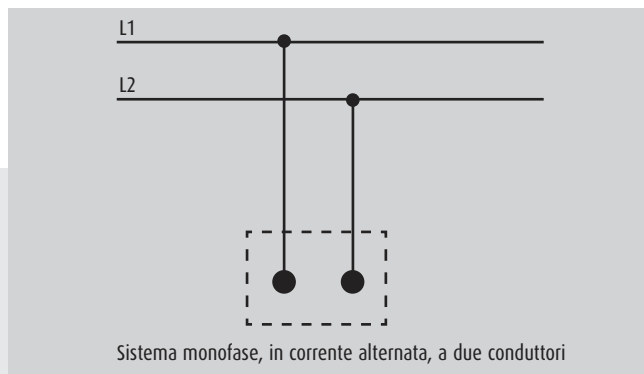


# I sistemi di distribuzione

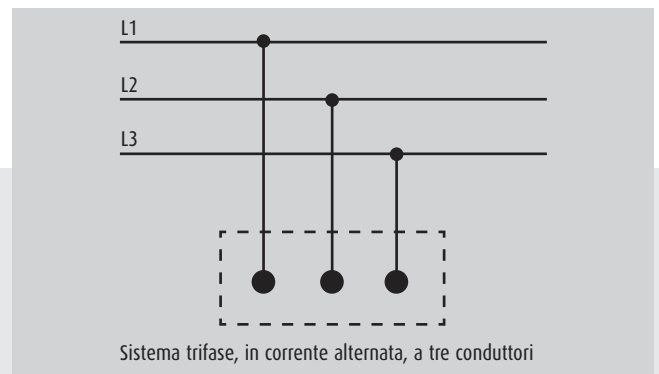
In bassa tensione i sistemi di distribuzione sono definiti in funzione del loro sistema di conduttori attivi e del loro modo di collegamento a terra.

## ■ SISTEMI DI CONDUTTORI ATTIVI

**Monofase**, in corrente alternata o corrente continua, a due o tre conduttori.



**Trifase**, in corrente alternata, a tre o quattro conduttori



## ■ MODI DI COLLEGAMENTO A TERRA

In relazione al modo di collegamento a terra del neutro del trasformatore e delle masse, i sistemi di distribuzione vengono identificati attraverso due lettere che rappresentano, rispettivamente:

**1^ lettera**, situazione del neutro rispetto a terra:

- T - neutro collegato direttamente a terra
- I - neutro isolato da terra o collegato a terra tramite un'impedenza

## ■ IL SISTEMA TT

In un impianto di tipo TT il neutro è distribuito direttamente dall'Ente erogatore ed è collegato a terra al centro stella del trasformatore.

Le masse degli utilizzatori sono invece collegate ad una terra locale come rappresentato nello schema. In un sistema TT il conduttore di neutro deve essere considerato un conduttore attivo perché potrebbe assumere tensioni pericolose, pertanto è sempre necessaria la sua interruzione.

Il valore della corrente di guasto nei sistemi TT viene limitata dalla resistenza del neutro, messo a terra in cabina e dalla resistenza di terra dell'impianto di terra locale.

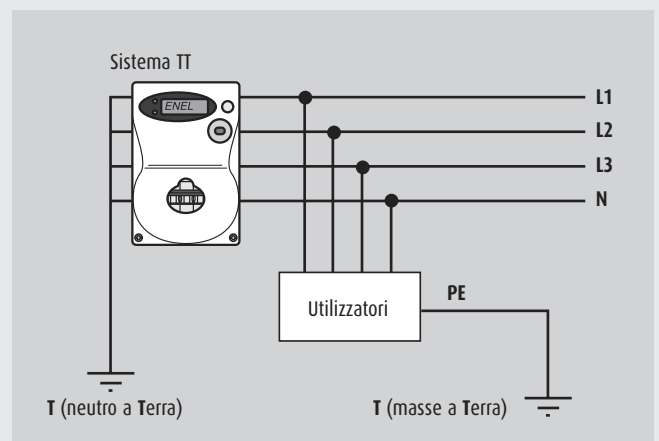
Negli impianti di questo tipo dove le masse non sono collegate ad un conduttore di terra comune si deve sempre prevedere un interruttore differenziale

**2^ lettera**, situazione delle masse rispetto a terra:

- T - masse collegate direttamente a terra
- N - masse collegate al conduttore di neutro

I sistemi di distribuzione monofase possono essere del tipo fase/neutro, se derivati da un sistema trifase a stella; o fase/fase, se derivati da un sistema a triangolo.

su ogni partenza, poiché è obbligatorio che si interrompa tempestivamente il circuito al primo guasto di isolamento.



## ■ IL SISTEMA TN

Il sistema di distribuzione TN si utilizza in impianti dotati di una propria cabina di trasformazione media/bassa tensione. In questo sistema di distribuzione il neutro è collegato direttamente a terra.

Si possono realizzare due tipologie di sistema TN, rispettivamente:

### Sistema TN-S

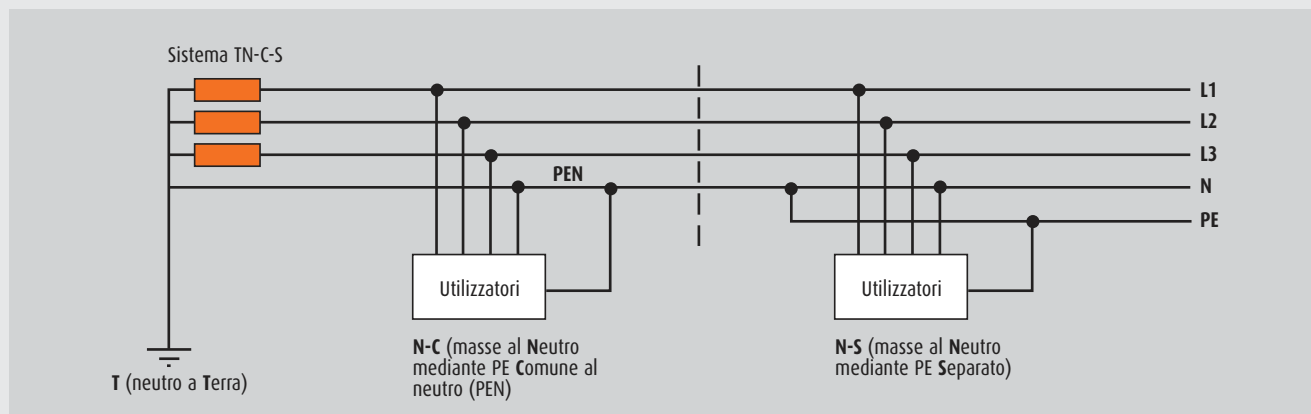
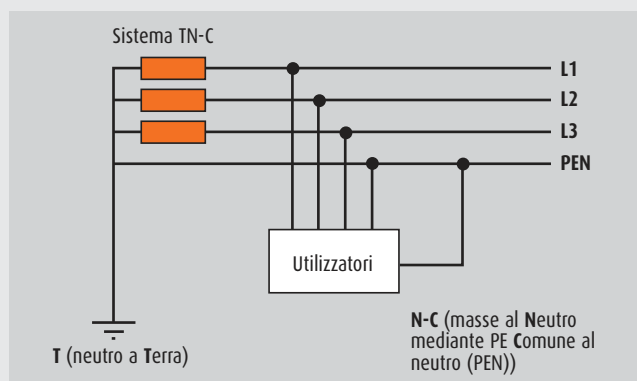
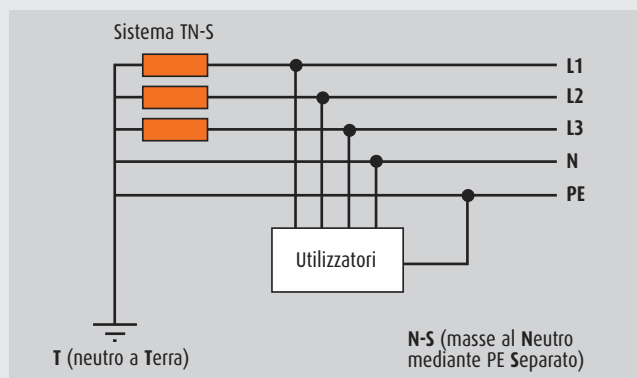
Si realizza tenendo i conduttori di neutro (N) e di protezione (PE) separati tra loro (PE+N) come illustrato nello schema di riferimento (collegamento a 5 fili). Il conduttore di protezione (PE) non deve mai essere interrotto.

### Sistema TN-C

Si realizza collegando il neutro (N) ed il conduttore di protezione (PE) insieme (PEN) come illustrato nello schema di riferimento (collegamento a 4 fili). Esso consente di risparmiare sull'installazione poiché presuppone l'impiego di interruttori tripolari e la soppressione di un conduttore. In questa tipologia di distribuzione la funzione di protezione e di neutro è assolta dal medesimo conduttore (PEN) che non deve essere mai interrotto. Il conduttore PEN deve essere collegato al morsetto di terra dell'utilizzatore ed al neutro e non deve avere sezione inferiore a 10 mm<sup>2</sup> se in rame o 16 mm<sup>2</sup> se in alluminio.

Con questo sistema di distribuzione è vietato l'uso di dispositivi di interruzione differenziale sulle partenze con neutro distribuito, pertanto ne è vietato l'impiego per impianti a maggior rischio in caso di incendio. È consentita la realizzazione di sistemi di distribuzione misti TN-C e TN-S in un medesimo impianto (TN-C-S), purché il sistema di distribuzione TN-C sia a monte del sistema TN-S.

Nel sistema TN le masse vanno collegate al conduttore di protezione che a sua volta è collegato al punto di messa a terra dell'alimentazione. Si consiglia sempre di collegare il conduttore di protezione a terra in più punti. L'interruzione del circuito è obbligatoria al verificarsi del primo guasto di isolamento e può essere realizzata con dispositivi di protezione dalle sovracorrenti o differenziali (con le eccezioni di cui sopra). Vale la pena ricordare che con il sistema di distribuzione TN il rischio di incendio in caso di forti correnti di guasto aumenta.



# I sistemi di distribuzione

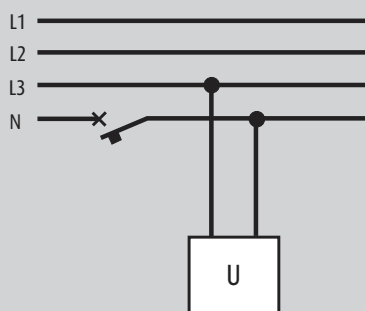
## ■ IL SISTEMA IT

Questo sistema di distribuzione è generalmente usato in impianti con propria cabina di trasformazione dove è richiesta la massima continuità di servizio. Nel sistema IT il neutro è isolato da terra o vi è collegato attraverso un'impedenza di valore sufficientemente elevato. Tutte le masse degli utilizzatori sono invece collegate individualmente a terra ed il neutro non viene distribuito così come raccomandato dalle norme. Per la massima continuità di servizio non è richiesto lo sgancio automatico al primo guasto, ma ne è richiesta obbligatoriamente la segnalazione attraverso un controllo permanente dell'isolamento tra neutro e terra. Lo sgancio è invece obbligatorio al secondo guasto e si effettua con dispositivi di protezione dalle sovracorrenti o differenziali. La verifica dello sgancio al secondo guasto va effettuata in fase di progetto tramite calcoli ed eventualmente accertata durante la messa in funzione dell'impianto. Nei sistemi IT dove le masse sono collegate a terra individualmente o per gruppi, è necessario effettuare la verifica dell'intervento automatico dei dispositivi di protezione secondo le condizioni previste per i sistemi di tipo TT. In queste condizioni è sempre richiesto

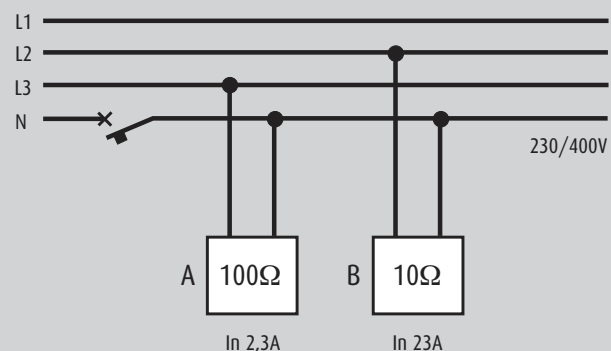
## ■ INTERRUZIONE DEL CONDUTTORE NEUTRO

Il conduttore neutro non deve mai essere interrotto se prima o contemporaneamente non si interrompono tutti i conduttori di fase che interessano il circuito. La stessa regola vale per la richiusura, nel senso che il neutro non deve mai risultare chiuso dopo le fasi.

Vietato interrompere solo il neutro



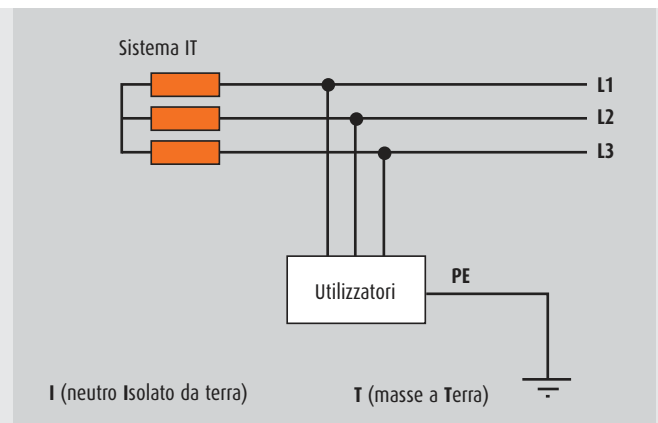
Il neutro, attraverso l'utilizzatore U assume la tensione di fase



Gli utilizzatori A e B risultano collegati in serie tra L2 L3 alla tensione di 400V con un assorbimento di 3,45A; l'utilizzatore A è sovraccaricato

l'impiego di interruttori differenziali. Nel caso invece in cui le masse sono collegate collettivamente a terra la verifica delle protezioni deve essere fatta facendo riferimento alle considerazioni valide per il sistema TN. Le norme sconsigliano vivamente di avere il dispersore delle masse della cabina separato da quello degli utilizzatori.

In impianti comunque realizzati in questo modo è necessario impiegare dispositivi differenziali a monte dell'installazione.



Questa regola riguarda la sicurezza: infatti, il neutro assumerebbe la tensione di fase attraverso gli utilizzatori e, in caso di distribuzione trifase, gli utilizzatori monofase con alimentazione fase-neutro potrebbero subire danni.

## NUMERO DI POLI DA PROTEGGERE IN FUNZIONE DEL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE

In funzione del sistema di distribuzione impiegato è necessario scegliere le protezioni adeguate riferendosi al numero di poli (conduttori) da proteggere. Come regola generale devono essere previsti dispositivi idonei ad interrompere le sovracorrenti che si possono creare su tutti i conduttori di fase. Non è in generale richiesta l'interruzione di tutti i conduttori attivi. In base a questa regola è possibile impiegare fusibili ed interruttori automatici unipolari o multipolari. Nei sistemi TT e TN con neutro non distribuito è possibile omettere il dispositivo di rilevazione delle sovracorrenti su uno dei conduttori di fase, se a monte è installato un dispositivo differenziale. Nei sistemi IT è invece obbligatorio predisporre i sistemi di rilevazione su tutti i conduttori di fase.

Nei sistemi di tipo IT il neutro non dovrebbe essere distribuito per ragioni di sicurezza, in quanto al primo guasto a terra potrebbe assumere una tensione verso terra pari a quella concatenata del sistema trifase. Nel caso in cui il neutro è distribuito è necessario provvedere alla rilevazione delle sovracorrenti con interruzione di tutti i conduttori compreso il neutro. Questo provvedimento non è necessario se il neutro è opportunamente protetto dal cortocircuito da un idoneo dispositivo di protezione posto a monte (per esempio all'origine dell'installazione) ed il circuito è protetto da un dispositivo differenziale con corrente differenziale inferiore al 15% della portata del conduttore di neutro corrispondente. Il differenziale deve necessariamente aprire tutti i conduttori attivi (neutro compreso).

Sistemi di distribuzione	Monofase		Trifase con neutro		Trifase
	Fase + Neutro (L + N)	Fase + Fase (L + L)	$SN \geq SF (L1 + L2 + L3 + N)$	$SN < SF (L1 + L2 + L3 + N)$	$(L1 + L2 + L3)$
TT	 1P+N o 2P	 2P	 3P+N o 4P	 4P	 3P
TN-S conduttore PE separato da N	 1P+N o 2P	 2P	 3P+N o 4P	 4P	 3P
TN-C conduttore PEN	 1P	 2P	 3P	 3P	 3P
IT	 2P	 2P	 4P	 4P	 3P

### Legenda

SN = sezione del conduttore del neutro

SF = sezione del conduttore di fase

si = protezione necessaria

no = protezione vietata sul conduttore PEN

(1) = non è richiesta la protezione ma non è neanche vietata

(2) = protezione vietata

1P = interruttore con il polo protetto

1P+N = interruttore con il polo di fase protetto e con il polo di neutro non protetto

2P = interruttore con entrambi i poli di fase protetti

3P = interruttore con 3 poli protetti

3P+N = interruttore con i 3 poli di fase protetti e quello di neutro non protetto

4P = interruttore con 4 poli protetti

# Protezione dai contatti indiretti

## TIPI DI PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI

Tutti i componenti elettrici devono essere protetti contro il pericolo di contatto con parti metalliche accessibili, normalmente non in tensione, ma che potrebbero assumere un potenziale pericoloso a seguito di un guasto o del cedimento dell'isolamento.

## PROTEZIONE MEDIANTE INTERRUZIONE DELL'ALIMENTAZIONE

È richiesta quando, a causa di un guasto, si possono verificare sulle masse tensioni di contatto di durata e valore tali da rendersi pericolose per le persone.

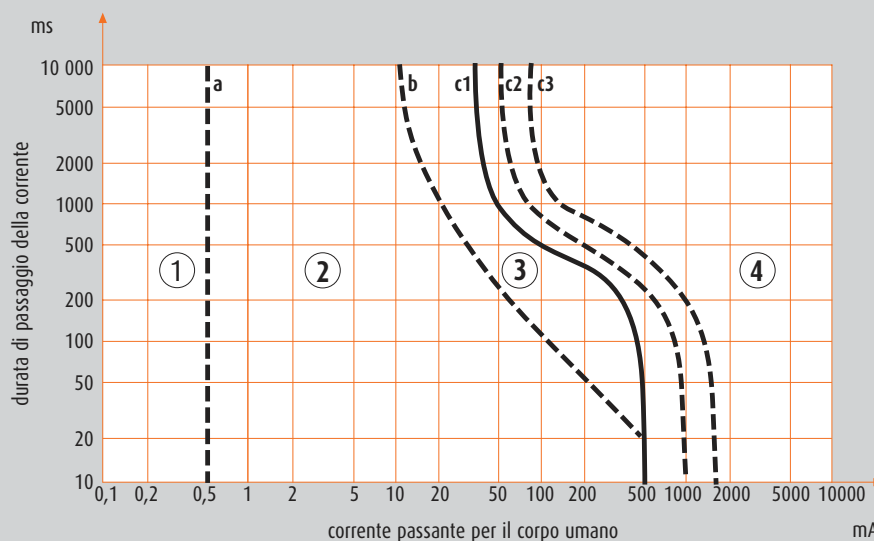
La norma CEI 64-8/4 considera pericolose le tensioni di contatto e di passo superiori a 50V a.c. per gli ambienti ordinari e a 25V a.c. per gli ambienti speciali. Se le tensioni sono superiori a questi valori è necessario interromperle in tempi opportunamente brevi, così come definito dalla norma IEC 60479-1.

In questo caso è quindi necessario scegliere dei dispositivi di interruzione e protezione automatici che abbiano caratteristiche di intervento tali da garantire un adeguato livello di sicurezza.

Le norme non pongono limiti alla scelta dei dispositivi di protezione impiegabili, che potrebbero essere fusibili, magnetotermici o differenziali, purché abbiano i requisiti di protezione richiesti. Vale la pena

ricordare che gli interruttori differenziali sono gli apparecchi maggiormente impiegati per un'efficace protezione dai contatti indiretti. Per scegliere quale apparecchio impiegare è necessario conoscere la caratteristica tempo-tensione dove rilevare per quanti secondi o frazione di secondi un determinato valore di tensione di contatto può essere sopportato. Per poter costruire questa caratteristica è indispensabile analizzare gli effetti che la corrente provoca nel passaggio in un corpo umano riportata sulla norma IEC 60479-1. Questa caratteristica definisce 4 zone di pericolosità in funzione del valore di corrente circolante per un determinato tempo. Analizzando le curve di sicurezza se ne deduce che gli interruttori differenziali con soglia di intervento di 30mA offrono un eccellente livello di protezione dai contatti indiretti e sono preferibili ad altri dispositivi di protezione.

## EFFETTI DELLA CORRENTE SUL CORPO UMANO SECONDO IEC 60479-1



**Zona 1:** nessuna reazione al passaggio della corrente

**Zona 2:** abitualmente nessun effetto fisiologicamente pericoloso

**Zona 3:** abitualmente nessun danno organico. Probabilità di contrazioni muscolari e difficoltà respiratoria; disturbi reversibili nella formazione e conduzione di impulsi nel cuore, inclusi fibrillazione ventricolare, che aumentano con l'intensità di corrente ed il tempo.

**Zona 4:** in aggiunta agli effetti descritti per la zona 3 la probabilità di fibrillazione ventricolare può aumentare fino oltre il 50%. Si possono avere degli effetti fisiologici come l'arresto cardio-respiratorio e gravi ustioni.

**c2:** probabilità 5%

**c3:** probabilità > 50%

### ■ PROTEZIONE SENZA L'INTERRUZIONE AUTOMATICA DELL'ALIMENTAZIONE

La protezione totale dai contatti indiretti si può realizzare mediante l'isolamento delle parti attive, senza possibilità di rimuovere l'isolamento stesso, o mediante involucri e barriere che assicurino adeguati gradi di protezione. In particolari ambienti è ammesso realizzare la protezione parziale dai contatti indiretti

### ■ PROTEZIONE MEDIANTE SEPARAZIONE ELETTRICA

Per garantire la protezione dai contatti si ricorre a circuiti in cui le parti attive sono alimentate da un circuito elettrico perfettamente isolato da terra. In questi impianti non è possibile la richiusura del circuito attraverso il contatto mano-piedi della persona e quindi non si possono realizzare situazioni reali di pericolo. Questo tipo di protezione si può realizzare impiegando trasformatori a isolamento ordinario e linee di lunghezza limitata.

### ■ PROTEZIONE IN IMPIANTI A BASSISSIMA TENSIONE DI SICUREZZA

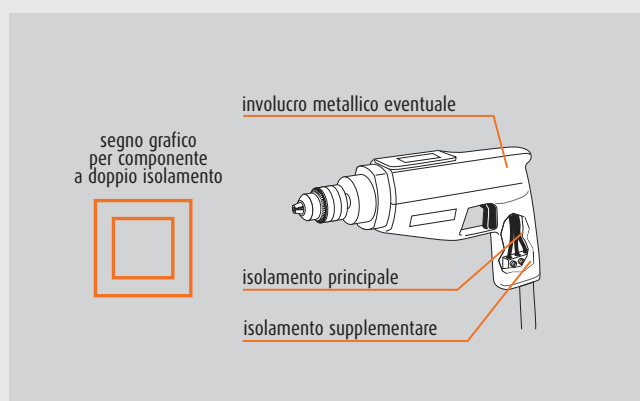
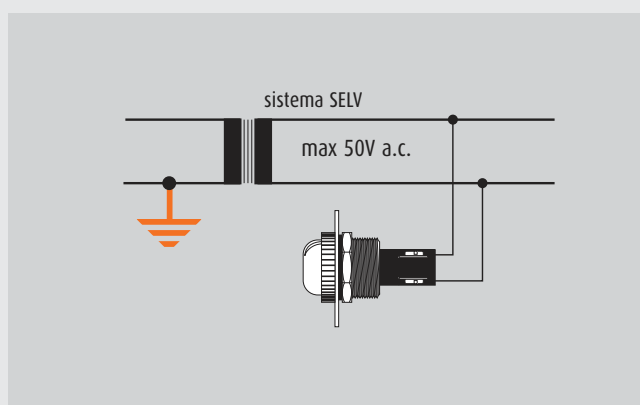
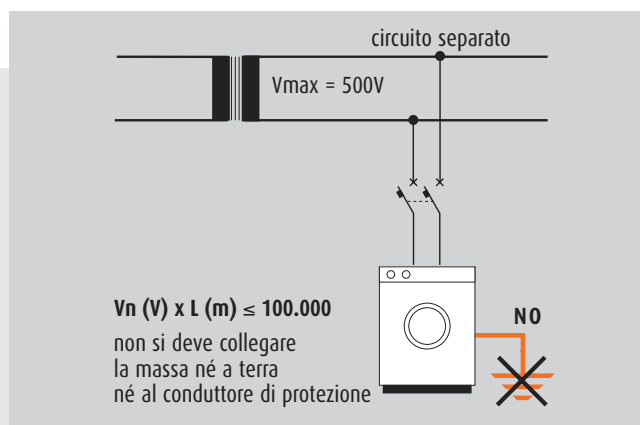
In questo caso la protezione è garantita quando le parti attive sono alimentate a tensioni non superiori a 50V a.c. e 120V d.c., adottando comunque i provvedimenti per impedire il contatto accidentale tra i circuiti a bassissima tensione e quelli a bassa tensione. In alcuni casi speciali è ammessa la protezione mediante luoghi non conduttori o collegamento equipotenziale locale non connesso a terra.

### ■ PROTEZIONE MEDIANTE DOPPIO ISOLAMENTO O ISOLAMENTO RINFORZATO

Questi componenti elettrici hanno parti attive isolate dalle parti accessibili oltre all'isolamento funzionale anche da un isolamento supplementare che rende praticamente impossibile l'incidente. Essi sono definiti di classe II.

Il collegamento delle masse al conduttore di protezione in questo caso è vietato.

mediante ostacoli o distanziamenti che impediscono l'accidentale contatto con le parti in tensione. In aggiunta e non in sostituzione delle protezioni totali e parziali è prevista l'installazione della protezione attiva mediante interruttori differenziali con corrente differenziale nominale non superiore a 30 mA.



## Protezione dai contatti indiretti

### ■ PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI NEI SISTEMI TT MEDIANTE INTERRUTTORI DIFFERENZIALI

Nei sistemi TT un guasto tra una fase ed una massa determina una corrente di guasto che interessa contemporaneamente l'impianto di terra dell'utente e del distributore di energia.

Tale corrente è funzione dell'impedenza di guasto dovuta essenzialmente alla resistenza di terra delle masse e del neutro, essendo la somma di queste resistenze preponderante rispetto agli altri elementi dell'anello di guasto.

La protezione dai contatti indiretti mediante l'interruzione automatica dell'alimentazione negli impianti TT deve essere effettuata tramite interruttore differenziale.

Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

**$RE \leq 50/I_{\Delta n}$**  dove:

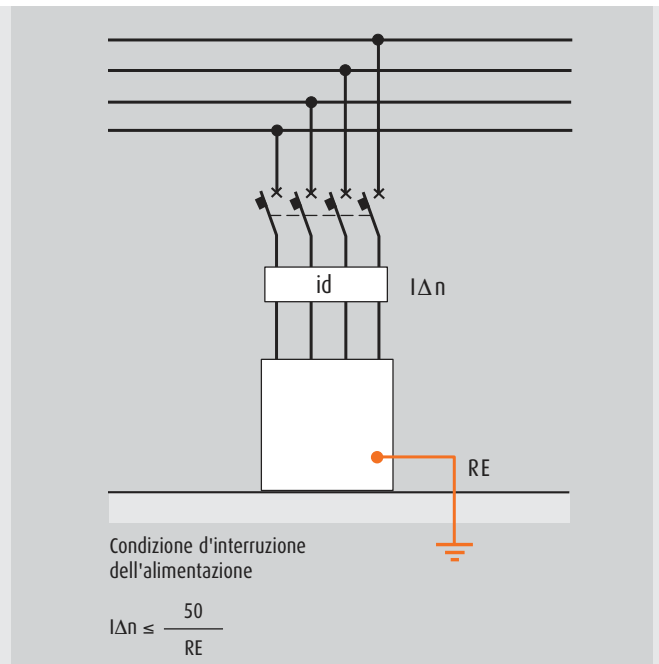
**RE** = è la resistenza del dispersore ( $\Omega$ )

**50** = è la tensione di contatto (V) di sicurezza per gli ambienti ordinari (25V per gli ambienti particolari, agricoli, zootecnici etc...)

**$I_{\Delta n}$**  = è la corrente nominale (A) che provoca l'intervento dell'interruttore differenziale

L'interruttore differenziale rileva direttamente la corrente di dispersione a terra come differenza tra le correnti totali che interessano i conduttori attivi. La corrente di intervento ( $I_a = 50V/RE$ ) da introdurre nella condizione di coordinamento si identifica con la corrente nominale differenziale ( $I_{\Delta n} = 50V/RE$ ) quando il tempo d'intervento non supera 1 secondo. Le condizioni di coordinamento sono indicate in tabella.

$I_{\Delta n}$ (A)	1	0,5	0,3	0,1	0,03	0,01
RE ( $\Omega$ )	50	100	166	500	1666	5000



### ■ PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI NEI SISTEMI TN

In un sistema TN esistono tanti anelli di guasto quante sono le masse suscettibili di andare in tensione.

Un guasto sul lato bassa tensione è paragonabile a un cortocircuito che si richiude al centro stella del trasformatore attraverso i conduttori di fase e di protezione.

È necessario verificare che le caratteristiche dei dispositivi di protezione e le impedenze dei circuiti siano tali che, in presenza di un guasto tra un conduttore di fase e un conduttore di protezione o una massa in un qualsiasi punto dell'impianto, l'alimentazione venga interrotta nei tempi indicati

dalla norma CEI 64-8, e sia soddisfatta la seguente condizione:

**$I_a \leq U_0/Z_s$**  dove:

**$U_0$**  = è la tensione nominale verso terra (lato bassa tensione) dell'impianto

**$Z_s$**  = è l'impedenza totale

**$I_a$**  = è la corrente (A) che provoca l'intervento automatico del dispositivo di protezione entro i tempi indicati di seguito.

#### Tempi d'interruzione in funzione di $U_0$

$U_0$ (V)	120	230	400	>400
T (s)	0,8	0,4	0,2	0,1

I tempi massimi indicati nella tabella si applicano a circuiti terminali protetti con dispositivi di protezione contro le sovracorrenti aventi corrente nominale o regolata minore o uguale a 32A. Tempi superiori a quelli della tabella ma inferiori a 5s sono ammessi per circuiti di distribuzione e circuiti terminali protetti da dispositivi di sovracorrente con corrente nominale o regolata superiore a 32A. Se l'interruzione automatica non può essere ottenuta con le condizioni di cui sopra, la norma raccomanda di realizzare un collegamento equipotenziale supplementare connesso a terra. La 64-8 prescrive anche che, nei casi eccezionali in cui possa presentarsi un guasto tra un conduttore di fase e la terra, ad esempio nel caso di linee aeree, affinché il conduttore di protezione e le masse ad esso collegate non superino il valore convenzionale di 50V, deve essere soddisfatta la seguente condizione:

**$R_B/R_E \leq 50/U_0-50$**  dove:

**RB** = è la resistenza di terra di tutti idispersori collegati in parallelo, compresi quelli della rete di alimentazione

**RE** = è la resistenza minima di terra delle masse estranee non collegate ad un conduttore di protezione, attraverso le quali è possibile il verificarsi di un guasto tra fase e terra

**U0** = è la tensione nominale verso la terra.

Gli interruttori magnetotermici sono preferibili agli interruttori differenziali per l'interruzione contro i contatti diretti in presenza di elevate correnti di guasto. Di seguito è riportata una tabella che indica le condizioni di coordinamento per una protezione adeguata impiegando interruttori magnetotermici Bticino in circuiti con  $U_0 = 230V$ .

#### Interruttori BTDIN

In (A)	25	32	40	50	63
Zs (Ω)	1533	1197	958	766	608

#### Interruttori Megatiker

In (A)	80	125	160	250	400	630	800	1000	1250	1600
Zs (Ω)	287	184	143	92	57,5	36,5	28,7	38,3	30,6	23,9

Per il calcolo dell'impedenza dell'anello di guasto si propone la seguente formula:

$$Z_s = 1,5 \sqrt{(R_E + R_L + R_{PE})^2 + (X_E + X_L + X_{PE})^2}$$

dove:

**RE** = Resistenza interna trasformatore

**RL** = Resistenza del conduttore di fase

**RPE** = Resistenza del conduttore di protezione

**XE** = Reattanza interna trasformatore

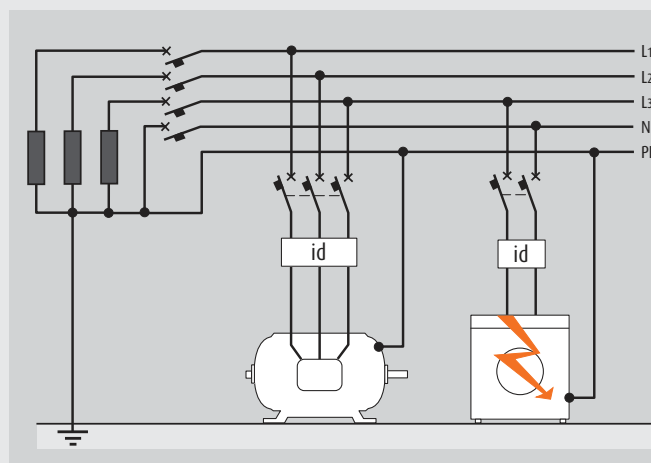
**XL** = Reattanza del conduttore di fase

**XPE** = Reattanza del conduttore di protezione

Nel caso in cui la condizione di protezione non fosse soddisfatta con l'impiego di interruttori magnetotermici è necessario ricorrere a dispositivi differenziali (vietati tuttavia nel sistema TN-C). L'impiego di tali dispositivi soddisfa generalmente la condizione di protezione e non richiede il calcolo dell'impedenza totale dell'impianto Zs. Gli interruttori differenziali non presentano alcun problema di coordinamento, in quanto per IΔn elevate (3A) ammettono impedenze dell'anello di guasto dell'ordine di diverse decine di Ω (76), che non si realizzano mai.

Per evitare interventi intempestivi dei dispositivi differenziali conviene installare sui circuiti di distribuzione apparecchi di tipo regolabile, impostando la massima corrente nominale differenziale ed il massimo ritardo; sui circuiti terminali installare invece apparecchi istantanei con la massima sensibilità consentita.

Verificare sempre che il potere di interruzione differenziale non sia inferiore alla corrente di guasto prevedibile ( $U_0/Z_s$ ).





# Protezione dai contatti indiretti

## ■ PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI NEI SISTEMI IT

Nel sistema di distribuzione IT il neutro è isolato da terra (o è collegato attraverso un'impedenza di valore elevato) e le masse metalliche sono collegate direttamente a terra. In caso di guasto a massa la corrente di guasto si richiude solo attraverso le capacità dei conduttori sani verso terra. Questa corrente di guasto risulta limitata entro valori non pericolosi. Al primo guasto le norme non richiedono l'intervento dei dispositivi di protezione, tuttavia al secondo guasto è indispensabile che le protezioni intervengano tempestivamente con i tempi indicati nella tabella di seguito.

Tensione (V)	Tempo di interruzione (s)	
	neutro non distribuito	neutro distribuito
120/240	0,8	5
230/400	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1000	0,1	0,2

Pur non essendo richiesto l'intervento dei dispositivi di protezione al primo guasto è necessario invece adottare dei dispositivi di segnalazione a funzionamento continuo atti a rilevare lo stato di isolamento dell'impianto stesso e segnalare l'eventuale guasto a terra sulle fasi o sul neutro (solo se distribuito). Le norme raccomandano di eliminare il primo guasto con il più breve ritardo possibile.

## Collegamento individuale delle masse

Se le masse degli utilizzatori sono collegate individualmente a dispersori locali il secondo guasto di terra deve essere considerato e trattato come un guasto realizzabile in un sistema TT.

La condizione di coordinamento da rispettare al secondo guasto è:

$$I_{\Delta} \leq 50/RE.$$

L'uso dei dispositivi di protezione differenziali non comporta problemi di coordinamento ed è indispensabile per l'interruzione al secondo guasto.

I dispositivi di protezione impiegabili negli impianti IT possono essere interruttori di protezione dalle sovracorrenti o dispositivi differenziali.

Nel caso di impiego di interruttori differenziali è necessario impiegare apparecchi con una corrente differenziale di non funzionamento almeno uguale alla corrente prevista per un eventuale 1° guasto a terra. Questa condizione è necessaria per garantire la massima continuità di servizio. La condizione di protezione da rispettare per il coordinamento delle protezioni nei sistemi IT è:

**RE · I<sub>Δ</sub> ≤ UL** dove:

**RE** = è la resistenza del dispersore di terra (Ω)

**I<sub>Δ</sub>** = è la corrente di guasto nel caso di 1° guasto di impedenza trascurabile tra un conduttore di fase ed una massa.

**UL** = è la tensione limite di contatto pari a 50V per gli ambienti ordinari e 25V per gli ambienti speciali

A seconda di come sono collegate le masse, tutte collegate tra loro ad un stesso punto o collegate individualmente a picchetti di terra, al primo guasto a terra il sistema IT si trasforma in un sistema TN o TT, di conseguenza per la protezione dai contatti indiretti dovranno essere prese in esame le considerazioni fatte per queste 2 tipologie di sistemi.

