi di circuiti:

- circuito terminale: è un circuito che alimenta generalmente apparecchi utilizzatori (ad esempio un aspiratore, un carro ponte, ecc.);
- circuito di distribuzione: è un circuito che alimenta un quadro da cui partono i circuiti terminali.



La scelta del dispositivo automatico ai fini della protezione contro i guasti fase-PE e i contatti indiretti è da effettuarsi coordinando opportunamente i tempi di intervento con il valore dell'impedenza dell'anello di guasto.

Nei sistemi TN un guasto franco fase-PE nel lato bassa tensione genera solitamente una corrente di entità simile a quella di un cortocircuito e la corrente di guasto che percorre il conduttore (o i conduttori) di fase e quello di protezione non interessa in alcun modo l'impianto di terra.

La relazione $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ può essere scritta nel seguente modo:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{KLPE}$$

dove:

I_{KLPE} è la corrente di guasto fase-PE. Si può quindi affermare che la protezione dai contatti indiretti è verificata se la corrente di intervento I_a del dispositivo di protezione (entro i tempi riportati nella tabella 4 o entro 5s) è inferiore alla corrente di guasto fase-PE I_{KLPE} che si ha in corrispondenza della massa da proteggere.

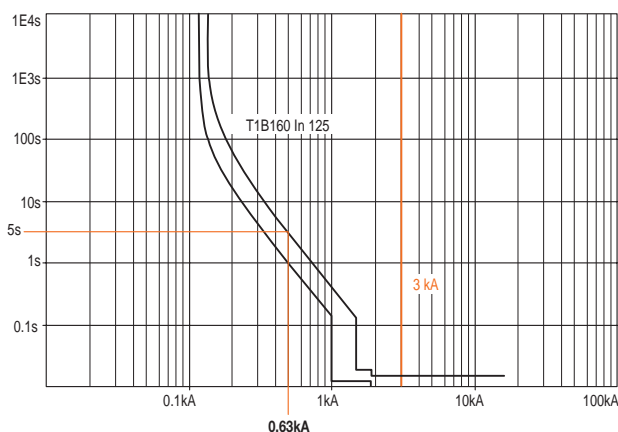
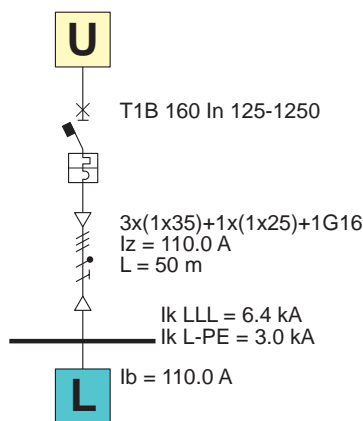
Nei sistemi TN sono utilizzabili i seguenti dispositivi per la protezione dai contatti indiretti:

- interruttori con sganciatori termomagnetici;
- interruttori con sganciatori elettronici;
- dispositivi differenziali (solo TN-S).

Protezione contro i contatti indiretti mediante sganciatori termomagnetici

Come precedentemente illustrato, nel sistema di distribuzione TN le correnti di guasto (verso massa) risultano essere abbastanza elevate a causa del basso valore dell'impedenza dell'anello di guasto, per cui la protezione contro i contatti indiretti può essere in molti casi assicurata da interruttori termomagnetici: basta verificare che la corrente di guasto che provoca l'intervento entro i tempi definiti dalla norma sia inferiore alla corrente di guasto. Nell'esempio che segue (figura 9) si vuole verificare la protezione contro i contatti indiretti di un circuito terminale che alimenta un utilizzatore con $I_b > 32A$ in un sistema TN-S a 400V. Per far ciò è sufficiente verificare che la corrente di guasto fase-PE in corrispondenza della massa considerata sia superiore alla corrente di intervento entro 5s.

Fig. 9



Nel caso in esame la corrente che provoca lo sgancio in meno di 5 secondi (considerando la tolleranza superiore) è inferiore alla corrente di guasto fase-PE che risulta essere di 3kA perciò sono rispettati i tempi di intervento richiesti dalla norma.

Nel caso in cui il carico fosse stato un circuito terminale (per esempio un piccolo aspiratore) con corrente inferiore a 32 A, avremmo dovuto verificare che l'intervento dell'interruttore in caso di un guasto fase-PE fosse stato inferiore al tempo indicato nella tabella 4.

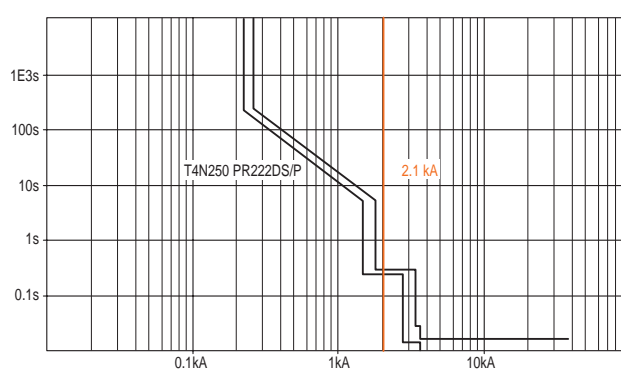
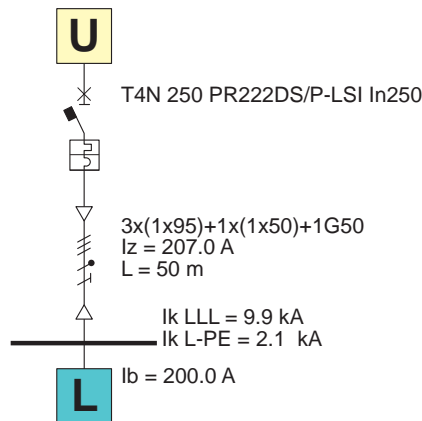
Protezione contro i contatti indiretti mediante sganciatori elettronici

Per gli sganciatori elettronici si possono seguire le stesse indicazioni del caso precedente per ciò che riguarda le funzioni di protezione L (contro il sovraccarico), S (contro il cortocircuito ritardato) e I (cortocircuito istantaneo). Naturalmente gli sganciatori elettronici permettono una regolazione accurata sia in termini di tempi di intervento sia in termini di soglia di corrente.

L'utilizzo di questi sganciatori trova applicazione in quegli impianti in cui le correnti di guasto fase-PE presentano un valore elevato interessando le protezioni di fase (L-S-I), tale impiego però potrebbe comportare dei settaggi troppo bassi impattando negativamente sulla selettività per sovracorrenti (sovraccarico e cortocircuito).

L'esempio che segue (figura 10) mostra i possibili settaggi di un interruttore T4N 250 In 250A con sganciatore elettronico PR222DS/P LSI.

Fig. 10



T4N 250 PR222DS/P-LSI In 250 A

L:	$I_1 = 0.8 \times I_n$	$t_1 = 9s$
S: t=cost	$I_2 = 6.4 \times I_n$	$t_2 = 0.25s$
I:	$I_3 = 12 \times I_n$	

In particolare si è scelto di settare la soglia I_2 della funzione S in modo da estinguere il guasto in meno di 0.25s. Si vuole sottolineare che quello indicato è solo uno dei possibili settaggi in quanto si poteva utilizzare la funzione I per la protezione contro i contatti indiretti. Se il circuito da proteggere fosse stato un circuito terminale con corrente nominale inferiore a 32A avremmo dovuto verificare

che il tempo d'intervento della protezione avvenga entro il tempo della tabella 4.

La funzione di protezione G contro i guasti a terra migliora le condizioni di protezione in quanto consente di far fronte a tutte quelle situazioni in cui l'impedenza dell'anello di guasto assume valori così elevati da non permettere alle protezioni di fase di intervenire nei tempi richiesti dalla norma, oppure è necessario settare le funzioni S e I "alte" per ragioni di selettività. Utilizzando la funzione di protezione G la relazione da soddisfare per la protezione contro i contatti indiretti diventa:

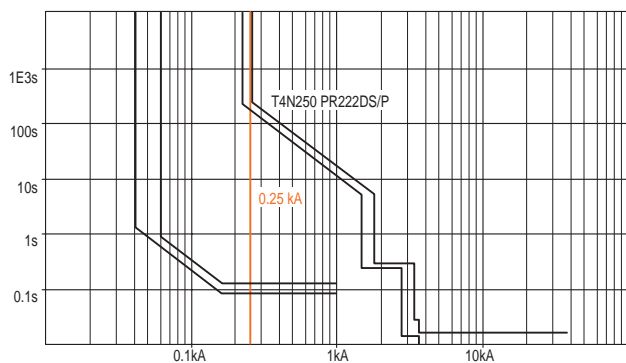
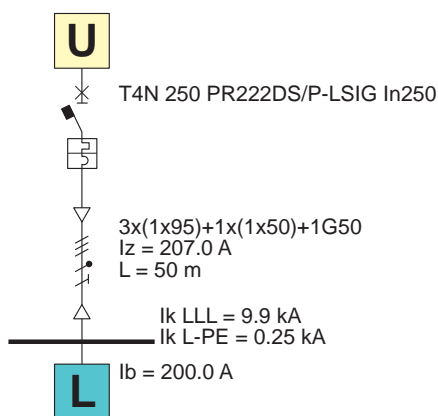
$$Z_s \cdot I_4 \leq U_0$$

dove:

I_4 è il valore del settaggio della funzione di protezione contro i guasti a terra; essendo tale valore regolabile da 0.2 a 1 I_n (a seconda del tipo di sganciatore) si capisce come, utilizzando la funzione G, si riesca ad ottenere la protezione dai contatti indiretti per valori di impedenza dell'anello di guasto più grandi (esempio cavi più lunghi) rispetto alla protezione di fase.

L'esempio che segue (figura 11) mostra i possibili settaggi di un interruttore T4N 250 In250 con sganciatore elettronico PR222DS/P LSIG.

Fig. 11



T4N 250 PR222DS/P-LSIG In 250 A

L:	$I_1 = 0.8 \times I_n$	$t_1 = 9s$
S: t=cost	$I_2 = 6.4 \times I_n$	$t_2 = 0.25s$
I:	$I_3 = 12 \times I_n$	
G:	$I_4 = 0.2 \times I_n$	$t_4 = 0.1s$

La funzione G nei sistemi TN-S consente quindi di risolvere tutti quei casi in cui le protezioni di fase non riescono a garantire l'adeguata protezione, infatti in questo caso con una corrente di guasto fase-PE pari a 0.25kA nessuna protezione di fase (L-S-I) avrebbe garantito l'intervento entro 5 secondi (essendo un circuito terminale con $I_b > 32A$).

Se il circuito da proteggere fosse stato un circuito terminale con corrente nominale inferiore a 32A avremmo dovuto utilizzare uno sganciatore elettronico/termomagnetico proteggendo la linea contro i contatti indiretti tramite le protezioni di fase dell'interruttore entro i tempi della tabella 4.

Occorre tenere presente che nel sistema TN-C non è possibile utilizzare la funzione G in una linea che alimenta un carico trifase più neutro. Infatti in questo caso lo sganciatore a microprocessore non sarebbe in grado di rilevare la corrente di guasto a terra in quanto, in tali condizioni la somma delle correnti nelle fasi e nel neutro sarebbe sempre uguale a zero poiché la corrente di guasto rientra nel conduttore di neutro che è anche conduttore di protezione PEN (si faccia riferimento al paragrafo successivo per una spiegazione più accurata).

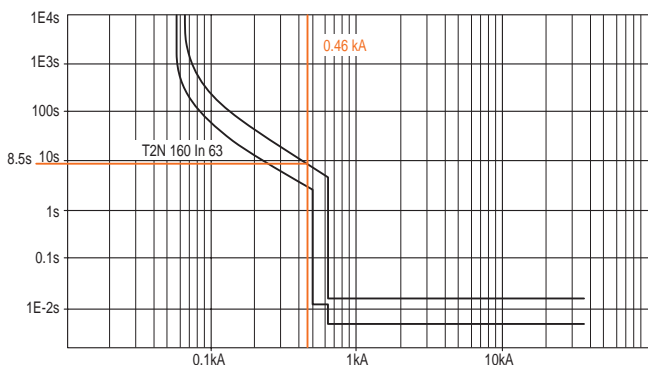
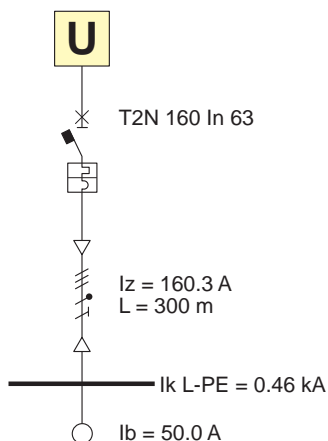
Protezione contro i contatti indiretti mediante dispositivi differenziali

L'impiego degli interruttori differenziali migliora ulteriormente le condizioni di protezione; in particolare, quando il guasto non è franco o per un guasto alla fine di una linea molto lunga in cui è presente una notevole impedenza che limita la corrente di cortocircuito, questa può permanere per tempi sufficientemente lunghi con conseguenti innalzamenti di temperatura e conseguente pericolo di incendio.

Per spiegare quanto appena detto la figura 12 mostra un esempio di un circuito terminale alimentato da un cavo lungo 300m e protetto da un interruttore termomagnetico Tmax T2N 160 In 63. A causa dell'elevata impedenza del cavo il valore della corrente di guasto fase-PE è pari a 0.46kA. In corrispondenza di tale valore l'interruttore interviene in un tempo maggiore di 5 s (circa 8.5 s considerando la tolleranza) non rispettando i tempi previsti dalla norma.

In questo caso l'interruttore differenziale consente di rilevare la corrente di guasto e intervenire in tempi rapidi rispettando quanto prescritto dalla norma.

Fig. 12

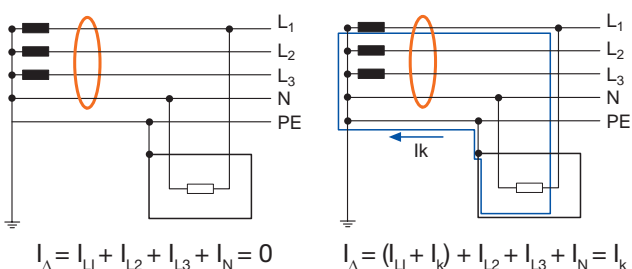


Si fa notare che anche l'interruttore differenziale (come la funzione G) non può essere utilizzato nei sistemi TN-C, in quanto le funzioni di neutro e di protezione vengono assolute da un unico conduttore PEN che impedisce il funzionamento del dispositivo.

Per capire quanto appena detto occorre comprendere il principio di funzionamento di un interruttore differenziale. Come descritto precedentemente esso consiste essenzialmente nel rilevare la corrente di guasto a terra mediante un trasformatore toroidale che abbraccia tutti i conduttori attivi compreso il neutro, se distribuito.

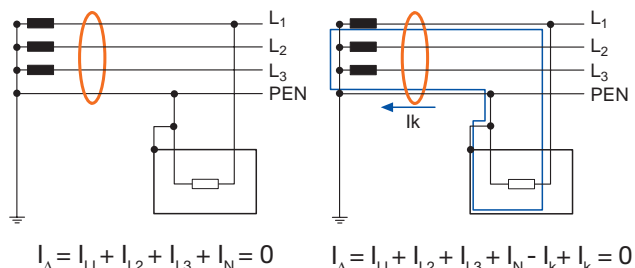
In un sistema TN-S la corrente di guasto a terra si richiude attraverso il conduttore di protezione PE non interessando il toroide (figura 13); in questo caso la somma vettoriale delle correnti è diversa da zero e se superiore alla soglia impostata può fare intervenire il differenziale.

Fig.13: differenziale nel sistema TN-S



In un sistema TN-C la corrente di guasto a terra si richiude attraverso il conduttore di protezione PEN ripassando all'interno del toroide¹ (figura 14) in questo caso la somma vettoriale delle correnti è ancora uguale a zero per cui il differenziale non potrà intervenire.

Fig.14: differenziale nel sistema TN-C



D'altra parte, nello stesso sistema, se il conduttore di neutro non passasse attraverso il toroide, la presenza di un carico monofase (carico sbilanciato) sarebbe sufficiente a causare l'intervento non desiderato del differenziale, anche se il circuito non si trova in condizioni di guasto.

Conclusioni

Riassumendo, nei sistemi TN la norma consente l'utilizzo di:

- dispositivi (sia differenziali, sia automatici contro le sovracorrenti) rispettando la relazione $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ entro i tempi della tabella 4 per i circuiti terminali con correnti inferiori a 32A, o entro 5s per i circuiti di distribuzione o per circuiti terminali con correnti nominali superiori a 32A.

Se l'interruzione automatica non può essere ottenuta rispettando le condizioni precedentemente illustrate è necessario realizzare un collegamento equipotenziale supplementare connesso a terra, tuttavia tale collegamento non dispensa dalla necessità di interrompere l'alimentazione per altre ragioni (es. contro l'incendio, contro le sollecitazioni termiche in componenti elettrici, ecc.).

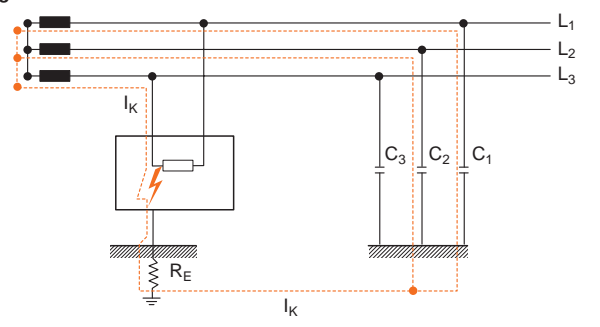
Nei sistemi TN-C non è possibile sezionare il neutro e non è possibile utilizzare dispositivi differenziali o simili nella filosofia di funzionamento (funzione G contro i guasti a terra).

¹ Si ricorda infatti che il toroide abbraccia tutti i conduttori attivi (fase e neutro).

5.5 La protezione contro i contatti indiretti nei sistemi IT

Come si può vedere dalla figura 15, la corrente di guasto a terra in un sistema IT si richiude attraverso le capacità verso terra dell'impianto, pertanto la corrente di guasto verso terra risulterà essere di valore estremamente ridotto al punto da non determinare alcun intervento delle protezioni; le tensioni di contatto originate assumeranno di conseguenza valori particolarmente bassi.

Fig.15



Secondo la norma CEI 64-8/4, non è necessaria l'interruzione automatica del circuito nel caso di un singolo guasto a terra purchè sia verificata la condizione:

$$R_E \cdot I_d \leq U_L$$

dove:

R_E è la resistenza del dispersore al quale sono collegate le masse, in ohm;

I_d è la corrente di guasto in ampere, del primo guasto di impedenza trascurabile tra un conduttore di linea ed una massa, tale valore tiene conto delle correnti di dispersione e dell'impedenza totale verso terra dell'impianto elettrico.

Se questa condizione è rispettata, successivamente al guasto, sulla massa si ha il permanere di una tensione di contatto minore di 50V (in corrente alternata), sopportabile dal corpo umano per un tempo indefinito.

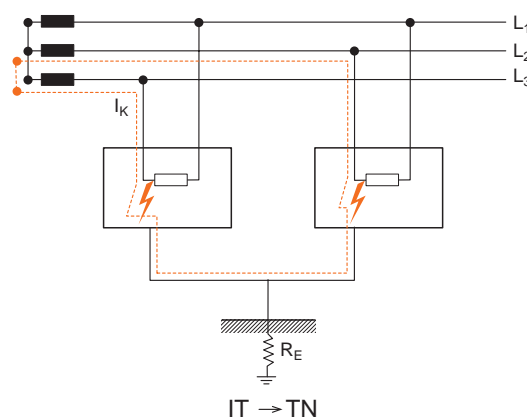
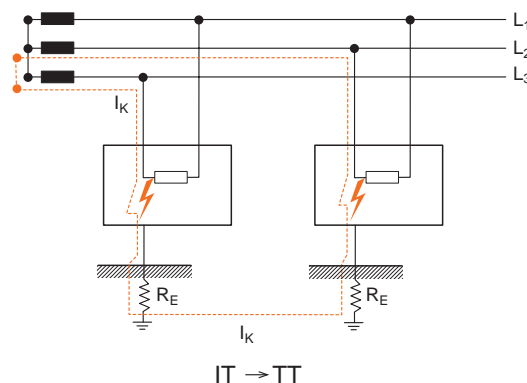
Negli impianti che adottano il sistema IT, si deve prevedere un dispositivo di controllo dell'isolamento per segnalare la presenza della condizione anomala una volta manifestatosi un guasto. Un dispositivo di controllo dell'isolamento, conforme a CEI EN 61557-8, è un dispositivo che controlla con continuità l'isolamento di un impianto elettrico.

Esso è destinato a segnalare qualsiasi riduzione significativa del livello di isolamento dell'impianto per permettere di trovare la causa di questa riduzione prima che si produca un secondo guasto, evitando così l'interruzione dell'alimentazione.

Il manifestarsi di un guasto a terra modifica il sistema di distribuzione vanificando i benefici di una rete isolata da terra. In particolare possono verificarsi due situazioni in presenza di un guasto a terra (figura16):

1. se le masse degli utilizzatori sono connesse ciascuna al proprio impianto di terra allora il sistema da IT si trasforma in TT;
2. se le masse degli utilizzatori son connesse ad un unico impianto di terra allora il sistema da IT si trasforma in TN.

Fig.16



In tali condizioni in caso di un guasto a terra (doppio guasto) la norma prescrive che occorre interrompere l'alimentazione secondo le seguenti modalità:

- quando le masse sono messe a terra per gruppi o individualmente, le condizioni per la protezione sono analoghe a quelle indicate per il sistema TT.
- quando le masse sono interconnesse collettivamente da un conduttore di protezione, si applicano le prescrizioni relative al sistema TN in particolare:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

quando il neutro è distribuito si deve verificare:

$$Z's \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

Dove:

U_0 è la tensione nominale tra fase e neutro;

U è la tensione nominale tra fase e fase;

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore di fase e dal conduttore di protezione del circuito;

$Z's$ è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore di neutro e dal conduttore di protezione del circuito.

I_a è il valore di corrente di intervento del dispositivo di protezione entro i tempi definiti per i sistemi TN.

La norma raccomanda di non distribuire il conduttore di neutro nei sistemi IT. Una ragione è legata alla difficoltà pratica di rispettare la condizione prevista per l'impedenza dell'anello di doppio guasto $Z's$. Infatti, in presenza di conduttore di neutro distribuito, essa deve risultare il 58% più piccola, di quella delle fasi Z_s , che si riscontra in caso di doppio guasto tra le fasi; si evidenzia quindi una maggiore difficoltà di coordinamento con il dispositivo di interruzione automatica che deve intervenire per la protezione dai contatti indiretti.

Inoltre, la presenza del neutro distribuito comporta, soprattutto per impianti industriali di una certa complessità, il rischio che questo possa accidentalmente essere collegato a terra, in qualche punto, vanificando così i vantaggi del sistema IT.

Conclusioni

Riassumendo, nei sistemi IT la norma:

- consente di non interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito quando si verifica un primo guasto;
- prescrive di interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito quando si verifica un secondo guasto, con il primo non estinto, adottando analoghe prescrizioni ai sistemi TT o TN, in funzione del tipo di collegamento delle masse verso terra;
- obbliga il monitoraggio dell'isolamento della rete verso terra in modo da segnalare la presenza di eventuali guasti.

6 La soluzione ABB SACE per la protezione contro i guasti a terra

6.1 Generalità

Come già visto nei precedenti paragrafi, nella grande maggioranza dei sistemi elettrici una protezione sicura ed efficace si realizza associando alle protezioni di massima corrente le protezioni contro i guasti a terra congiuntamente ad un buon impianto di terra.

Questa scelta permette di ottenere, oltre alla protezione contro i contatti indiretti, anche una protezione sicura e tempestiva contro i guasti a terra di valore modesto ove sia indispensabile prevenire i pericoli di incendio.

La corretta scelta dei dispositivi di protezione deve permettere inoltre di realizzare la selettività degli interventi contro i guasti a terra oltre a quelli contro le sovracorrenti.

Per venire incontro alle esigenze di un'adeguata protezione contro i guasti a terra ABB SACE ha realizzato le seguenti categorie di prodotto:

- **Interruttori modulari (Tab. 1)**
 - interruttori magnetotermici differenziali DS9.. con correnti nominali da 6 A a 40 A;
 - interruttori magnetotermici differenziali DS200 con correnti nominali da 6 A a 63 A;
 - interruttori magnetotermici differenziali DS800 con corrente nominale 125 A;
 - blocchi differenziali DDA 200 da accoppiare agli interruttori magnetotermici S200 con correnti nominali da 0.5 A a 63A;
 - blocchi differenziali DDA 60, DDA 70, DDA 90 da accoppiare agli interruttori magnetotermici S290 con correnti nominali da 80-100 A con curva caratteristica C;
 - blocchi differenziali DDA 800 da accoppiare con tutti gli interruttori della serie S800N e S800S con corrente nominale fino a 100 A. Questi blocchi sono disponibili in due taglie 63 A e 100 A;
 - interruttori differenziali puri F200 con correnti nominali da 16 A a 125 A.

Tab. 1: interruttori magnetotermici modulari System Pro M con protezione differenziale

	In [A]	DDA 200	DDA 60	DDA 70	DDA 90	DDA 800
S200	0,5÷63	•	-	-	-	-
S290	80÷100	-	•	•	•	-
S800	10÷100	-	-	-	-	•

- Interruttori scatolati (Tab.2)

- sganciatore differenziale RC221, da accoppiare agli interruttori Tmax T1, T2, T3 con correnti nominali da 16 A a 250 A;
- sganciatore differenziale RC222, da accoppiare agli interruttori Tmax T1, T2, T3, T4, T5 con correnti nominali da 16 A a 400 A;
- sganciatore differenziale RC223 da accoppiare sia all'interruttore Tmax T3 con correnti nominali fino a 225 A (quindi è la massima soglia di corrente settabile sull'interruttore) sia all'interruttore Tmax T4 con correnti nominali fino a 250 A;
- sganciatore elettronico PR222DS/P, PR223DS/P, PR223EF LSIG per gli interruttori Tmax T4, T5, T6 con correnti ininterrotte nominali da 100 A a 1000 A;
- sganciatore elettronico PR331, PR332 LSIG per l'interruttore Tmax T7 con correnti ininterrotte nominali da 800 A a 1600 A;
- sganciatore elettronico PR332 con protezione integrata differenziale per l'interruttore Tmax T7 con correnti ininterrotte nominali da 800 A a 1600 A.

Tab. 2: interruttori scatolati Tmax con protezione differenziale e contro i guasti a terra

T	In [A]	PR331						
		RC221	RC222	RC223	PR222 LSIG	PR223 LSIG	PR332 LSIG	PR332 LSIGc
T1	16 ÷ 160	•	•	-	-	-	-	-
T2	10 ÷ 160	•	•	-	-	-	-	-
T3	63 ÷ 250	•	•	• ¹	-	-	-	-
T4	100 ÷ 320	-	•	• ²	•	•	-	-
T5	320 ÷ 630	-	•	-	•	•	-	-
T6	630 ÷ 1000	-	-	-	•	•	-	-
T7	800 ÷ 1600	-	-	-	-	-	•	•

¹ La massima soglia settabile è pari a 225 A

² Solo per T4 250

- Interruttori automatici aperti (Tab.3)

- sganciatore elettronico PR331, PR332, PR333 LSIG per l'interruttore Emax X1 con correnti ininterrotte nominali da 630 A a 1600 A;
- interruttori automatici aperti con sganciatore elettronico PR121, PR122, PR123 LSIG per gli interruttori Emax E1 ÷ E6 con correnti ininterrotte nominali da 400 A a 6300 A;
- sganciatore elettronico PR332 con protezione integrata differenziale per l'interruttore Emax X1 con correnti ininterrotte nominali da 630 A a 1600 A;

- sganciatore elettronico PR122 con protezione integrata differenziale per gli interruttori Emax E1 ÷ E6 con correnti ininterrotte nominali da 400 A a 6300 A.

Tab. 3: interruttori aperti Emax con protezione differenziale e contro i guasti a terra

In [A]	PR331	PR121	PR332 LSIRc	PR122 LSIRc
	PR332 LSIG	PR123 LSIG		
X1 630 ÷ 1600	•	-	•	-
E1 400 ÷ 1600	-	•	-	•
E2 400 ÷ 2000	-	•	-	•
E3 400 ÷ 3200	-	•	-	•
E4 1250 ÷ 4000	-	•	-	-
E6 3200 ÷ 6300	-	•	-	-

- Relè differenziali con trasformatore esterno
 - RCQ: relè differenziale da quadro;
 - RD2: relè differenziale installabile su guida DIN.

6.2 La soluzione con differenziale

6.2.1 Interruttori modulari System pro M compact con protezione differenziale

Interruttori magnetotermici differenziali DS9..

La gamma di interruttori magnetotermici differenziali DS 9.. un polo più neutro di ABB SACE risponde all'esigenza di disporre di interruttori in grado di realizzare una prote-

zione mirata nelle diverse tipologie di circuiti monofase dell'impiantistica moderna.

Tutti gli interruttori sono caratterizzati da un'unica leva di comando bicolore rosso/verde e segnalino di intervento differenziale posto sulla parte frontale dell'apparecchio.

La gamma DS 9.. soddisfa tutte le esigenze di protezione dei circuiti monofase offrendo in due moduli la possibilità di scegliere fra tre valori differenti di poteri di interruzione, cinque valori differenti di corrente di intervento differenziale e, per ciascuno di essi, la possibilità di scegliere tra la protezione differenziale di tipo A e di tipo AC. Nella serie DS 951 è disponibile anche l'esecuzione A AP-R (antiperturbazione).

La gamma DS 9.. è composta dalle tre serie:

- DS 941 con potere di interruzione 4,5 kA
- DS 951 con potere di interruzione 6 kA
- DS 971 con potere di interruzione 10 kA

La protezione dai sovraccarichi e dai cortocircuiti è realizzata con la medesima componente magnetotermica degli interruttori magnetotermici della serie S 9.. (si rimanda al catalogo tecnico per ulteriori informazioni).

Per ciascuna serie sono disponibili tutte le sensibilità richieste da questi tipi di interruttori: 30 mA - 100 mA - 300 mA - 500 mA - 1000mA (escluso DS 951 di tipo A AP-R disponibile con sensibilità $I_{\Delta n} = 30$ mA).

La possibilità di scegliere per ciascuna serie la versione differenziale di tipo A, AC o A AP-R (con DS 951) consente di realizzare una protezione mirata dai contatti indiretti a seconda del carico connesso alla linea protetta.

Interruttori magnetotermici differenziali DS 9...

		DS941	DS951		DS971
Norma di riferimento		CEI EN 61009, CEI EN 60947-2			
Tipo (forma d'onda della corrente di dispersione rilevata)		AC, A	AC, A	A AP-R	AC, A
Caratteristica di intervento		istantanea			
Corrente nominale	In [A]	$6 \leq I_n \leq 40$	$6 \leq I_n \leq 40$	$6 \leq I_n \leq 32$	$6 \leq I_n \leq 32$
Poli		1P+N			
Tensione nominale unipolare	Ue [V]	230			
Tensione di isolamento	Ui [V]	500			
Frequenza nominale	[Hz]	50...60			
Potere di interruzione nominale CEI EN 61009	Icn [A]	4500	6000	6000	10000
Potere di interruzione nominale CEI EN 60947-2 2 poli - 230 V	Icu [kA]	6	10	10	10
	Ics [kA]	4.5	6	6	10
Caratteristica sganciatore magnetotermico	B: $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$	•	•		•
	C: $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	•	•	•	•
Sensibilità nominale $I_{\Delta n}$ [A]		0.01-0.03-0.1-0.3-0.5-1*	0.03-0.1-0.3-0.5-1*	0.03	0.03-0.1-0.3-0.5-1*

* Solo tipo AC

Interruttori magnetotermici differenziali DS200

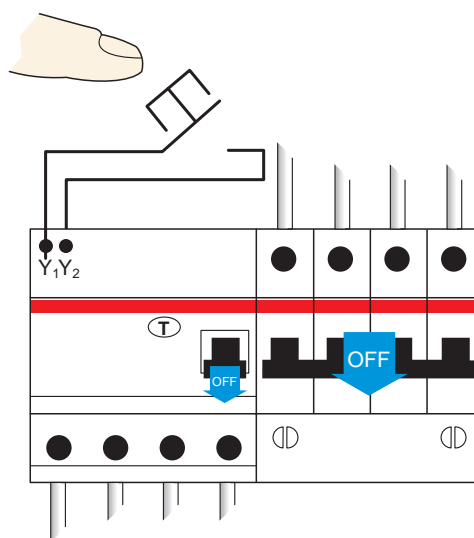
Gli interruttori automatici differenziali della serie DS200 L, DS200, DS200 M, DS200 P in versione bi-tri e quadripolare offrono sia la funzione di protezione dai contatti indiretti sia le funzioni magnetotermiche tipiche degli interruttori automatici (intervento per sovraccarico o corto circuito).

Le serie di interruttori magnetotermici differenziali sono derivate dalle corrispondenti serie di interruttori automatici S200 compact, di cui possiedono le stesse caratteristiche in termini di potere di interruzione, curva di intervento e corrente nominale. In particolare nella serie DS200 L la componente per la protezione delle sovracorrenti è costituita da uno sganciatore magnetotermico della serie S200 L; nella serie DS200 da uno sganciatore della serie S200; nella serie DS200 M da uno sganciatore della serie S200 M e nella serie DS200 P da uno sganciatore della serie S200 P.

Gli sganciatori differenziali della serie DS200 e DS200 M sono di tipo AC e di tipo A, mentre nei DS200 L sono di tipo AC e nei DS200 P di tipo A.

Nelle versioni con taglia 50 e 63 A sono presenti dei morsettoni di sgancio Y1 Y2 che consentono l'intervento

da remoto dello sganciatore differenziale tramite tasto esterno come mostra la seguente immagine.



Il range di funzionamento di tensione degli interruttori bipolari DS200 è di 110-254V, per le versioni tripolari e quadripolari è di 195-440V.

Interruttori magnetotermici differenziali DS 200

		DS200L	DS200	DS200 M	DS200 P	
Norma di riferimento		CEI EN 61009, CEI EN 60947-2				
Tipo (forma d'onda della corrente di dispersione rilevata)		AC	AC, A	AC, A	A	
Caratteristica di intervento		istantanea				
Corrente nominale	I_n [A]	6...32	6...63	6...63	6...25	32
Poli		2P	2P, 3P, 4P	2P, 3P, 4P	2P	
Tensione nominale		U_e [V]				
Tensione di isolamento		U_i [V]				
Frequenza nominale		[Hz]				
Potere di interruzione nominale CEI EN 61009		I_{cn} [A]	4500	6000	10000	25000 15000
Potere di interruzione nominale * CEI EN 60947-2		I_{cu} [kA]	6	10	15	25 15
		I_{cs} [kA]	4.5	7.5	11.2	12.5 10
Caratteristica sganciatore magnetotermico		B: $3 I_n \leq I_m \leq 5 I_n$		•	•	
		C: $5 I_n \leq I_m \leq 10 I_n$	•	•	•	
		K: $8 I_n \leq I_m \leq 14 I_n$		•		• •
Sensibilità nominale		$I_{\Delta n}$ [A]	0.03	0.03, 0.3 (solo tipo AC car. C - 2P, 4P)	0.03, 0.3 (solo tipo AC car. C - 4P)	0.03

*1P+N@230Vac, 2P, 3P, 4P @400Vac

Blocchi differenziali DDA 200 da accoppiare agli interruttori magnetotermici S200

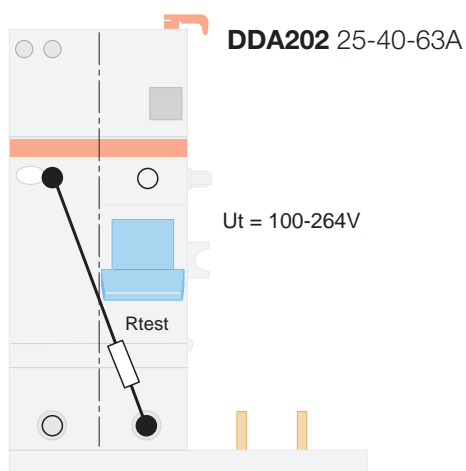
I blocchi differenziali si accoppiano agli interruttori magnetotermici con correnti nominali corrispondenti o inferiori per garantire la protezione sia contro le correnti di guasto a terra che le sovracorrenti e i cortocircuiti.

I blocchi differenziali DDA 200 sono predisposti per l'accoppiamento con gli interruttori magnetotermici S200 mediante gli elementi fissi di assemblaggio e i perni in plastica di cui sono provvisti.

Sono disponibili nei tipi AC, A, AP-R (antiperturbazione), S (selettivi), AE (per l'arresto di emergenza) e B (sensibile anche a correnti differenziali di tipo continuo o con minima ondulazione residua); la gamma include tutte le taglie fino a 63 A in tutte le sensibilità e configurazioni di poli. Inoltre, nelle taglie da 63A sono presenti dei morsetti che permettono lo sgancio a distanza utilizzando dei pulsanti NA.

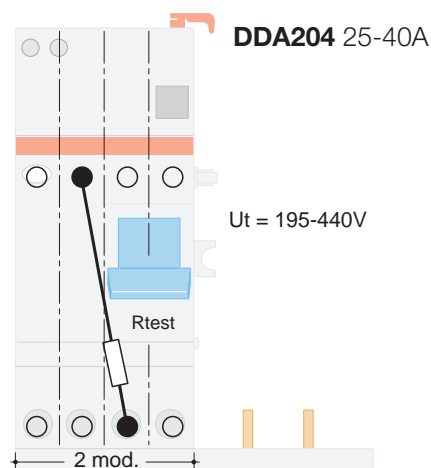
I blocchi differenziali DDA 200 standard 25-40A, grazie alla loro costruzione e alla scelta del range di funzionamento del tasto di prova, risultano adatti anche all'impiego in impianti elettrici delle installazioni navali (in cui la tensione tra la fase e il conduttore di neutro è 115-125V).

I blocchi differenziali bipolari hanno infatti range di funzionamento del tasto di prova 100-264V come illustrato in figura:

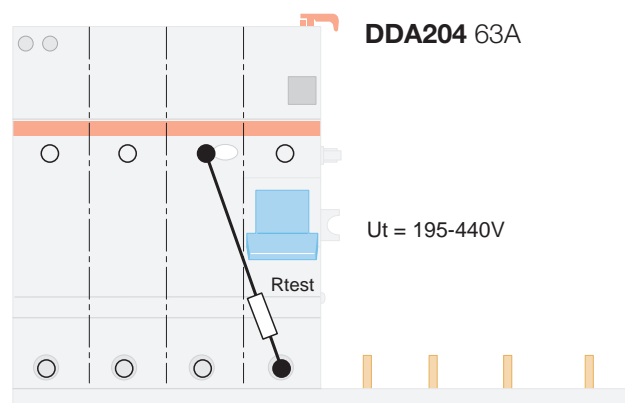


Nei blocchi quadripolari compatti in due moduli (disponibili nelle taglie 25-40A) il tasto di prova è collegato tra le due fasi centrali e ha un range di funzionamento compreso tra 195 e 440V; proprio per questa particolare configurazione risulta idoneo sia in sistemi con 400V tra le fasi (com'è nelle situazioni standard) sia nei casi di impianti elettrici in cui la tensione tra la fase e il conduttore di neutro è 115-125V (perché in questo caso tra

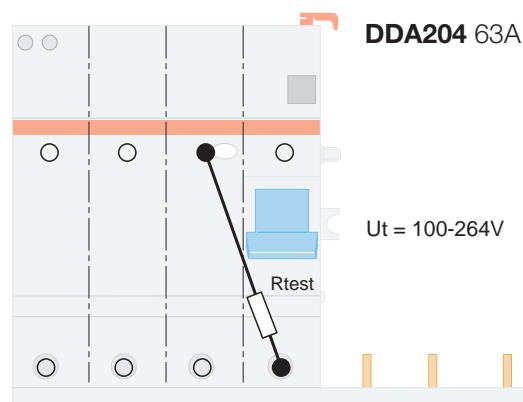
le fasi si avrebbe $115-125V \times 1,73 = 200/215V$ e cioè tensioni comprese nel range di funzionamento del tasto di prova).



Nei blocchi quadripolari taglia 63A il tasto di prova ha un range di funzionamento compreso tra 195 e 440V ed è collegato come illustrato nella figura di seguito.



Sono però disponibili i blocchi denominati DDA200 115V, dove il range di funzionamento del tasto di prova è compreso tra 100 e 264V in modo che anche per questa taglia sia possibile l'utilizzo dei blocchi DDA200 negli impianti elettrici delle installazioni navali con tensione tra la fase e il conduttore di neutro di 115-125V.



Blocchi differenziali DDA 200

	DDA200 AC	DDA200 A	DDA200 A AE	DDA200 AC AP-R	DDA200 A AP-R	DDA200 AC-S	DDA200 A S	DDA200 B/B-S
Norma di riferimento	CEI EN 61009 App. G							
Tipo (forma d'onda della corrente di dispersione rilevata)	AC	A	A	AC	A	AC	A	B
Caratteristica di intervento	istantanea					selettiva		Istantanea-selettiva
Corrente nominale I_n [A]	25, 40, 63	25, 40, 63	63	25, 40, 63	25, 40, 63	63	63	63
Poli	2P, 3P, 4P							
Tensione nominale U_e [V]	230/400 – 240/415							
Tensione di isolamento U_i [V]	500							
Frequenza nominale [Hz]	50...60							
Potere di interruzione nominale CEI EN 61009 I_{cn} [A]	I_{cn} dell'interruttore automatico accoppiato							
Potere di interruzione nominale CEI EN 60947-2 I_{cu} [kA] I_{cs} [kA]	I_{cu}/I_{cs} dell'interruttore automatico accoppiato							
Sensibilità nominale $I_{\Delta n}$ [A]	0.01...1	0.01...1	0.03...1	0.03	0.03	0.1...1	0.1...1	0.03-0.3

Blocchi differenziali DDA 60, DDA 70, DDA 90 da accoppiare agli interruttori magnetotermici S290.

Per l'accoppiamento con gli interruttori S 290 sono disponibili i blocchi differenziali DDA 60 tipo AC, DDA 70 tipo A e DDA 90 tipo S

Blocchi differenziali DDA 60, DDA 70, DDA 90

	DDA60	DDA70	DDA90
Norma di riferimento	CEI EN 61009 App. G		
Tipo (forma d'onda della corrente di dispersione rilevata)	AC	A	A
Caratteristica di intervento	istantanea	istantanea	selettiva
Corrente nominale I_n [A]	100		
Poli	2P, 4P		
Tensione nominale U_e [V]	230/400		
Tensione di isolamento U_i [V]	500		
Frequenza nominale [Hz]	50...60		
Potere di interruzione nominale CEI EN 61009 I_{cn} [A]	I_{cn} dell'interruttore automatico accoppiato		
Potere di interruzione nominale CEI EN 60947-2 I_{cu} [kA] I_{cs} [kA]	I_{cu}/I_{cs} dell'interruttore automatico accoppiato		
Sensibilità nominale $I_{\Delta n}$ [A]	0.03 - 0.3	0.03 - 0.3	0.3 - 1

Blocchi differenziali DDA 800 da accoppiare agli interruttori magnetotermici S800N e S800S.

Per l'accoppiamento con gli interruttori S 800N e S800S sono disponibili i blocchi differenziali DDA 800 tipo AC, A, A selettivi ed A AP-R (antiperturbazione).

Blocchi differenziali DDA 800

	DDA800 AC	DDA800 A	DDA800 A S	DDA800 A AP-R
Norma di riferimento	CEI EN 60947-2 App. B			
Tipo (forma d'onda della corrente di dispersione rilevata)	AC	A	A (selettivo)	A (antiperturbazione)
Caratteristica di intervento	istantanea		selettiva	istantanea
Corrente nominale I_n [A]	63-100			
Poli	2P, 3P, 4P			
Tensione nominale U_e [V]	230/400; 240/415; 400/690			
Tensione di isolamento U_i [V]	690			
Frequenza nominale [Hz]	50...60			
Potere di interruzione nominale CEI EN 60947-2 I_{cu} [kA] I_{cs} [kA]	I _{cu} /I _{cs} dell'interruttore automatico accoppiato			
Sensibilità nominale ΔI_n [A]	0.03 - 0.3	0.03 - 0.3-0.5	0.3 - 1	0.3

Interruttori differenziali puri F200

La nuova gamma di interruttori differenziali System pro-M compact comprende un'ampia offerta di interruttori differenziali puri F 200. I tipi AC e A sia istantanei che selettivi sono integrati da alcune configurazioni per applicazioni speciali, come il tipo AP-R anti-perturbazione e la versione con neutro a sinistra. Sono disponibili tutte le taglie fino a 63 A con tutti i valori di sensibilità fino a 1A, nelle configurazioni 2P e 4P.

Sono inoltre disponibili i differenziali puri con correnti nominali da 80-100-125A con sensibilità da 0,03 a 0,5A tipo A, AC, A antiperturbazione e A selettivo.

L'offerta dei differenziali puri F200 comprende inoltre i tipi B con taglie da 63A e sensibilità 0,03 - 0,3A e il tipo B selettivo da 63A con 0,3A di sensibilità.

Interruttori differenziali puri F200

	F200 AC	F200 A	F200 AC AP-R	F200 A AP-R	F200 A S	F200 B/B-S
Norma di riferimento	CEI EN 61008					
Tipo (forma d'onda della corrente di dispersione rilevata)	AC	A	AC	A	A	B
Caratteristica di intervento	istantanea				selettiva	istantanea-selettiva
Corrente nominale I_n [A]	16, 25, 40, 63		25, 40, 63		40, 63	40, 63
Poli	2P, 4P					4P
Tensione nominale U_e [V]	230/400 - 240/415					
Tensione di isolamento U_i [V]	500					
Frequenza nominale [Hz]	50...60					
Sensibilità nominale ΔI_n [A]	0.01...0.5		0.03		0.1...1	0.03-0.3

6.2.2 Sganciatori differenziali per interruttori scatolati Tmax

Tutti gli interruttori della serie Tmax sono predisposti per il montaggio abbinato con sganciatori differenziali. In particolare, gli interruttori Tmax T1, T2, T3 tripolari e tetrapolari possono essere abbinati a sganciatori differenziali della serie RC221 o RC222, gli interruttori T4 e T5 tetrapolari con RC222 sottoposti mentre al T3-T4 è abbinabile lo sganciatore differenziale della serie RC223.

Gli interruttori automatici differenziali che ne derivano garantiscono, oltre alla protezione contro sovraccarichi e cortocircuiti tipica degli interruttori automatici, anche quella delle persone e contro le correnti di guasto verso terra, assicurando in tal modo la protezione dai contatti indiretti e dai rischi di incendio. Gli sganciatori differenziali possono essere montati anche sugli interruttori di manovra-sezionatori Tmax T1D, T3D, T4D e T5D; in tal caso l'apparecchio derivato è un interruttore differenziale "puro", che garantisce cioè la sola protezione differenziale e non quelle tipiche degli interruttori automatici. Gli interruttori differenziali "puri" sono sensibili alla sola corrente di guasto a terra e trovano applicazione generalmente come sezionatori principali in piccoli quadri di distribuzione verso utenze finali.

L'utilizzo di interruttori differenziali "puri" e "non puri" permette il monitoraggio continuo dello stato di isolamento dell'impianto, assicurando un'efficace protezione contro i contatti indiretti, i rischi di incendio e di esplosione e, nei casi di dispositivi con $I_{\Delta n} = 30$ mA, assicurano la protezione addizionale delle persone contro i contatti diretti.

Gli sganciatori differenziali sono realizzati in conformità alla norma:

- IEC 60947-2 Appendice B
- IEC 61000: per la protezione contro gli sganci intempestivi
- IEC 60755 (RCQ): per l'insensibilità alle componenti continue di corrente.

Sganciatori differenziali RC221, RC222 per T1, T2, T3

Gli sganciatori differenziali RC221 e RC222 possono essere installati sia sugli interruttori automatici Tmax T1, T2, T3, sia sugli interruttori di manovra sezionatori T1D, T3D. Le versioni disponibili rendono possibile il loro utilizzo sia con interruttori tripolari sia tetrapolari, in esecuzione fissa.

Sono realizzati con tecnologia elettronica ed agiscono direttamente sull'interruttore mediante un solenoide di apertura, fornito con lo sganciatore differenziale, da alloggiare nell'apposita cava ricavata nella zona del polo di sinistra. Non necessitano di alimentazione ausiliaria poiché vengono alimentati direttamente dalla rete e la funzionalità è garantita anche con una sola fase più neutro o due sole fasi in tensione e in presenza di correnti unidi-

rezionali pulsanti con componenti continue (tipo A).

Lo sganciatore RC222 permette lo sgancio a distanza dell'interruttore tramite un pulsante esterno normalmente chiuso realizzando in tal modo un circuito a sicurezza positiva (AE).

Sganciatori differenziali RC222 per T4 e T5

Con T4 e T5 in versione tetrapolare è possibile utilizzare uno sganciatore differenziale RC222 in posizione sottoposta.

Questo sganciatore differenziale RC222, in esecuzione fissa, è facilmente trasformabile in rimovibile aggiungendo l'apposito kit di trasformazione. Lo sganciatore RC222 è realizzato con tecnologia elettronica ed agisce direttamente sull'interruttore mediante un solenoide di apertura, fornito con lo sganciatore differenziale, da alloggiare nell'apposita cava ricavata nella zona del polo di sinistra. Non necessita di alimentazione ausiliaria poiché viene alimentato direttamente dalla rete e la funzionalità è garantita anche con una sola fase più neutro o due sole fasi in tensione e in presenza di correnti unidirezionali pulsanti con componenti continue.

Lo sganciatore differenziale RC222 può essere alimentato indifferentemente dall'alto o dal basso. È disponibile un dispositivo di disconnessione dell'alimentazione in fase di realizzazione dei test di isolamento.

Lo sganciatore RC222 permette lo sgancio a distanza dell'interruttore tramite un pulsante esterno normalmente chiuso realizzando in tal modo un circuito a sicurezza positiva (AE).

Sganciatori differenziali RC223 (di tipo B)

ABB SACE ha sviluppato, accanto alla famiglia di sganciatori differenziali precedentemente illustrata, lo sganciatore differenziale RC223 (di tipo B), abbinabile con l'interruttore Tmax T4 tetrapolare in versione fissa o rimovibile/estraibile e con il T3 tetrapolare in versione fissa. È caratterizzato dalle stesse tipologie di riferimento dello sganciatore RC222, ma può vantare anche la rispondenza alla tipologia di funzionamento B che garantisce la sensibilità alle correnti di guasto differenziali con componenti alternate, alternate pulsanti e in corrente continua.

Lo sganciatore RC223 permette lo sgancio a distanza dell'interruttore tramite un pulsante esterno normalmente chiuso realizzando in tal modo un circuito a sicurezza positiva (AE).

Le norme di riferimento sono: IEC 60947-1, IEC 60947-2 Appendice B, IEC 60755.

Oltre alle segnalazioni e alle regolazioni tipiche del differenziale RC222, il differenziale RC223 permette anche la selezione della soglia massima di sensibilità alla frequenza del guasto differenziale (3 step: 400 – 700 –

1000 Hz). Risulta quindi possibile adattare il dispositivo differenziale alle diverse esigenze d'impianto industriale in funzione delle frequenze di guasto presunte generate a valle dello sganciatore.

Tipiche installazioni che possono richiedere soglie di frequenza diverse da quelle standard (50 – 60Hz) sono gli impianti di saldatura per industria automobilistica (1000Hz), industria tessile (700Hz), gli aeroporti e drives trifasi (400Hz).

6.2.3 Sganciatori elettronici PR... per interruttori scatolati e aperti con protezione integrata differenziale

Gli interruttori Emax e l'interruttore Tmax T7 possono essere equipaggiati con un toroide montato sul retro dell'interruttore in modo tale da garantire la protezione contro i guasti a terra con rilevazione della corrente differenziale.

In particolare, i tipi di sganciatore elettronico in grado di garantire questa funzione sono:

- PR122/P LSI Rc e PR332 LSI Rc con “modulo misure”;
 - PR122/P LSIg e PR332/P LSIg con “modulo misure” e il rating plug Rc;
 - PR123/P LSIg e PR333/P LSIg con il rating plug Rc;
- Gli sganciatori PR332 e PR333 che garantiscono la protezione differenziale possono essere forniti con gli interruttori Tmax T7 (solo con PR332), Emax X1 in versione tri- e tetrapolare, mentre gli sganciatori PR122 e PR123 che garantiscono la stessa funzione possono essere forniti con gli interruttori Emax E1 ed E2, in versione tri- e tetrapolare ed Emax E3 (soltanto versione tripolare). Grazie all'ampia gamma di settaggi, questi sganciatori elettronici sono idonei per applicazioni nelle quali si voglia realizzare un sistema di protezione differenziale coordinato ai vari livelli di distribuzione, dal quadro principale all'utenza finale.

Tab. 4

	RC221	RC222		RC223
Taglia	T1-T2-T3	T1-T2-T3	T4 e T5 4p	T3 e T4 4p
Tipologia	forma a “L”	forma a “L”	sottoposto	sottoposto
Tecnologia	a microprocessore	a microprocessore	a microprocessore	a microprocessore
Azione	solenioide	solenioide	solenioide	solenioide
Tensione primaria di funzionamento ⁽¹⁾	[V] 85...500	85...500	85...500	110...440
Frequenza di funzionamento	[Hz] 45...66	45...66	45...66	0-1000
Autoalimentazione	■	■	■	■
Campo di funzionamento del test ⁽¹⁾	85...500	85...500	85...500	110...500
Corrente nominale di impiego	[A] fino a 250 A	fino a 250 A	fino a 500 A	fino a 250 A ⁽²⁾
Soglie di intervento regolabili	[A] 0.03 - 0.1 - 0.3 0.5 - 1 - 3	0.03 - 0.05 - 0.1 - 0.3 0.5 - 1 - 3 - 5 - 10	0.03 - 0.05 - 0.1 0.3 - 0.5 - 1 - 3 - 5 - 10	0.03 - 0.05 - 0.1 0.3 - 0.5 - 1
Tempi di intervento regolabili	[s] istantaneo	istantaneo - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 1 - 2 - 3	istantaneo - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 1 - 2 - 3	istantaneo 0 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 1 - 2 - 3
Tolleranza su tempi di intervento		±20%	±20%	±20%
Segnalazione locale di intervento	■	■	■	■
SA con contatto di scambio per la segnalazione di intervento	■	■	■	■
Ingresso per apertura a distanza		■	■	■
Contatto NA per la segnalazione di preallarme		■	■	■
Contatto NA per la segnalazione di allarme		■	■	■
Indicazione di preallarme del 25% I _{Δn} (tolleranza ± 3%)	■	■	■	■
Indicazione temporizzazione di allarme al 75% I _{Δn} (tolleranza ± 3%)	■	■	■	■
Reset automatico del differenziale	■	■	■	■
Tipo A per corrente alternata pulsante, AC per corrente alternata	■	■	■	■
Tipo AE con sgancio a distanza		■	■	■
Tipo B per corrente pulsante e corrente continua				■
Tipo S selettivo		■	■	■
Tasto per prova di isolamento	■	■	■	■
Alimentazione dall'alto e dal basso	■	■	■	■
Montaggio con interruttori tripolari	■	■		■
Montaggio con interruttori tetrapolari	■	■	■	■
Kit di conversione dell'interruttore con differenziale da fisso a rimovibile/estraibile			■	■ ⁽³⁾

⁽¹⁾ Funzionamento fino a 50 V fase-neutro (55 V per RC223)

⁽²⁾ Per T3 fino a 225 A

⁽³⁾ Solo per T4

Questi relé elettronici per protezione differenziale sono indicati per l'impiego in presenza di:

- correnti di terra alternate (tipo AC)
- correnti di terra alternate e/o pulsanti con componenti continue (tipo A).

La tabella seguente illustra le principali caratteristiche tecniche della protezione differenziale:

Tab. 5

Sensibilità $I_{\Delta n}$	[A]	3 - 5 - 7 - 10 - 20 - 30
Tempo di intervento	[s]	0.06 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.5 - 0.8
Tipo		AC e A

6.2.4 Relè differenziale con trasformatore esterno

Gli interruttori ABB SACE possono essere abbinati anche ai relè differenziali RCQ e RD2 con toroide separato (da installare esternamente sui conduttori della linea) per soddisfare esigenze in cui le condizioni di installazione sono particolarmente restrittive, come interruttori già installati, spazio limitato nella cella interruttore etc.

Date le caratteristiche di regolazione della corrente differenziale e dei tempi d' intervento, i relè differenziali con trasformatore esterno possono essere inseriti agevolmente anche negli stadi terminali dell'impianto; in particolare, selezionando la corrente differenziale di intervento $I_{\Delta n} = 0.03$ A con intervento istantaneo, l'interruttore assicura la protezione contro i contatti indiretti

Tab. 6

Relè differenziale		SACE RCQ
Tensione di alimentazione	AC [V]	80...500
	DC [V]	48...125
Frequenza di funzionamento	[Hz]	45-66
Regolazione soglia di intervento $I_{\Delta n}$	1a gamma di regolazioni	[A] 0.03 - 0.05 - 0.1 - 0.3 - 0.5
	2a gamma di regolazioni	[A] 1 - 3 - 5 - 10 - 30
Regolazione soglia di intervento	[s]	0 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 0.7 - 1 - 2 - 3 - 5
Regolazione soglia di preallarme	% x $I_{\Delta n}$	25...75% x $I_{\Delta n}$
Gamma di impiego dei trasformatori chiusi	Trasformatore toroidale Ø 60[mm]	[A] 0.03...30
	Trasformatore toroidale Ø 100[mm]	[A] 0.03...30
	Trasformatore toroidale Ø 185 [mm]	[A] 0.1...30
Gamma di impiego dei trasformatori apribili	Trasformatore toroidale Ø 110 [mm]	[A] 0.3...30
	Trasformatore toroidale Ø 180[mm]	[A] 0.3...30
	Trasformatore toroidale Ø 230 [mm]	[A] 1...30
Segnalazione preallarme presoglia		LED giallo lampeggiante 1 contatto di scambio N.A. 6 A - 250V AC 50/60 Hz
Segnalazione di intervento relè differenziale		Indicazione magnetica a 2 contatti di scambio (N.A. N.C.; NA) 6 A - 250 V AC 50/60 Hz
Comando di apertura a distanza		Contatto N.A. Tempo di intervento 15 ms
Collegamento di trasformatore toroidale		Tramite 4 conduttori attorcigliati. Lunghezza massima 5m
Dimensioni LxHxP	[mm]	96 x 96 x 131.5
Foratura per montaggio su porta	[mm]	92 x 92

e rappresenta una misura aggiuntiva contro i contatti diretti anche in presenza di valori di resistenza di terra (ad esempio in impianti TT) particolarmente elevati.

Tali differenziali sono del tipo ad azione indiretta ossia il comando di apertura dato dal relè deve provocare l'apertura dell'interruttore attraverso una bobine di sgancio; tale comando è da realizzare a cura dell'utente.

Relè differenziale da quadro SACE RCQ

Gli interruttori modulari System pro M compact, scatolati Tmax e aperti Emax possono essere abbinati anche al relè differenziale da quadro SACE RCQ con toroide separato (da installare esternamente sui conduttori della linea) e soddisfano esigenze con soglie fino a 30 A di intervento e tempi fino a 5 s

Il relè da quadro SACE RCQ, grazie all'ampia gamma di regolazioni, risulta idoneo per applicazioni nelle quali si vuole realizzare un sistema di protezione differenziale coordinato ai vari livelli di distribuzione, dal quadro principale all'utenza finale. È particolarmente indicato sia dove è richiesta una protezione differenziale a bassa sensibilità, per esempio in catene selettive parziali (amperometrica) o totali (cronometrica), sia per applicazioni ad alta sensibilità (sensibilità fisiologica) per realizzare la protezione addizionale delle persone contro i contatti diretti.

Il relè SACE RCQ è un differenziale di tipo A e rileva correnti differenziali sia di tipo alternato che pulsante con componenti continue.

Relè differenziale RD2

Analogamente a quanto appena detto gli interruttori modulari System M compact e gli scatolati Tmax di piccola taglia possono essere abbinati anche al relè differenziale RD2 con toroide separato (da installare esternamente sui conduttori della linea) e soddisfano esigenze con soglie fino a 2 A di intervento e tempi fino a 5 s.

Le applicazioni del relè differenziale RD2 sono analoghe a quelle dell' RCQ ed è quindi particolarmente indicato sia dove è richiesta una protezione differenziale a bassa sensibilità, per esempio in catene selettive parziali (amperometrica) o totali (cronometrica), sia per applicazioni ad alta sensibilità (sensibilità fisiologica) per realizzare la protezione aggiuntiva delle persone contro i contatti diretti.

Il relè RD2 è un differenziale di tipo A e rileva correnti differenziali sia di tipo alternato che pulsante unidirezionali. Mediante appositi minidip è possibile selezionare il tempo di intervento e regolare la sensibilità. Inoltre può essere installato direttamente su guida DIN

Caratteristiche tecniche		
Tensione di funzionamento	[V]	230÷400 c.a. (RD2) 48÷150 c.a./c.c. (RD2-48)
Frequenza	[Hz]	50/60
Regolazioni sensibilità $I_{\Delta n}$	[A]	0.03; 0.1; 0.3; 0.5; 1; 2
Regolazioni tempo di intervento	[s]	Fast (istantaneo); 0.3; 0.5; 1; 2; 5
Portata contatto	[A]	10 a 250 V c.a. (resistivi)
Natura del contatto		in commutazione
Temperatura di funzionamento	[°C]	-5...+ 40 ±5
Moduli	[n°]	2
Norme		CEI EN 62020

6.3 La soluzione con funzione G contro i guasti a terra

Nel campo delle correnti nominali da 100 A a 6300 A la protezione contro i guasti a terra viene assicurata dagli interruttori ABB SACE in associazione con gli sganciatori elettronici:

- PR222DS/P (PR222DS/PD), PR223DS, PR223EF per interruttori automatici scatolati Tmax T4, T5, T6 con correnti ininterrotte nominali da 250 A a 1000 A;
- PR331, PR332 per interruttori automatici scatolati Tmax T7 con correnti nominali da 800 A a 1600 A;
- PR331, PR332, PR333 per interruttori automatici aperti Emax X1 con correnti nominali da 630 A a 1600 A;
- PR121/P, PR122/P, PR123/P per interruttori automatici aperti Emax con correnti nominali da 400 A a 6300A.

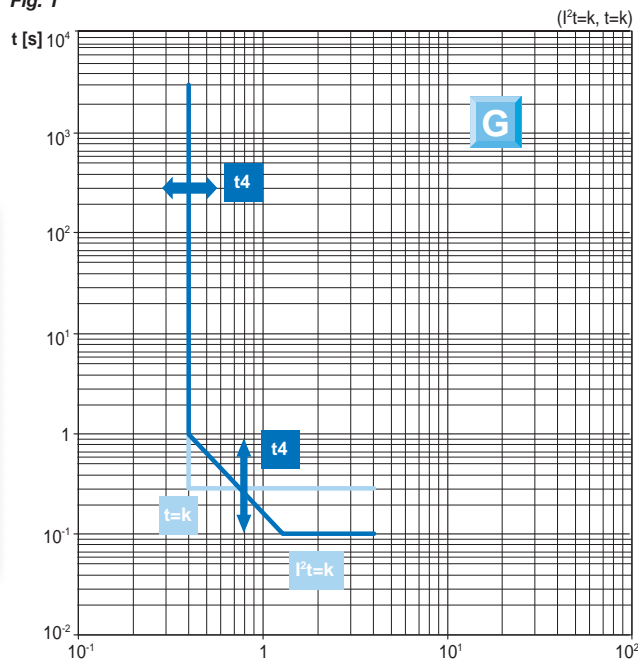
Gli sganciatori suddetti devono essere dotati della funzione G per la protezione contro i guasti a terra con

caratteristica di intervento a tempo inverso o a tempo costante. Tutte le caratteristiche tecniche sono raccolte nei cataloghi tecnici e nella tabella che segue sono riportati i settaggi possibili:

Tab. 7

		I_4	t_4
PR222	$I^2t=k$	0.2 - 0.25 - 0.45 - 0.55 - 0.75 - 0.8 - $1 \times I_n$ sett. manuale	0.1s, 0.2s, 0.4s, 0.8s sett. manuale
		0.2... $1 \times I_n$ (step 0.1 $\times I_n$) sett. elettronico	0.1...0.8s (step 0.01s) sett. elettronico
PR223	$I^2t=k$	0.2... $1 \times I_n$ (step 0.1 $\times I_n$)	0.1...0.8s (step 0.01s) sett. elettronico
PR331	$I^2t=k - t=k$	0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.6 - 0.8 - 0.9 - $1 \times I_n$	0.1s, 0.2s, 0.4s, 0.8s
PR332 - PR333	$I^2t=k - t=k$	0.2... $1 \times I_n$ (step 0.02 $\times I_n$)	0.1...1s (step 0.05s)
PR121	$I^2t=k - t=k$	0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.6 - 0.8 - 0.9 - $1 \times I_n$	0.1s, 0.2s, 0.4s, 0.8s
PR122 - PR123	$I^2t=k - t=k$	0.2... $1 \times I_n$ (step 0.02 $\times I_n$)	0.1...1s (step 0.05s)

Fig. 1



Gli sganciatori elettronici ABB SACE sono realizzati utilizzando la tecnologia elettronica a microprocessore. Questo consente di ottenere funzioni di protezione che garantiscono un'elevata affidabilità, precisione degli interventi e insensibilità all'ambiente esterno.

Gli sganciatori elettronici a microprocessore sono autoalimentati e garantiscono il corretto funzionamento delle funzioni di protezione anche con una sola fase attraversata dalla corrente. Lo sganciatore di protezione si compone dei trasformatori amperometrici (tre o quattro in base alla polarità dell'interruttore) dell'unità di protezione PR.. e da un solenoide di apertura che agisce direttamente sul gruppo comando dell'interruttore.

I trasformatori amperometrici forniscono l'energia necessaria al corretto funzionamento della protezione e il segnale necessario a rilevare la corrente.

Vantaggi derivanti dall'impiego degli sganciatori elettronici nella protezione contro i contatti indiretti

Si consideri a titolo di esempio la protezione contro i contatti indiretti in un'utenza terminale di un sistema TN-S.

Le caratteristiche dell'impianto sono:

- sistema trifase senza neutro
- sistema di distribuzione TN-S
- tensione 400 V
- frequenza 50 Hz
- corrente di cortocircuito $I_k = 30 \text{ kA}$
- lunghezza linea $L = 200 \text{ m}$
- corrente di impiego $I_b = 187 \text{ A}$
- cavo unipolare in rame con isolamento in PVC
- sezione conduttore di fase $S = 95 \text{ mm}^2$
- sezione conduttore di protezione $S_{PE} = 50 \text{ mm}^2$
- portata del cavo $I_z = 207 \text{ A}$

Accertata l'idoneità degli interruttori T3N250 $I_n = 200 \text{ A}$ con sganciatore termomagnetico e T4N250 $I_n = 250 \text{ A}$ con sganciatore elettronico PR222DS/P LSIG per quanto concerne la corrente nominale, il potere di interruzione e la protezione del cavo dal cortocircuito e dal sovraccarico, si verifica la massima lunghezza protetta contro i contatti indiretti⁷ esaminando in alternativa le prestazioni dei due interruttori con sganciatore termomagnetico e elettronico.

La verifica della lunghezza di cavo protetta contro i contatti indiretti viene effettuata conformemente a quanto proposto dalla Norma CEI 64-8/5 relativamente alla verifica della tempestività di intervento dei dispositivi di protezione contro il cortocircuito, tenendo conto dell'analogia esistente fra il problema della massima lunghezza protetta contro il corto circuito e quello della massima lunghezza protetta contro i contatti indiretti.

La formula seguente (ricavata dalla legge di Ohm applicata al circuito di guasto) fornisce la massima lunghezza protetta dai contatti indiretti:

$$L_{max} = \frac{0.8 \cdot U_0}{1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{I_a}{S}}$$

dove

U_0 è la tensione di fase di alimentazione in volt (230 V);

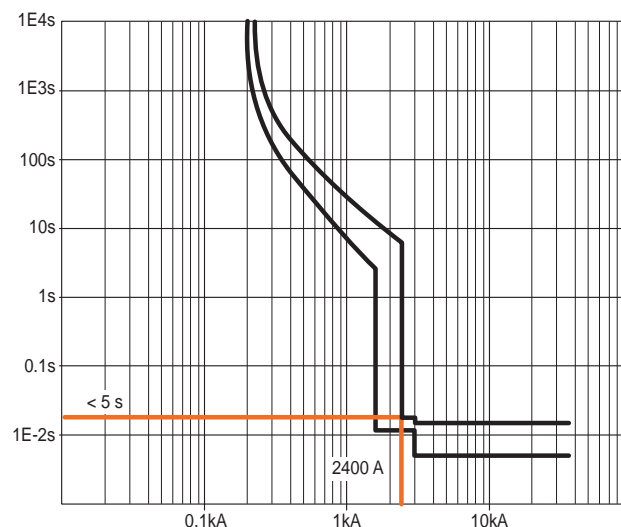
0.8 è un coefficiente che tiene conto di una riduzione dell'80% della tensione di alimentazione per effetto della corrente di corto circuito;

- 1.5 è un coefficiente che tiene conto dell'aumento del valore della resistenza durante il corto circuito;
- ρ è la resistività del conduttore a 20 °C (per il rame 0.018 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$);
- m è il rapporto tra la sezione del conduttore di fase e quella del conduttore di protezione;
- I_a la è la corrente che provoca lo sgancio dell'interruttore nei tempi previsti dalla norma considerando anche la tolleranza (solitamente il 20%);
- S è la sezione del conduttore di fase.

Interruttore T3N250 In 200A con sganciatore termomagnetico

sganciatore	$I_n = 200 \text{ A}$
campo di regolazione termico	$I_1 = 140 - 200 \text{ A}$
corrente di intervento entro 5s	$I_a = 2400 \text{ A}$
tolleranza sulla corrente di intervento	$\pm 20\%$

Fig. 2



Dalla formula risulta

$$L_{max} = (0.8 \cdot 230 \cdot 95) / [1.5 \cdot 0.018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 2400] = 93 \text{ m}$$

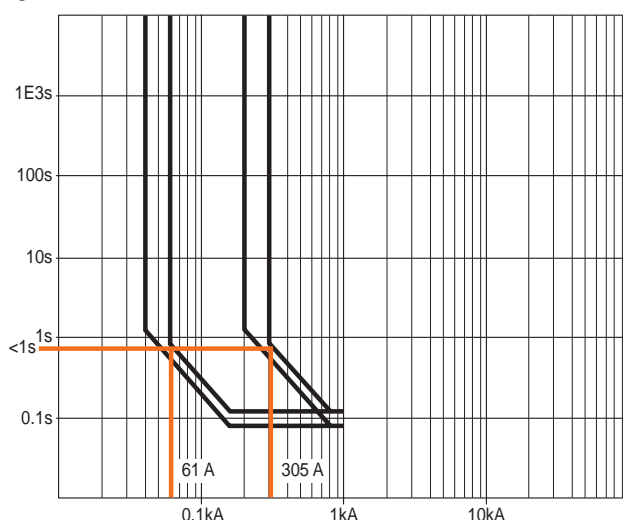
La lunghezza del cavo dell'impianto è 200 m, pertanto la protezione non è completa.

⁷ La verifica della lunghezza massima protetta nasce dall'esplicitare la relazione $Z_{\Sigma} \cdot I_n \leq U_0$ per la protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TN, in funzione della lunghezza del cavo. Introducendo nella formula la minima corrente che provoca lo sgancio istantaneo dell'interruttore si ottiene una lunghezza massima alla quale corrisponde una corrente di cortocircuito minima per guasto fase - terra che può essere eliminata in tempi rapidi dall'interruttore, garantendo in tal modo la protezione dai contatti indiretti.

Interruttore T4N250 con sganciatore elettronico PR 222DS/P L SIG

corrente nominale	$I_n = 250 \text{ A}$
campo di regolazione della funzione G	$I_4 = 50 - 250 \text{ A}$
corrente di intervento entro 5s al minimo settaggio	$I_a = 61 \text{ A}$ per $I_4 = 50 \text{ A}$
corrente di intervento entro 5s al massimo settaggio	$I_a = 305 \text{ A}$ per $I_4 = 250 \text{ A}$
tolleranza sulla corrente di intervento	$\pm 10\%$

Fig. 3



Dalla formula risulta

$$L_{\max} = (0.8 \cdot 230 \cdot 95) / [1.5 \cdot 0.018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 61] = 3659 \text{ m}$$

con $I_4 = 50 \text{ A}$

e

$$L_{\max} = (0.8 \cdot 230 \cdot 95) / [1.5 \cdot 0.018 \cdot (1 + 95/50) \cdot 305] = 731 \text{ m}$$

con $I_4 = 250 \text{ A}$

Si conclude pertanto che, grazie all'impiego dello sganciatore elettronico, il cavo è protetto per tutta la sua lunghezza di 200 m.

La protezione si può ottenere con la regolazione della funzione G con tutti i valori compresi fra 50 e 250 A.

Questa ampia possibilità ed il relativamente modesto valore delle correnti di regolazione, contribuiscono a rendere più facili i coordinamenti delle protezioni, concretizzando quanto affermato in precedenza circa i vantaggi che si conseguono con l'impiego della protezione contro i guasti a terra, relativamente alla sicurezza delle persone ed alla affidabilità degli impianti.

6.4 Funzione G o differenziale?

Come descritto nei capitoli precedenti, ABB SACE offre due tipologie di prodotti per la protezione contro i guasti a terra:

- protezione differenziale da accoppiare agli interruttori;
- funzione per la protezione contro i guasti G integrata negli sganciatori elettronici degli interruttori.

La protezione differenziale utilizza un toroide di materiale ferromagnetico all'interno del quale vengono fatti passare i conduttori attivi del circuito; in presenza di guasto a terra la somma vettoriale delle correnti nei conduttori è diversa da zero e se superiore alla soglia impostata fa intervenire la protezione. Gli sganciatori differenziali ABB SACE consentono di impostare la soglia di corrente di intervento da 30 mA a 30 A con tempi di ritardo da 0 (istantaneo) a 5s (si rimanda al catalogo tecnico per maggiori dettagli).

Il principio di funzionamento della funzione G è simile alla protezione differenziale solo che la somma vettoriale delle correnti è elaborata da un microprocessore e non è presente il trasformatore toroidale. La funzione G degli sganciatori ABB SACE consente di impostare la soglia di corrente di intervento da 0.2 a una volta la corrente nominale dell'interruttore accoppiato e tempi di ritardo da 0.1 a 1s (si rimanda al catalogo tecnico per maggiori dettagli).

La scelta su quale delle due protezioni adottare deve essere fatta analizzando attentamente non solo il sistema di distribuzione ma anche il valore della corrente di cortocircuito; il rispetto delle prescrizioni della norma implica che l'interruttore deve essere in grado di rilevare una corrente di guasto e di estinguerla nei tempi adatti ad evitare gli effetti dannosi della corrente elettrica.

6.4.1 Applicazioni tipiche degli interruttori differenziali

Gli interruttori differenziali sono particolarmente idonei per la protezione delle persone contro i contatti indiretti e per la protezione addizionale contro i contatti diretti. L'impiego degli interruttori differenziali per la protezione dai contatti indiretti si rende indispensabile ad esempio nei seguenti casi:

- sistema di distribuzione TT: come visto in precedenza l'utilizzo del differenziale è diventato obbligatorio in questo sistema di distribuzione;
- messa a terra delle masse carente.

Può comunque essere necessario o utile ricorrere a queste protezioni anche in altri casi, come ad esempio quando l'impianto di terra è unico (sistema TN-S) se si verifica una di queste condizioni:

- le normali protezioni non riescono a proteggere nei limiti delle prescrizioni della norma;
- esistono condizioni ambientali pericolose (umidità eccessiva);
- guasti con impedenza non trascurabile.

Tra gli impianti in cui si verifica l'utilità di tali interruttori ricordiamo in particolare quelli relativi a:

- ogni tipo di cantiere (edile, navale, ecc.);
- apparecchiature o impianti mobili;
- ambienti ospedalieri e similari;
- cave e miniere;
- installazioni elettriche in campeggi;
- piscine, saune, mense e generalmente impianti con elevato grado di umidità;
- illuminazione acquari e fontane;
- impianti agricoli;
- laboratori artigianali;
- laboratori scolastici.

Gli interruttori differenziali sono inoltre idonei per la protezione degli impianti in luoghi con pericolo di incendio o esplosione o, in generale, dove una corrente di dispersione può provocare danni di tipo economico come:

- stabilimenti chimici;
- ambienti polverosi o con materiali infiammabili;
- impianti di lavorazione di prodotti petroliferi;
- impianti di trattamento gas;
- impianti di carica batteria.

6.4.2 Applicazioni tipiche degli interruttori scatolati e aperti con funzione "G" contro i guasti a terra

Gli interruttori, sia di tipo aperto sia in scatola isolante, equipaggiati con la funzione G, sono attualmente impiegati nelle cabine MT/BT per la protezione sia dei trasformatori sia delle linee di distribuzione.

La funzione G è di solito prevista con intervento a ritardo breve e pertanto è assicurata la selettività nei confronti degli sganciatori differenziali posti sul lato carico.

A parte le applicazioni in cui è espressamente richiesto l'interruttore differenziale, la funzione di protezione G può essere utilizzata per la protezione dai contatti indiretti, se le condizioni impiantistiche lo permettono, e per migliorare la protezione dai guasti a terra rispetto alle normali protezioni di fase.

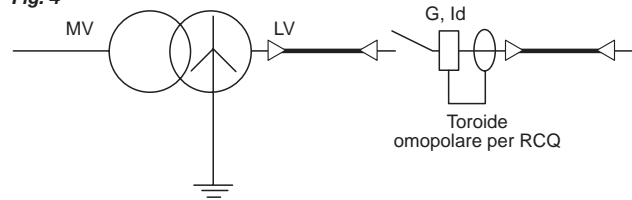
6.5 Sistemi di protezione avanzati contro i guasti a terra

6.5.1 Generalità

Con riferimento allo schema tipico di una linea costituita da un trasformatore, cavo e interruttore generale si possono identificare tre zone a seconda di dove si verifica il guasto a terra ed individuare in tal modo tre differenti tipi di protezione:

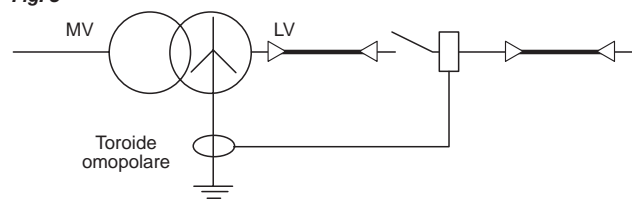
1. La protezione di terra non ristretta (Unrestricted Earth Fault Protection, UEFP) è la protezione contro i guasti a terra che si verificano a valle dei terminali dell'interruttore al secondario del trasformatore. Tale tipo di protezione (vedere Fig.4), già affrontata nei capitoli precedenti, è ottenuta con la protezione G, differenziale (RC..) o con le normali protezioni di fase per correnti di guasto a terra elevate;

Fig. 4



2. La Source Ground Return, anche detta Stand by Earth Fault Protection (SEFP), è la protezione contro i guasti a terra che si verificano a valle e a monte dei terminali dell'interruttore al secondario del trasformatore. Tale protezione è ottenuta utilizzando il toroide omopolare per il conduttore di terra del centro stella del trasformatore come mostrato in figura:

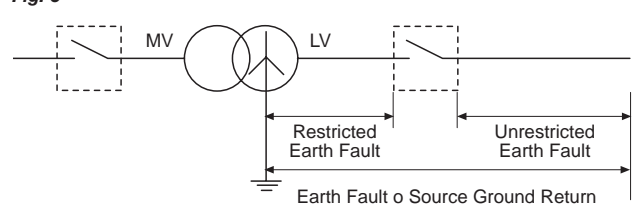
Fig. 5



3. La Restricted Earth Fault Protection (REFP) è la protezione contro i guasti a terra sia dell'avvolgimento secondario del trasformatore sia dei suoi cavi di connessione fino ai terminali di ingresso dell'interruttore di BT.

La figura che segue illustra le aree di guasto a terra.

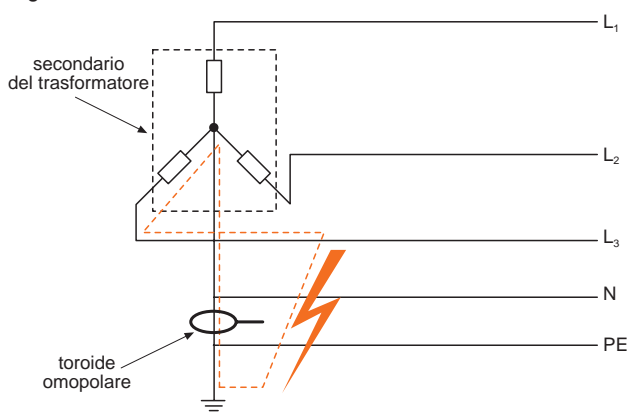
Fig. 6



6.5.2 Source Ground Return

La protezione Source Ground Return detta anche Stand by Earth Fault Protection (SEFP), rappresenta la protezione contro i guasti a terra che si verificano a valle e a monte dei terminali dell'interruttore al secondario del trasformatore MT/BT. Tale protezione è ottenuta utilizzando un toroide omopolare all'interno del quale si fa passare il conduttore che collega a terra il centro stella del trasformatore.

Fig. 7



In tal modo il toroide sarà in grado di rilevare:

- le correnti per un guasto fase-PE;
- le correnti per un guasto fase-terra;
- errori di cablaggio (ad esempio se si collega erroneamente un carico monofase tra fase e PE);
- connessioni a terra del neutro in altri punti dell'impianto diversi dal centro stella.

Gli sganciatori elettronici ABB SACE PR122, PR123, PR332, PR333 per interruttori automatici aperti Emax e Emax X1 possono essere utilizzati in abbinamento ad un toroide esterno posizionato sul conduttore che collega a terra il centro stella del trasformatore. La corrente nominale del toroide può essere scelta tra 100 A, 250 A, 400 A e 800 A svincolando in tal modo la soglia di protezione contro guasto a terra (funzione G) dalla taglia dei sensori di corrente primari installati sulle fasi dell'interruttore.

6.5.3 Protezione di terra ristretta (Restricted Earth Fault Protection)

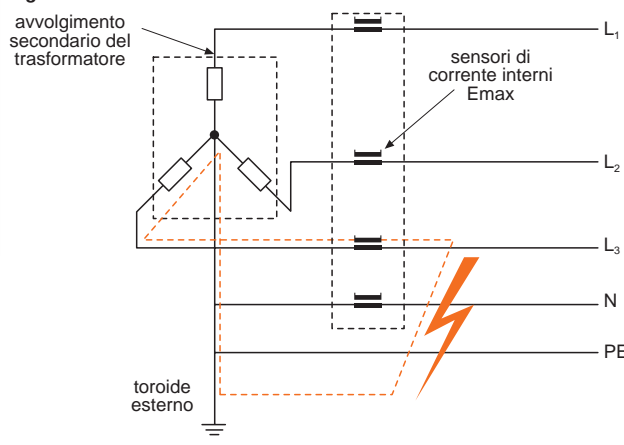
La protezione di terra ristretta (REFP) è la protezione contro i guasti a terra che si verificano tra l'avvolgimento secondario del trasformatore e i terminali dell'interruttore di BT.¹ Gli interruttori Emax con relè elettronico PR123 e PR333 (Emax X1) permettono di avere due curve indipendenti per la protezione G: una per la protezione interna (funzione G senza toroide esterno) e una per la protezione

esterna (funzione G con toroide esterno, come descritto nel paragrafo precedente).

La doppia funzione G permette di proteggere simultaneamente l'impianto sia contro i guasti a terra dell'avvolgimento secondario del trasformatore e dei suoi cavi di connessione fino ai terminali dell'interruttore (protezione di terra ristretta), sia contro i guasti a terra a valle dell'interruttore (protezione di terra non ristretta).

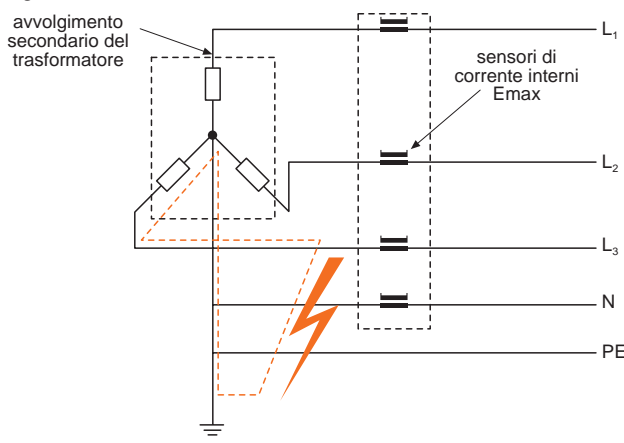
La figura che segue mostra un guasto a terra a valle di un interruttore Emax: la corrente di guasto percorre soltanto una fase e, se la somma vettoriale delle correnti rilevate dai quattro sensori di corrente (CS) risulta essere superiore alla soglia impostata, lo sganciatore elettronico comanda l'intervento della funzione G (facendo intervenire l'interruttore).

Fig. 8



Con la stessa configurazione, un guasto a monte dell'interruttore (figura 9) non provoca l'intervento della funzione G in quanto la corrente di guasto non interessa né il CS della fase né quello del neutro.

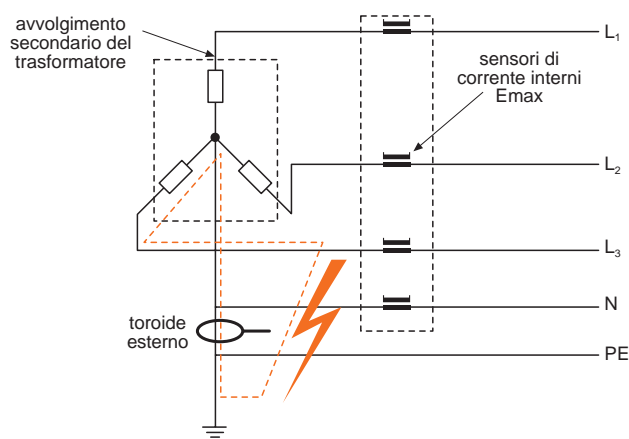
Fig. 9



¹ Tale tipo di guasto è di difficile eliminazione da parte delle protezioni di media tensione in particolare quando si utilizza un trasformatore con avvolgimenti triangolo-stella in quanto la corrente di guasto fase-terra o fase-neutro al secondario viene vista al primario ridotta di $\sqrt{3}$.

L'uso della funzione "doppia G" consente di installare un toroide esterno, come indicato nella figura che segue, in modo da rilevare anche i guasti a terra a monte dell'interruttore Emax. In questo caso si sfrutta il contatto d'allarme della seconda G, in modo da comandare l'intervento dell'interruttore posto al primario e garantire la disalimentazione del guasto.

Fig. 10



Se, con la medesima configurazione di figura, il guasto si verificasse a valle dell'interruttore Emax, la corrente di guasto interesserebbe sia il toroide sia i sensori di corrente sulle fasi. Per definire quale interruttore deve intervenire (interruttore di MT o di BT), è necessario un opportuno coordinamento dei tempi di intervento: in particolare è necessario settare i tempi in modo tale che l'intervento dell'interruttore per la funzione G interna sia più veloce dell'attualizzazione del segnale di allarme proveniente dal toroide esterno.

In tal modo, grazie alla selettività cronometrica esistente tra le due funzioni di protezione G, prima che l'interruttore di MT posto sul primario del trasformatore riceva il comando di intervento, l'interruttore sul lato BT è in grado di eliminare il guasto a terra. Ovviamente, se il guasto fosse a monte dell'interruttore di BT, si avrebbe soltanto l'apertura dell'interruttore posizionato sul lato MT.

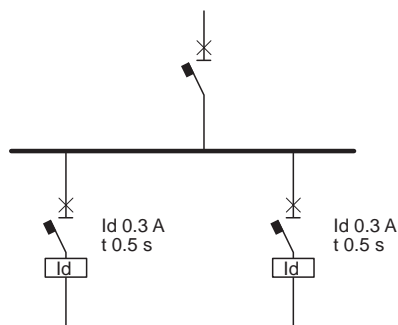
7 La selettività delle protezioni contro i guasti di terra

La norma CEI 64-8/5 consiglia la realizzazione di un coordinamento selettivo, per ragioni di esercizio, tra dispositivi differenziali disposti in serie allo scopo di non fare mancare l'alimentazione delle parti dell'impianto non interessate dall'eventuale guasto. Questa selettività può essere ottenuta installando dispositivi differenziali in modo che solo il più vicino al guasto interrompa l'alimentazione.

Si parla in questo caso di selettività differenziale e si possono distinguere due tipi di selettività:

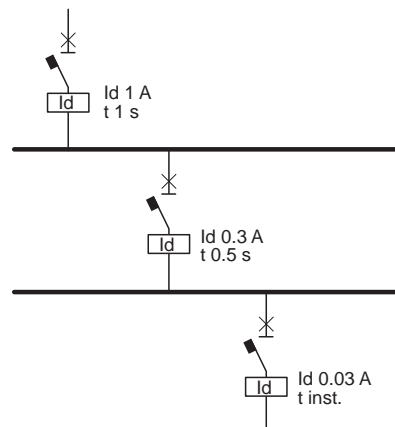
1. selettività differenziale orizzontale (figura 1): consiste nel proteggere ogni singola linea con un interruttore differenziale. In questo modo, in caso di guasto a terra, viene messa fuori servizio solo la partenza affetta dal guasto in quanto gli altri interruttori differenziali non sono interessati da alcuna corrente di guasto. Occorre però prendere dei provvedimenti diversi dall'uso del differenziale per la protezione dai contatti indiretti nella parte di quadro e di impianto a monte del dispositivo differenziale;

Fig. 1: selettività differenziale orizzontale



2. selettività differenziale verticale (figura 2): si realizza con interruttori differenziali posti in serie.

Fig. 2: selettività differenziale verticale



Conformemente alla CEI 64-8/5 (IEC 60364-5-53), per assicurare la selettività dei due dispositivi differenziali in serie, questi devono soddisfare simultaneamente le seguenti due condizioni:

- la caratteristica di non funzionamento tempo-corrente del dispositivo posto a monte si deve trovare al di sopra della caratteristica di interruzione tempo corrente del dispositivo posto a valle;
- la corrente differenziale nominale del dispositivo posto a monte deve essere adeguatamente superiore a quella del dispositivo posto a valle.

La caratteristica di non funzionamento tempo corrente è la curva che riporta il ritardo massimo durante il quale una corrente differenziale più elevata di quella nominale di non intervento (pari a $0,5 \cdot I_{\Delta n}$) fluisce nell'interruttore differenziale senza provocarne l'intervento.

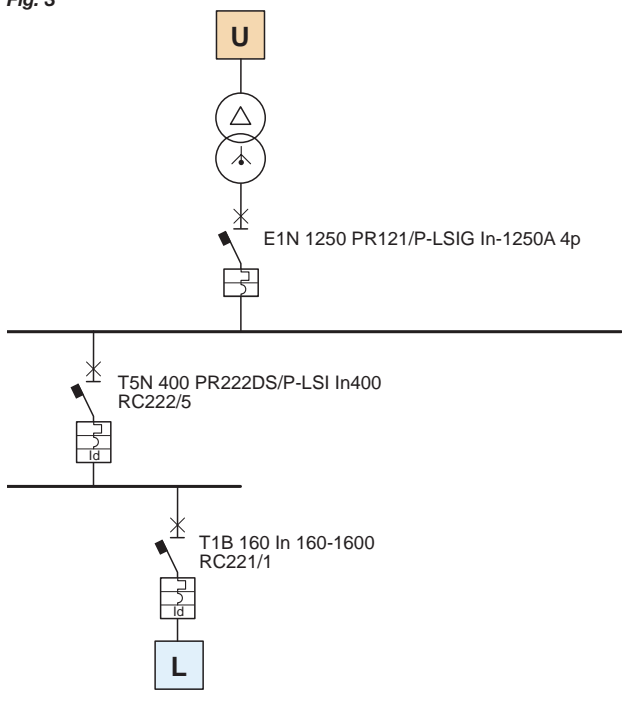
Riassumendo, per ottenere la selettività differenziale tra due dispositivi posti in serie:

- a) per interruttori differenziali di tipo S a monte, (conformi a CEI EN 61008-1 e CEI EN 61009 (IEC 61008-1 e IEC 61009), di tipo ritardato, bisogna scegliere interruttori a valle di tipo non selettivo con $I_{\Delta n}$ tre volte inferiore;
- b) per sganciatori differenziali elettronici (RC 221/222/223, RCQ, RD2) è sufficiente scegliere il dispositivo a monte con la regolazione delle soglie di tempo e di corrente immediatamente maggiori di quelle del dispositivo a valle tenendo opportunamente conto delle tolleranze.

L'esempio che segue (figura 3) mostra una parte di un impianto in cui sono presenti tre interruttori in cascata equipaggiati con sganciatori differenziali e sganciatori elettronici con protezione contro i guasti a terra G. Gli interruttori in esame sono:

- E1N 1250 PR121/P-LSIG $I_n=1250A$ 4p
- T5N 400 PR222DS/P-LSI $I_n=400A$ con sganciatore differenziale RC222
- T1B 160 $I_n=160A$ con sganciatore differenziale RC221

Fig. 3



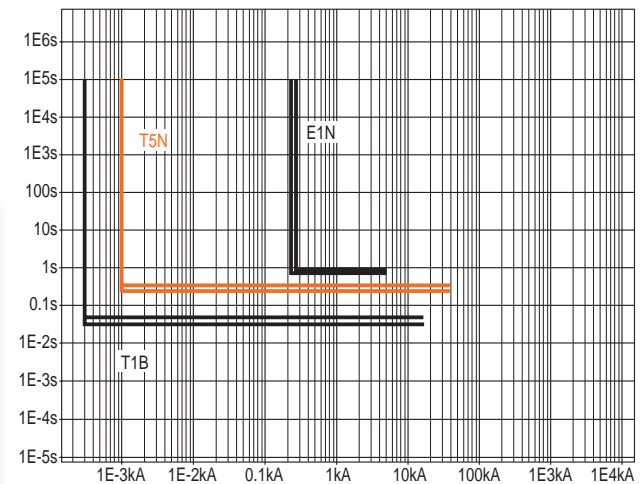
Per un corretto coordinamento ai fini della selettività differenziale è necessario settare opportunamente le soglie di corrente e i tempi di intervento tenendo in conto le tolleranze. Ovviamente per ciascun interruttore dovrà essere verificato il vincolo imposto dalle norme per ciò che riguarda la protezione dai contatti indiretti.

I possibili settaggi ai fini della selettività sono i seguenti:

- E1N 1250
G (Guasto a terra): $t=cost$ - Corrente - 250 [A] - Tempo 0.8 [s]
- T5N 400
RC: Corrente 1 [A] - Tempo 0.3 [s]
- T1B 160
RC: Corrente 0.3 [A] - Tempo istantaneo

Con tali settaggi le curve di intervento sono quelle rappresentate in figura 4:

Fig. 4



Appendice A

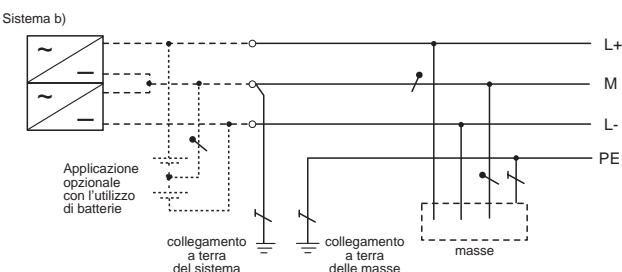
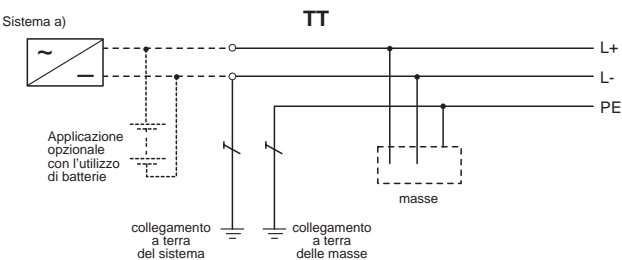
I sistemi di distribuzione in corrente continua

La norma IEC60364-1 definisce i sistemi di distribuzione in corrente continua in modo analogo alla corrente alternata:

Sistema TT

Un polo del sistema e le masse sono collegate a due impianti di terra elettricamente indipendenti¹.

Eventualmente può essere collegato a terra il punto medio dell'alimentazione

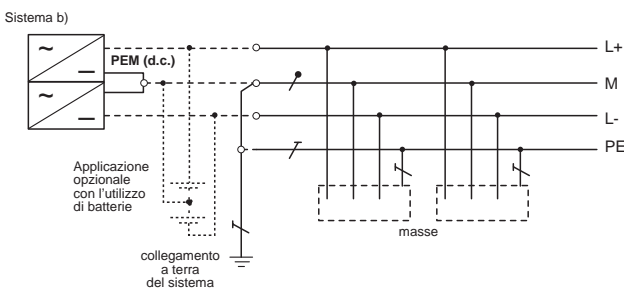
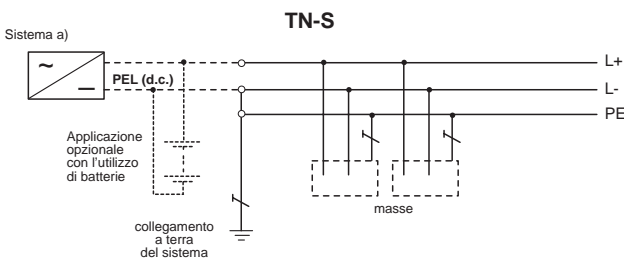


Sistema TN

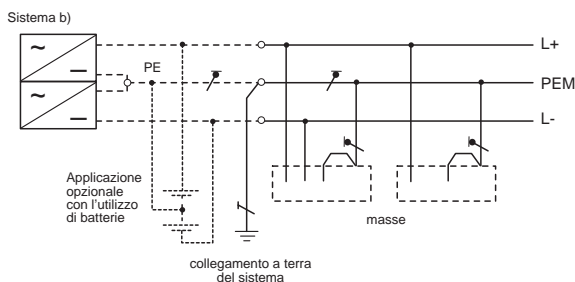
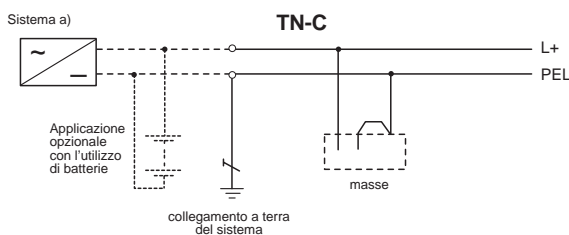
Un polo, o il punto medio dell'alimentazione, è messo direttamente a terra; le masse sono connesse allo stesso punto di messa a terra.

Il sistema elettrico TN si distingue in tre tipi a seconda che il polo connesso a terra e il conduttore di protezione siano separati o meno:

1. **TN-S** – il conduttore del polo connesso a terra e di protezione PE sono separati;

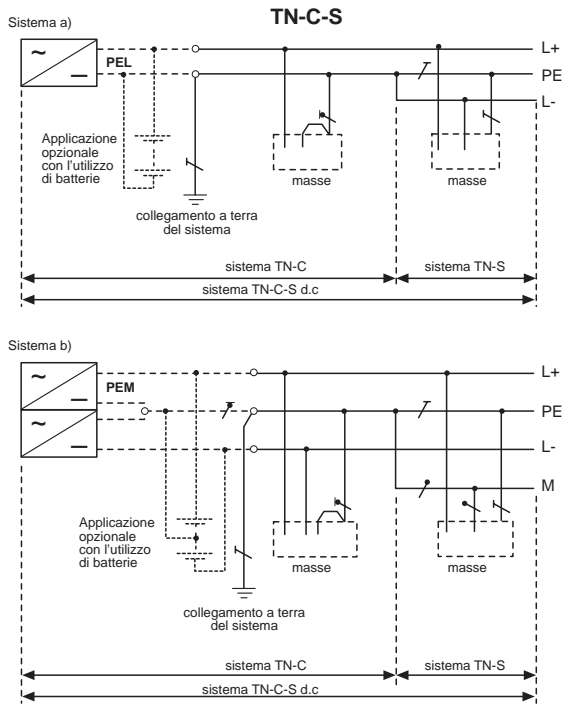


2. **TN-C** – le funzioni di polo connesso a terra e conduttore di protezione sono combinate in un unico conduttore definito PEN;



¹ La scelta di connettere a terra il polo positivo o negativo è effettuata in base ad altre considerazioni non trattate nella presente appendice.

3. TN-C-S – le funzioni di polo connesso a terra e conduttore di protezione sono in parte combinate in un solo conduttore PEN ed in parte separate.



La norma IEC 60364-4, ai fini della protezione contro i contatti indiretti, prescrive che un dispositivo di protezione deve automaticamente disconnettere l'alimentazione in modo tale che a seguito di un guasto tra una parte attiva e una massa o un conduttore di protezione non permanga sulle masse una tensione superiore a 120 V (cc) per un tempo sufficiente a provocare effetti fisio-patologici per il corpo umano¹.

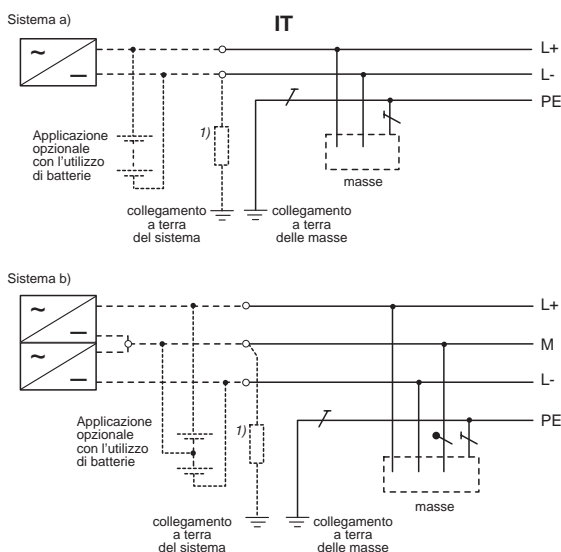
Per ambienti particolari possono essere richiesti tempi di interruzione e valori di tensione più bassi di quelli appena indicati.

Sono al momento allo studio ulteriori requisiti per i sistemi in corrente continua.

Nei sistemi in corrente continua occorre tenere in considerazione gli aspetti della corrosione elettromeccanica a causa delle correnti continue disperse nel terreno.

Sistema IT

L'alimentazione non presenta connessioni a terra mentre le masse sono connesse direttamente a terra.



1) Il sistema può essere connesso a terra tramite un'impedenza di valore elevato

¹ Per i sistemi IT l'apertura automatica del circuito non è necessariamente richiesta in presenza di un primo guasto.

Appendice B

Protezione contro i contatti diretti

Proteggere contro i contatti diretti significa evitare il pericolo derivato dal contatto delle persone con parti elettricamente attive. Per evitare un contatto diretto è necessario realizzare un impianto elettrico avente determinate caratteristiche in modo da salvaguardare la sicurezza delle persone.

Le due possibilità per raggiungere tale obiettivo sono:

- impedire che la corrente passi attraverso il corpo;
- limitare la corrente che può attraversare il corpo ad un valore inferiore a quello patofisiologicamente pericoloso.

È bene ricordare che le misure di protezione devono essere opportunamente integrate tra loro, in relazione al tipo di impianto e alle condizioni ambientali.

In base a queste considerazioni le misure di sicurezza si possono distinguere in:

- protezioni totali;
- protezioni parziali.

Le protezioni totali impediscono sia il contatto accidentale sia quello volontario e sono misure normalmente adottate nel caso di impianti accessibili a persone non aventi conoscenze tecniche specifiche (persone non addestrate).

Per protezioni parziali si intendono invece quelle misure utilizzate in luoghi accessibili solo dal personale addestrato poiché forniscono una protezione dai contatti accidentali ma non da quelli intenzionali.

I principali metodi per la protezione contro i contatti diretti sono:

- ricoprire completamente le parti attive con un isolamento che possa essere rimosso solo mediante distruzione (in questo caso la protezione è totale);
- porre le parti attive entro involucri o dietro barriere tali da assicurare almeno il grado di protezione IPXXB, per le superfici orizzontali superiori delle barriere o degli involucri che sono a portata di mano è necessario un indice di protezione di IPXXD (la protezione è totale);

Nelle seguenti tabelle sono riportati i gradi di protezione degli involucri definiti dalle norme CEI EN 60529

1ª CIFRA: protezione contro i corpi solidi			
IP		Descrizione completa	
0		Nessuna protezione	Non è prevista alcuna particolare protezione
1		Protetto contro i corpi solidi superiori a 50 mm (contatti involontari con le mani)	Non devono poter penetrare una grande superficie del corpo umano, per esempio una mano (non è però prevista la protezione volontaria) o corpi solidi di dimensioni superiori a 50mm di diametro
2		Protetto contro i corpi solidi superiori a 12 mm (dito della mano)	Non devono poter penetrare le dita od oggetti analoghi di lunghezza non eccedente gli 80mm o corpi solidi di diametro superiore a 12 mm
3		Protetto contro i corpi solidi superiori a 2,5 mm (utensili, fili)	Non devono poter penetrare utensili, fili, ecc., di diametro o spessore superiore a 2,5mm o corpi solidi di diametro superiore a 2,5mm
4		Protetto contro i corpi solidi superiori a 1 mm	Non devono poter penetrare fili o piattine di spessore superiore a 1,0mm o corpi solidi di diametro superiori 1,0mm
5		Protetto contro la polvere (nessun deposito nocivo)	La penetrazione di polvere non è totalmente esclusa, ma il quantitativo penetrato non è tale da nuocere al buon funzionamento del materiale
6		Totalmente protetto contro la polvere	Non è ammessa alcuna penetrazione di polvere

2ª CIFRA: protezione contro i liquidi			
IP		Descrizione completa	
0		Nessuna protezione	Non è prevista alcuna particolare protezione
1		Protetto contro le cadute verticali di gocce d'acqua (condensa)	Le gocce d'acqua che cadono verticalmente non devono provocare effetti dannosi
2		Protetto contro le cadute di gocce d'acqua fino a 15° dalla verticale	Le gocce d'acqua che cadono verticalmente non devono provocare effetti dannosi quando l'involucro è inclinato di un qualsiasi angolo fino a 15° rispetto alla sua posizione ordinaria
3		Protetto contro la pioggia d'acqua fino a 60° dalla verticale	L'acqua che cade a pioggia da una direzione facente con la verticale un angolo fino a 60° non deve provocare effetti dannosi
4		Protetto contro gli spruzzi di acqua da tutte le direzioni	L'acqua spruzzata sull'involucro da tutte le direzioni non deve provocare effetti dannosi
5		Protetto contro i getti d'acqua da tutte le direzioni mediante lancia	L'acqua proiettata con un ugello sull'involucro da tutte le direzioni non deve procurare effetti dannosi
6		Protetto contro i getti di acqua simili alle onde marine	Nel caso di ondate oppure di getti potenti l'acqua non deve penetrare nell'involucro in quantità dannosa
7		Protetto contro gli effetti della immersione temporanea	Non deve essere possibile la penetrazione d'acqua in quantità dannosa all'interno dell'involucro immerso in condizioni determinate di pressione e di durata
8		Protetto contro gli effetti della immersione continua	Il materiale è adatto per rimanere sommerso in continuità in acqua nelle condizioni specificate dal costruttore

Lettera aggiuntiva: protezione contro l'accesso a parti pericolose			
IP		Descrizione completa	
0		Protetto contro l'accesso con il dorso della mano	Il calibro di accessibilità di diametro 50 mm deve mantenere un'adeguata distanza dalle parti pericolose
1		Protetto contro l'accesso con un dito	Il dito di prova articolato di diametro 12 mm e di lunghezza 80 mm deve mantenere una adeguata distanza dalle parti pericolose
2		Protetto contro l'accesso con un attrezzo	Il calibro di accessibilità di diametro 2.5 mm e di lunghezza 100 mm deve mantenere una adeguata distanza dalle parti pericolose
3		Protetto contro l'accesso con un filo	Il calibro di accessibilità di diametro 1.0 mm e di lunghezza 100 mm deve mantenere una adeguata distanza dalle parti pericolose

- utilizzare degli ostacoli in modo tale da impedire il contatto accidentale con parti attive (la protezione impedisce solamente il contatto accidentale ma non quello intenzionale, è quindi una protezione parziale);
- posizionare le parti attive ad una distanza tale da impedire il contatto non intenzionale con queste parti (protezione parziale);
- utilizzare differenziali aventi una corrente differenziale nominale d'intervento non superiore a 30mA.

La protezione mediante l'utilizzo dell'interruttore differenziale è richiesta:

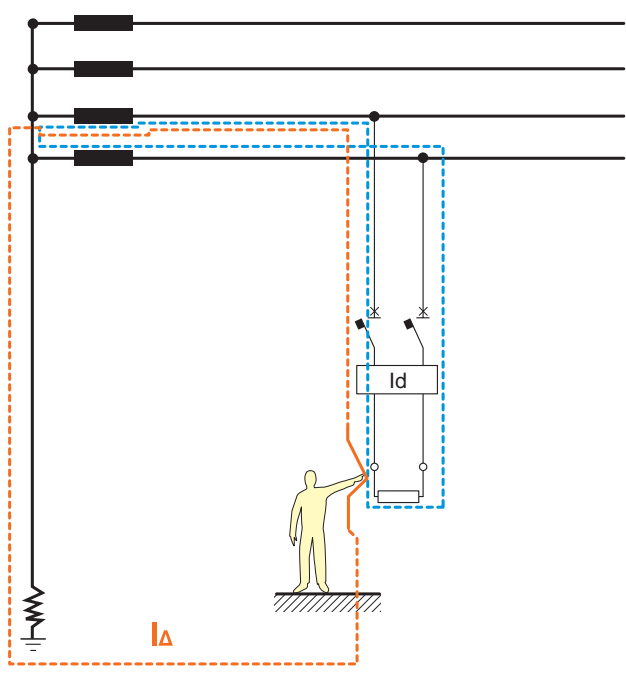
- nei locali ad uso abitativo per i circuiti che alimentano le prese a spina con corrente nominale non superiore a 20A;
- per i circuiti che alimentano le prese a spina con una corrente nominale non superiore a 32A destinate ad alimentare apparecchi utilizzatori mobili usati all'esterno.

L'uso di tali dispositivi viene definito dalle norme come protezione addizionale che può integrare i metodi di protezione precedentemente descritti ma non sostituirli. Per capire ciò la figura 1 riporta il caso in cui il contatto diretto avvenga con una sola parte in tensione.

La linea tratteggiata in blu rappresenta il percorso della corrente nelle condizioni normali, mentre la linea in rosso rappresenta il percorso della corrente che potrebbe circolare nella persona nelle condizioni sopra descritte.

È da notare che non essendoci un guasto verso massa non ha alcuna influenza lo stato di collegamento delle masse rispetto a terra.

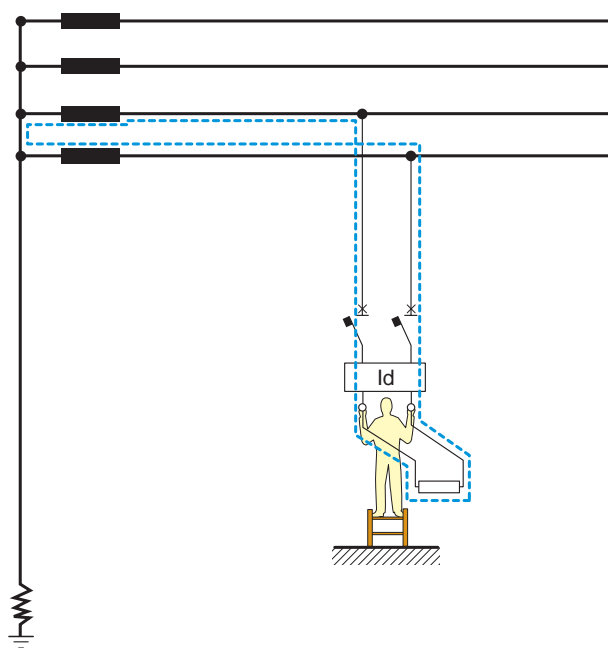
Fig. 1



Come è noto il differenziale interviene sicuramente per $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$ (dove $I_{\Delta n}$ è la sensibilità del differenziale). In base alla curva di pericolosità (vedi capitolo 5) la persona non subisce nessun effetto dannoso se la corrente che attraversa il corpo umano è inferiore o uguale a 30mA ($I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$).

Nella figura 2 invece è riportato il caso in cui il contatto diretto avvenga su due polarità a potenziale diverso.

Fig. 2



Il pericolo potrebbe insorgere nel caso in cui la persona è isolata da terra (es. persona appoggiata su una scala di legno o con scarpe aventi soles in gomma, ecc.) oppure se presenta un valore elevato di resistenza del corpo più la resistenza verso terra; in queste condizioni infatti la corrente di dispersione a terra I_{Δ} risulterebbe di un valore talmente basso da non attivare il differenziale ma la persona potrebbe essere attraversata da una corrente tale da causarle dei pericoli.

È quindi per questi casi (anche se rari) che la norma definisce la protezione differenziale come protezione addizionale da integrare ai metodi precedentemente descritti.

Appendice C

Protezione contro i contatti indiretti senza disconnessione automatica del circuito

Oltre alla protezione contro i contatti indiretti attraverso la disconnessione automatica del circuito le norme di impianto permettono di realizzare tale protezione senza disconnessione automatica con evidente vantaggio per la continuità di servizio; tali protezioni sono considerate di tipo preventivo poiché sono utilizzate per evitare il verificarsi delle condizioni di pericolo.

I principali metodi sono i seguenti:

- protezione mediante componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente;
- protezione mediante luoghi non conduttori*;
- protezione mediante collegamento equipotenziale locale non connesso a terra*;
- protezione per separazione elettrica per l'alimentazione di un solo apparecchio utilizzatore;
- protezione per separazione elettrica per l'alimentazione di più apparecchi utilizzatori*.

Protezione mediante componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente

Questa protezione è assicurata con l'utilizzo di componenti elettrici che impediscono la possibilità del manifestarsi di una tensione pericolosa a seguito di un guasto nell'isolamento principale.

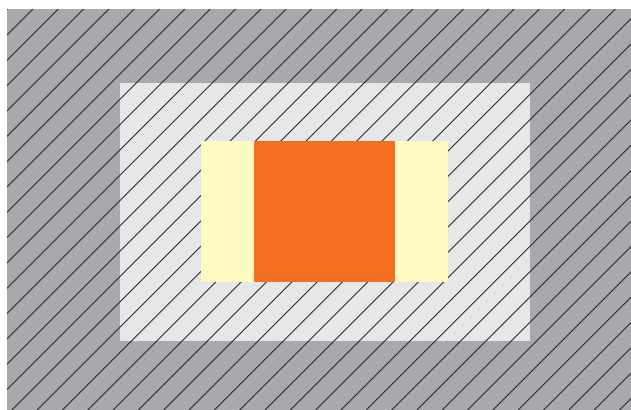
Per realizzare questa misura di protezione è necessario utilizzare componenti elettrici aventi particolari caratteristiche:






- doppio isolamento o isolamento rinforzato;
- componenti che abbiano un isolamento equivalente alla classe II (es. quadri con isolamento completo)
- isolamento supplementare applicato in fase di installazione ai componenti elettrici aventi un isolamento principale;
- isolamento rinforzato applicato alle parti attive nude durante l'installazione;

Oltre ai componenti sopra citati la norma indica l'utilizzo di involucri e di condutture aventi particolari caratteristiche; si rimanda alla norma stessa per le prescrizioni relative ai componenti sopra citati.

* Queste misure di protezione sono applicabili solo quando l'impianto è controllato da o sotto la supervisione di persone addestrate.

Fig. 1

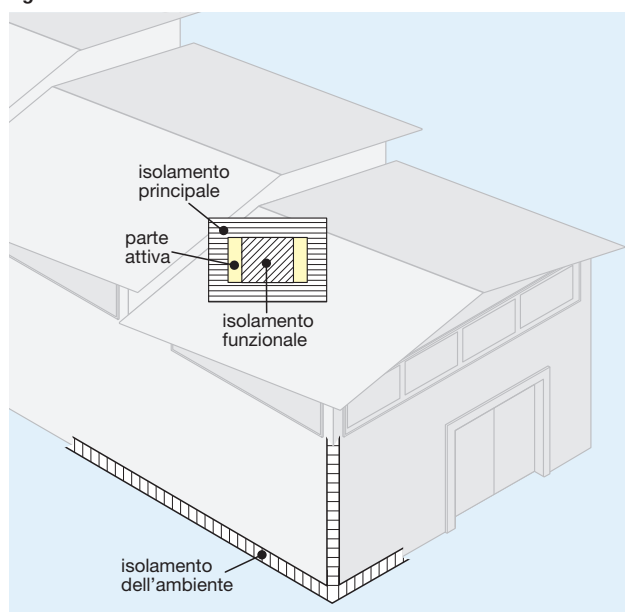


-  = parte attiva (in tensione)
-  = isolamento funzionale: in un apparecchio elettrico isola le parti a tensioni diverse e rende perciò possibile il funzionamento
-  = isolamento principale è l'isolamento delle parti normalmente in tensione
-  = isolamento supplementare è un isolamento aggiuntivo all'isolamento principale che garantisce l'isolamento in caso di un cedimento di quest'ultimo
-  = isolamento rinforzato ovvero un isolamento unico in grado di assicurare lo stesso grado di protezione che si avrebbe con l'isolamento principale più l'isolamento supplementare

Protezione mediante luoghi non conduttori

La protezione mediante luoghi non conduttori (Fig. 2) consiste nel realizzare tramite l'ambiente stesso delle disposizioni (attraverso distanziamenti, interposizioni e isolamenti) in modo da impedire i contatti simultanei con parti che possono trovarsi ad un potenziale diverso (es. causato da un cedimento dell'isolamento principale di parti attive). Questo metodo di protezione a causa della sua particolarità non è mai applicabile negli edifici civili e similari.

Fig.2



Protezione mediante collegamento equipotenziale locale non connesso a terra

Questo tipo di protezione consiste nel portare allo stesso potenziale tutte le parti con le quali la persona potrebbe venire a contatto.

Utilizzando questo metodo potrebbero insorgere dei problemi qualora avvenga l'interruzione di un collegamento equipotenziale che comporterebbe delle tensioni a potenziale diverso pericolose nell'impianto.

Questa misura di protezione non è praticamente mai applicabile negli edifici civili e similari e data la difficoltà nel soddisfare le condizioni richieste esistono pochi locali aventi le caratteristiche appropriate.

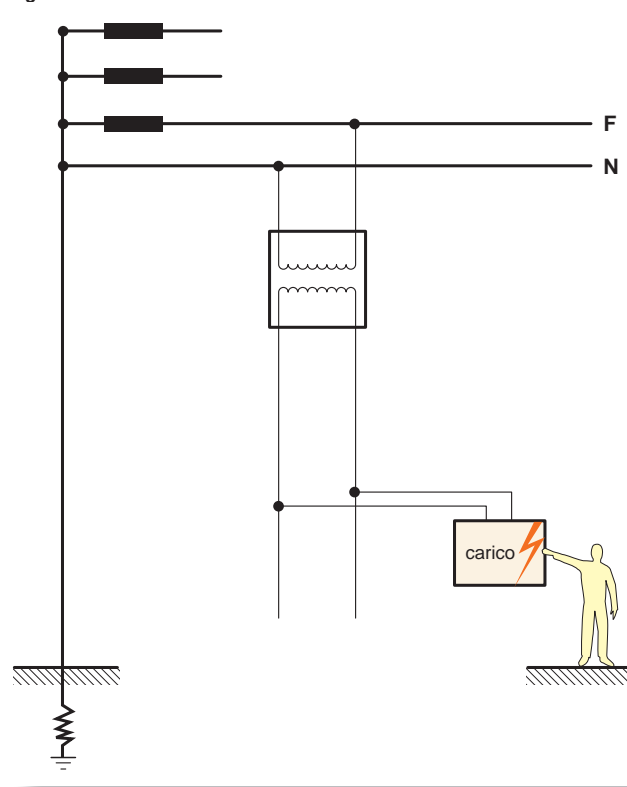
Protezione per separazione elettrica

La protezione per separazione elettrica, che rappresenta una misura di protezione contro i contatti indiretti, permette di limitare la tensione sulla persona grazie all'impedenza di isolamento del sistema verso terra; per farsi che questa misura di protezione abbia efficacia è necessario che i circuiti separati siano isolati correttamente.

La sorgente di alimentazione utilizzata per rispettare quanto richiesto dalla norma deve avere almeno una separazione semplice con tensione massima fornita al circuito separato di 500V.

È necessario porre particolare attenzione al numero di utilizzatori che il circuito separato andrà ad alimentare, infatti per l'alimentazione di più utilizzatori questa misura di protezione è applicabile solo quando l'impianto è controllato da o sotto la supervisione di persone addestrate, tale prescrizione non è invece richiesta per l'alimentazione di un solo utilizzatore.

Fig.3



¹ Trascurando le correnti capacitive per tratti poco estesi

Appendice D

Protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti

Le norme consentono di adottare una protezione combinata contro i contatti diretti e indiretti. Per poter raggiungere tale obiettivo è necessario realizzare un sistema avente determinate caratteristiche.

La caratteristica principale di questi sistemi è quella di avere come tensione nominale del circuito il valore pari a 50Vca e 120Vcc (sistemi a bassissima tensione).

Per garantire questo tipo di protezione è necessario prendere provvedimenti affinché la tensione nominale non aumenti in nessun caso, come ad esempio potrebbe accadere nel caso in cui avvenga un guasto al secondario di un trasformatore con primario a $U_1 > 50V$ dovuto ad una perdita di isolamento tra i due avvolgimenti, oppure per contatti con altri circuiti a tensione più alta.

Per avere a disposizione il livello di bassissima tensione è necessario perciò utilizzare le seguenti sorgenti elettriche:

- un trasformatore di sicurezza conforme alle norme (CEI EN 61558-2-6);
- una sorgente che presenta un grado di sicurezza equivalente a quello del trasformatore di sicurezza;
- una sorgente elettrochimica avente caratteristiche appropriate;
- piccoli gruppi elettrogeni;
- dispositivi elettronici rispondenti a norme appropriate (in modo tale che anche in caso di un guasto interno la tensione ai morsetti di uscita non superi i valori precedentemente descritti)

Questi sistemi vengono denominati:

- SELV (Safety Extra-Low Voltage);
- PELV (Protection Extra-Low Voltage);
- FELV (Functional Extra-Low Voltage).

Bassissima tensione di sicurezza (SELV)

Il sistema è denominato a bassissima tensione di sicurezza se ha le seguenti caratteristiche:

1. è alimentato da una sorgente autonoma o di sicurezza elencate precedentemente;
2. ha una separazione di protezione verso gli altri sistemi elettrici ovvero un isolamento doppio o rinforzato o uno schermo metallico collegato a terra;
3. non ha punti a terra.

Queste caratteristiche sono necessarie per evitare che il sistema assuma una tensione superiore a quella nominale.

Bassissima tensione di protezione (PELV)

Il sistema a bassissima tensione di protezione ha le caratteristiche dei punti uno e due precedentemente descritti, ma deve avere un punto connesso a terra necessario per ragioni funzionali o per ragioni di sicurezza dei circuiti di comando.

Il sistema PELV risulta meno sicuro rispetto al sistema SELV poiché il circuito potrebbe assumere tramite la connessione a terra una tensione più elevata della tensione nominale secondaria (bassissima tensione).

È questo uno dei motivi per cui il sistema PELV non è ammesso quando siano necessarie misure di protezione più severe (es luoghi conduttori ristretti).

Considerazioni sui contatti diretti e indiretti (nei sistemi SELV e PELV)

Utilizzando i sistemi di protezione SELV o PELV non sussiste il pericolo di un contatto indiretto in quanto la tensione di alimentazione è di un valore ridotto tale da non creare pericoli per la persona.

Per quanto riguarda i contatti diretti per tensioni nominali fino a 25V in alternata e 60V in continua la protezione è già assicurata e quindi non richiesta (per quanto riguarda il sistema SELV in certe applicazioni particolari è necessaria, mentre per quanto riguarda il sistema PELV è necessario che il componente elettrico si trovi all'interno o all'esterno di un edificio dove sia stato realizzato il collegamento equipotenziale principale).

Per tensioni superiori (ma sempre inferiore a 50V in alternata o 120V in continua) la protezione contro i contatti diretti deve essere assicurata da una delle seguenti possibilità:

- l'utilizzo di barriere o involucri con grado di protezione non inferiore a IPXXB,
- un isolamento in grado di sopportare una tensione di prova di 500V, valore efficace per un minuto.

Bassissima tensione funzionale (FELV)

Quando il sistema è a bassissima tensione ma non soddisfa le prescrizioni precedentemente descritte nei sistemi SELV e PELV il sistema viene denominato FELV (Functional Extra-Low Voltage).

Considerazione sui contatti diretti e indiretti (nei sistemi FELV)

Il sistema FELV può essere alimentato con un trasformatore normale non di sicurezza; è quindi possibile che un guasto all'isolamento porti sul circuito secondario la tensione del primario.

È perciò necessario applicare le misure di sicurezza contro i contatti diretti e indiretti.

Contatti indiretti

Per quanto riguarda i contatti indiretti è necessario:

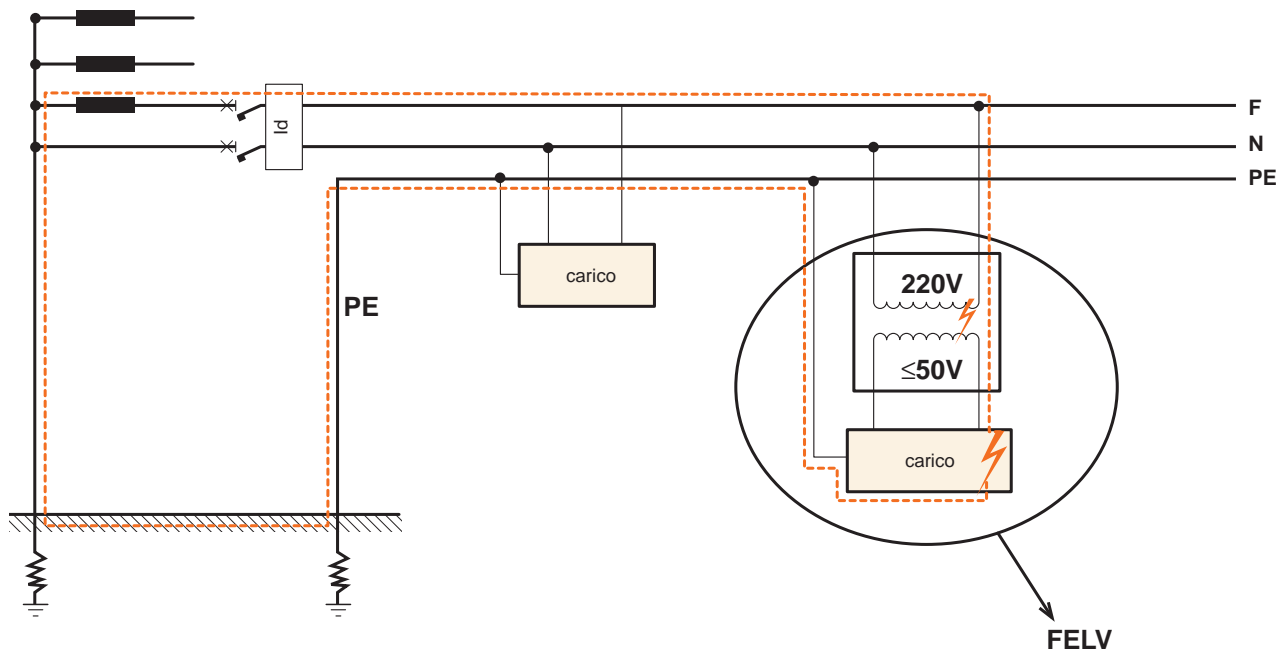
- collegare le masse del circuito FELV al conduttore di protezione del sistema primario a patto che sia applicata la misura di protezione mediante interruzione automatica del circuito. Infatti, in questo modo, come si può vedere nella figura 1, in caso di un doppio guasto interverrà il differenziale del sistema primario per una $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$
- collegare le masse del circuito FELV al conduttore equipotenziale isolato non connesso a terra (in un sistema dove sia applicata la misura di protezione mediante separazione elettrica).

Contatti diretti

Per quanto riguarda i contatti diretti è necessario:

- porre le parti attive entro involucri o dietro barriere tali da assicurare almeno il grado di protezione IPXXB o IPXXD;
- un isolamento principale corrispondente alla tensione nominale del circuito primario della sorgente.

Fig.1



Appendice E

Considerazioni sul conduttore di neutro e di protezione

Conduttore di neutro

Generalità

Il conduttore di neutro è un conduttore attivo collegato al punto di neutro del sistema⁷ in grado di contribuire alla trasmissione dell'energia elettrica. Le sue altre funzioni sono quelle di:

- rendere disponibile una tensione U_0 diversa da quella esistente tra le fasi U (Fig. 1);
- rendere funzionalmente indipendenti l'uno dall'altro i carichi monofase (Fig. 2);
- limitare lo spostamento del centro stella in presenza di carichi trifase dissimmetrici (Fig. 3);
- assolvere anche alla funzione di conduttore di protezione (PEN) sotto specifiche condizioni (Fig. 4).

Fig.1

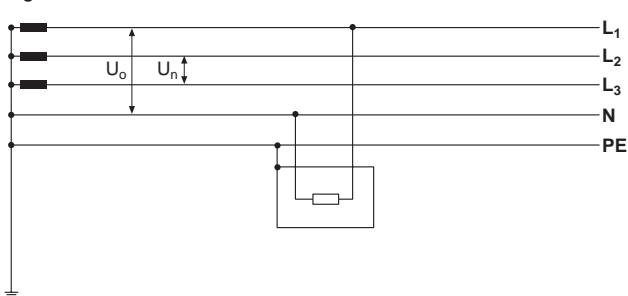
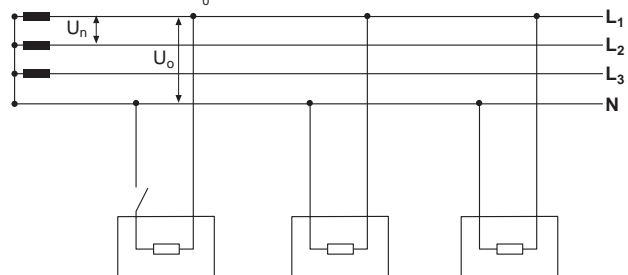


Fig.2

Con il neutro distribuito le utenze monofasi sono sempre alimentate dalla tensione U_0



In assenza del neutro la disconnessione di un carico potrebbe far lavorare gli altri carichi ad una tensione pari a $U_n/2$.

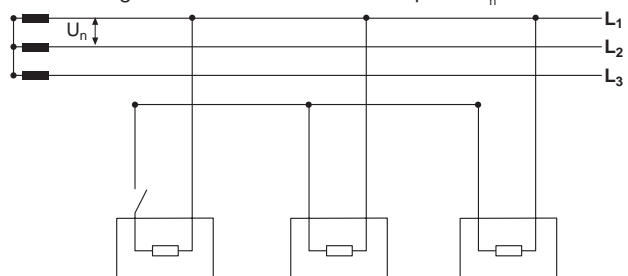
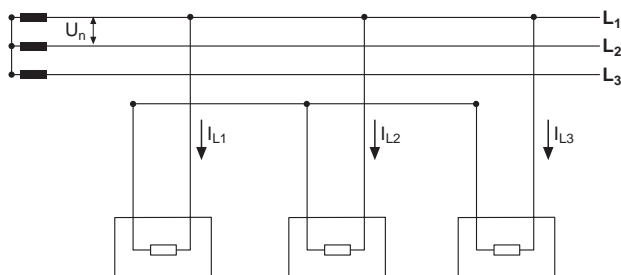


Fig.3

Senza il neutro la somma delle correnti deve essere zero e questo comporta una forte dissimmetria delle tensioni stellate.



La presenza del neutro vincola il centro stella reale a quello ideale

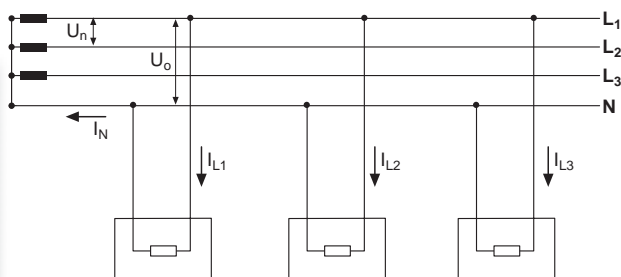
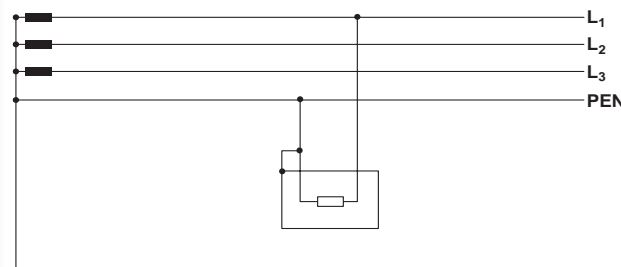
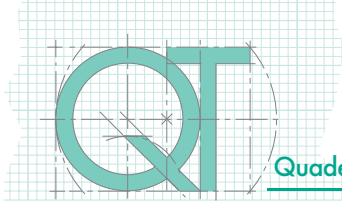


Fig.4

Nel sistema TN-C il conduttore di neutro è anche conduttore di protezione



⁷ Solitamente ma non necessariamente il punto di neutro è connesso al centro stella del trasformatore o del generatore. In pratica, negli impianti elettrici utilizzatori, il punto neutro del sistema è quello a potenziale elettrico zero. Infatti, se il sistema è simmetrico, dal diagramma vettoriale delle tensioni concatenate e stellate, si evince che il punto di neutro coincide con il baricentro del triangolo. Fisicamente tale punto si rende disponibile quando si realizza un collegamento tra le fasi denominato a stella. Se il collegamento è invece a triangolo, si può rendere accessibile il punto di neutro, derivando tra le fasi una terna di impedenze uguali, collegate a stella.



Protezione e interruzione del conduttore di neutro

In condizioni anomale il conduttore di neutro può presentare una tensione verso terra ad esempio per una sua interruzione per rottura accidentale o per l'intervento dei dispositivi unipolari (fusibili o interruttori unipolari). Bisogna sottolineare che queste anomalie possono avere gravi conseguenze se il conduttore di neutro è utilizzato anche come conduttore di protezione come avviene nei sistemi TN-C. Per tali sistemi di distribuzione le norme proibiscono l'utilizzo di qualsiasi dispositivo (unipolare e multipolare) che possa sezionare il conduttore PEN e stabiliscono le sezioni minime (si veda il paragrafo successivo) al fine di ritenerne trascurabile la rottura per cause accidentali.

Come appena visto, l'interruzione del solo conduttore di neutro in un circuito quadripolare può alterare la tensione di alimentazione degli apparecchi monofase che vengono a trovarsi alimentati da una tensione diversa da quella stellata. Occorre quindi evitare di proteggere il conduttore di neutro con dispositivi unipolari.

La protezione sul conduttore di neutro e la sua interruzione è differente a seconda dei sistemi di distribuzione:

- sistemi TT o TN;
- sistemi IT.

Sistemi TT o TN:

- a) se la sezione di neutro è uguale o maggiore della sezione di fase non è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro e neanche prevedere un dispositivo di interruzione sullo stesso conduttore (neutro non protetto e non sezionato)¹;
- b) non è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro se contemporaneamente sono soddisfatti i seguenti punti:
 - il conduttore di neutro è protetto contro il cortocircuito dal dispositivo di protezione dei conduttori di fase del circuito;

- la massima corrente che può attraversare il conduttore di neutro in servizio ordinario è inferiore alla portata del conduttore;
- c) se la sezione di neutro è inferiore alla sezione di fase, è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro in modo da provocare l'interruzione dei conduttori di fase, ma non necessariamente di quello di neutro (neutro protetto ma non sezionato). Nel sistema TN-C il conduttore di neutro funge anche da conduttore di protezione e quindi non può essere sezionabile. Inoltre se fosse interrotto durante un guasto verso massa, le masse assumerebbero la tensione nominale verso terra del sistema.

Sistemi IT:

Nel caso in cui il conduttore di neutro sia distribuito² è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro di ogni circuito in modo da provocare l'interruzione di tutti i conduttori attivi del circuito corrispondente, compreso il conduttore di neutro. Non è necessario rilevare le sovracorrenti sul conduttore di neutro se è verificato uno dei seguenti casi:

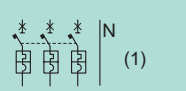
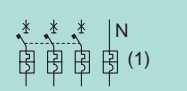
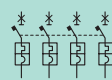
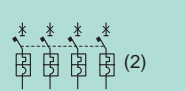
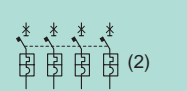
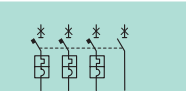
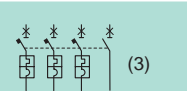
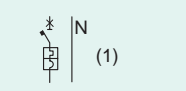

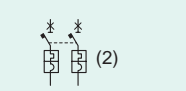
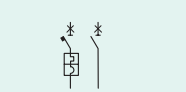
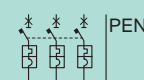
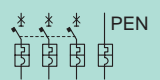
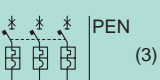
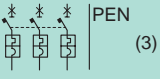

- il conduttore di neutro è protetto contro i cortocircuiti da un dispositivo di protezione posto a monte (per esempio all'origine dell'impianto);
- il circuito è protetto da un dispositivo differenziale avente corrente nominale differenziale non superiore a 0.15 volte la portata del conduttore di neutro corrispondente. Questo dispositivo deve aprire tutti i conduttori attivi compreso il conduttore di neutro.

¹ Se il sistema è TT, il conduttore di neutro deve essere sempre sezionato.
Se il sistema è TN-S, non è necessario sezionare il conduttore di neutro nei circuiti trifase più neutro.

² La Norma sconsiglia la distribuzione del neutro nei sistemi IT, si veda il capitolo 5.

La tabella 1 riassume i punti precedentemente descritti.

Tab.1

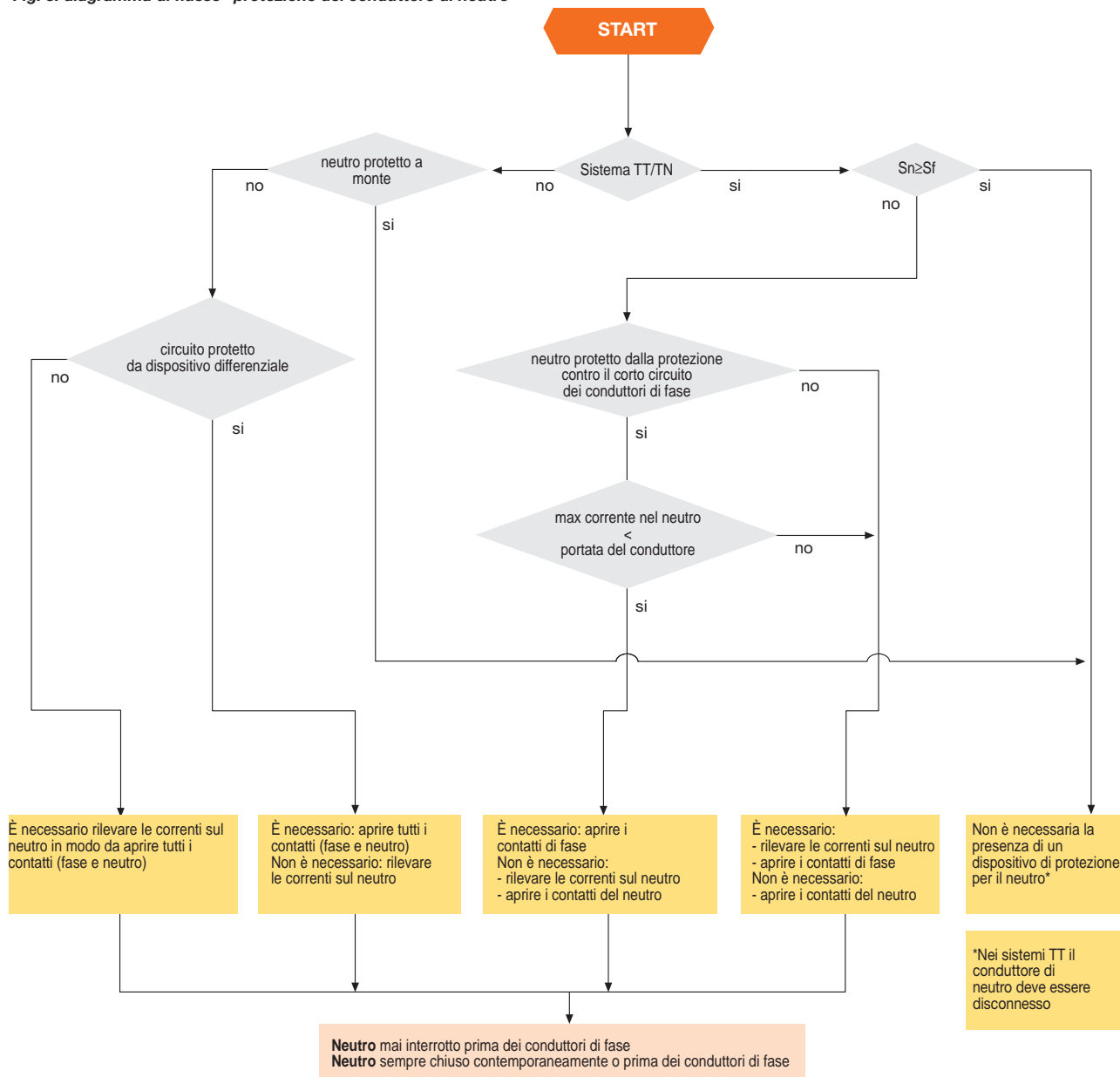
	Sistema TT o TN-S		Sistema TN-C		Sistema IT
	$S_N = S$	$S_N < S$	$S_{PEN} = S$	$S_{PEN} < S$	
Trifase + neutro	 (1)	 (1)	-	-	
	 (2)	 (2)			
	 (3)	 (3)			
Fase + neutro	 (1)	-	-		
	 (2)				
					
Trifase + PEN	-	-			-
	-	-		 (3)	
Fase + PEN	-	-		-	-

(1) requisito minimo richiesto dalle norme d'impianto per i sistemi TN-S, per quanto riguarda i sistemi TT è necessario disconnettere il neutro

(2) configurazione consigliata da ABB

(3) configurazione realizzabile se è verificato il punto b).

Fig. 5: diagramma di flusso "protezione del conduttore di neutro"



Determinazione della minima sezione del conduttore di neutro

Il conduttore di neutro, se presente, deve avere la stessa sezione del conduttore di fase nei seguenti casi:

- nei circuiti monofase o bifase qualunque sia la sezione del conduttore di fase;
- nei circuiti trifase quando la sezione del conduttore di fase sia minore di o uguale a 16 mm² in rame o 25 mm² in alluminio.

La sezione del conduttore di neutro può essere inferiore alla sezione del conduttore di fase quando la sezione

del conduttore di fase è maggiore di 16 mm² con cavo in rame o 25 mm² con cavo in alluminio, se sono verificate entrambe le seguenti condizioni:

- la sezione del conduttore di neutro sia almeno di 16 mm² per conduttori in rame e 25 mm² per conduttori in alluminio;
- non siano presenti forti distorsioni armoniche della corrente di carico. In presenza di forti distorsioni armoniche, ad esempio nel caso di apparecchi con lampade a scarica, la sezione del conduttore di neutro non può essere inferiore a quella dei conduttori di fase.

Riepilogando:

Tab.2

	Sezione fase S [mm ²]	Minima sezione neutro S _N [mm ²]
Circuiti monofase/bifase Cu/Al	qualsiasi	S ¹
Circuito trifase Cu	S ≤ 16	S ¹
	S > 16	16
Circuito trifase Al	S ≤ 25	S ¹
	S > 25	25

¹nei sistemi di distribuzione TN-C le norme stabiliscono per il conduttore PEN la sezione minima di 10 mm² se in rame e 16 mm² se in alluminio.

Conduttore di protezione

Determinazione delle sezioni minime

La sezione minima del conduttore di protezione PE può essere determinata dalla tabella 3:

Tab.3

Sezione del conduttore di fase S [mm ²]	Sezione del conduttore di protezione S _{PE} [mm ²]
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 25	16
S > 25	S/2

Per un calcolo più preciso e nell'ipotesi che il conduttore di protezione subisca un riscaldamento adiabatico da una temperatura iniziale nota ad una temperatura finale specificata (applicabile quindi per un tempo di estinzione del guasto non superiore a 5s), la sezione minima del conduttore di protezione S_{PE} può essere ricavata dalla seguente formula:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K}$$

dove:

- S_{PE} è la sezione del conduttore di protezione in [mm²];
- I²t è l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione; tale dato può essere ricavato dalle relative curve o fornito dal costruttore dell'apparecchiatura di protezione;
- K è una costante che dipende dal materiale del conduttore di protezione, dal tipo di isolamento e dalla temperatura iniziale e finale e può essere ricavata dalle

tabelle presenti nelle norme (PVC k = 115, EPR k = 143) oppure calcolata mediante la seguente formula:

$$K = \sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i} \right)}$$

dove:

- Q_c è la capacità termica per unità di volume del materiale del conduttore in [J/°C·mm³];
- B è l'inverso del coefficiente di temperatura della resistività a 0 °C per il conduttore in [°C];
- ρ₂₀ è la resistività elettrica del materiale del conduttore a 20 °C in [Ω·mm];
- θ_i è la temperatura iniziale del conduttore in [°C];
- θ_f è la temperatura finale del conduttore in [°C];
- θ_i e θ_f dipendono dal materiale isolante e dalla tipologia di cavo utilizzato; si rimanda alla norma per ulteriori approfondimenti.

La tabella 4 riporta i valori più frequenti dei parametri appena descritti.

Tab.4

Materiale	B [°C]	Q _c [J/°C·mm ³]	ρ ₂₀ [Ω·mm]	$\sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}}}$
Rame	234,5	3,45·10 ⁻³	17,241·10 ⁻⁶	226
Alluminio	228	2,5·10 ⁻³	28,264·10 ⁻⁶	148
Piombo	230	1,45·10 ⁻³	214·10 ⁻⁶	42
Acciaio	202	3,8·10 ⁻³	138·10 ⁻⁶	78

Nel caso in cui dalla tabella delle norme o dall'applicazione della formula non dovesse risultare una sezione unificata, occorre scegliere un conduttore di protezione con una sezione unificata immediatamente superiore. Sia che si utilizzi la tabella o la formula, la sezione del conduttore di protezione che non faccia parte della condotta di alimentazione non dovrà essere inferiore a:

- 2.5 mm² se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm² se non è prevista una protezione meccanica.

Glossario

PE	Conduttore di protezione
PEN	Conduttore di protezione e di neutro combinato
I_{Δ}	Corrente differenziale
$I_{\Delta n}$	Corrente differenziale nominale
I_n	Corrente nominale
I_3	Soglia di intervento magnetico istantaneo
RCD	Residual current device – dispositivo differenziale
U_0	Tensione di fase (tra fase e neutro)
U_n	Tensione nominale (tra fase e fase)
Z	Impedenza
I_a	Corrente di intervento del dispositivo di protezione
R	Resistenza
R_t	Resistenza dell'impianto di terra
N	Neutro
S	Sezione del conduttore di fase
S_N	Sezione del conduttore di neutro
S_{PE}	Sezione del conduttore di protezione
S_{PEN}	Sezione del conduttore PEN

Quaderni di Applicazione Tecnica



QT1

La selettività in bassa tensione con interruttori ABB

Low voltage selectivity with ABB circuit-breakers

QT2

Cabine MT/BT teoria ed esempi di calcolo

MV/LV transformer substations: theory and examples of short-circuit calculation

QT3

Sistemi di distribuzione e protezione contro i contatti indiretti ed i guasti di terra

Distribution systems and protection against indirect contact and earth fault

QT4

Gli interruttori ABB nei quadri di bassa tensione

ABB circuit-breakers inside LV switchboards

QT5

Interruttori ABB per applicazioni in corrente continua

ABB circuit-breakers for direct current applications

QT6

Quadri per bassa tensione a tenuta d'arco interno

Arc-proof low voltage switchgear and controlgear assemblies



ABB SACE

Una divisione di ABB S.p.A.

Interruttori B.T.

Via Baioni, 35

24123 Bergamo

Tel.: 035.395.111 - Telefax: 035.395.306-433



<http://bol.it.abb.com>

Tutte le soluzioni
per la Bassa Tensione
e l'Automazione.

Per tener conto dell'evoluzione delle Norme e dei materiali, le caratteristiche e le dimensioni di ingombro indicate nel presente catalogo si potranno ritenere impegnative solo dopo conferma da parte di ABB SACE.

1SDC007102G0902 Maggio '08
Printed in Italy
4.000 - CAL

