

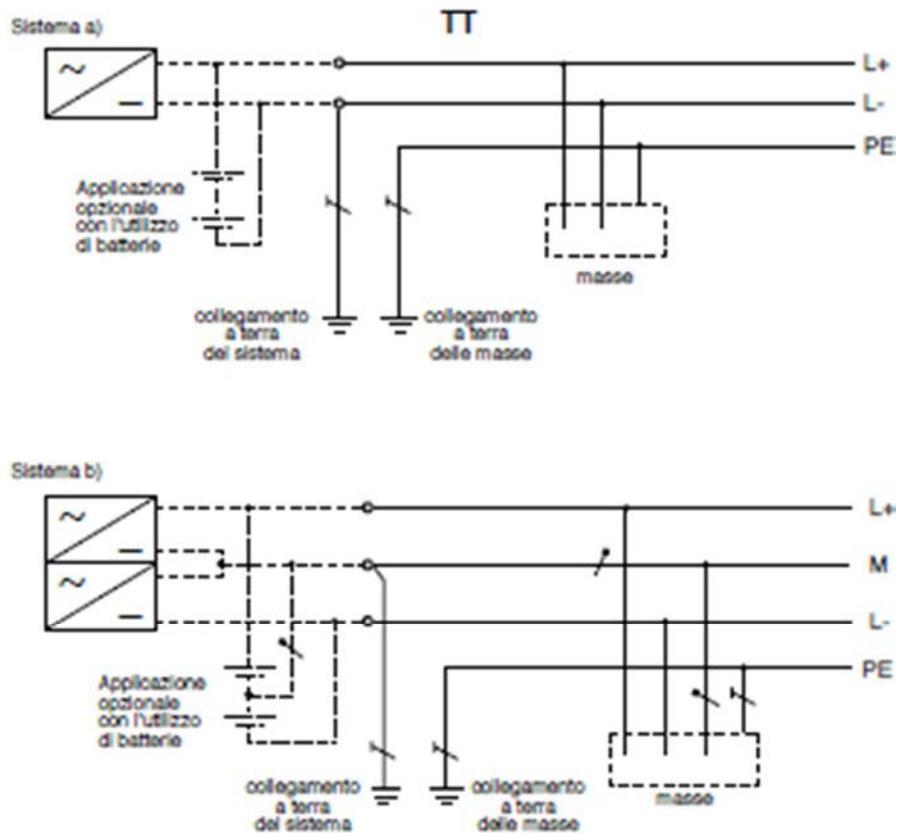
Appendice A

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 indipendenti (la scelta di connettere a terra il polo positivo o negativo è effettuata in base ad altre considerazioni non trattate nella presente appendice 9. Eventualmente può essere collegato a terra il punto medio dell'alimentazione

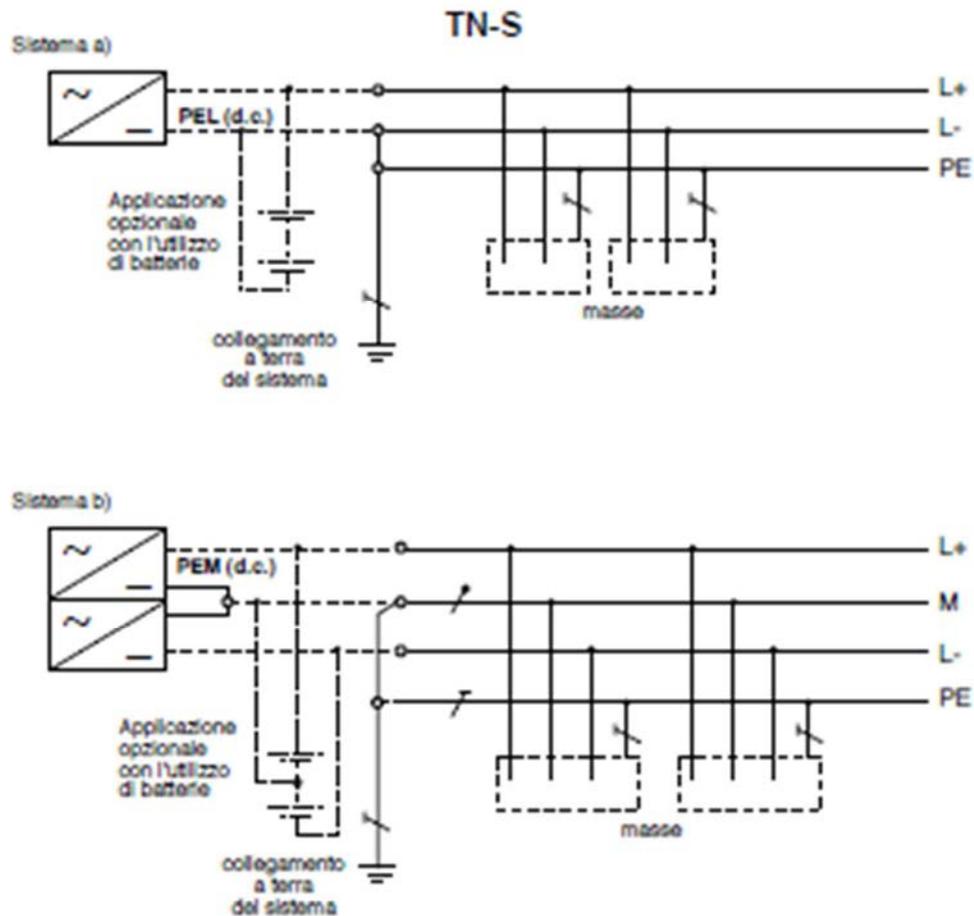


Sistema TN

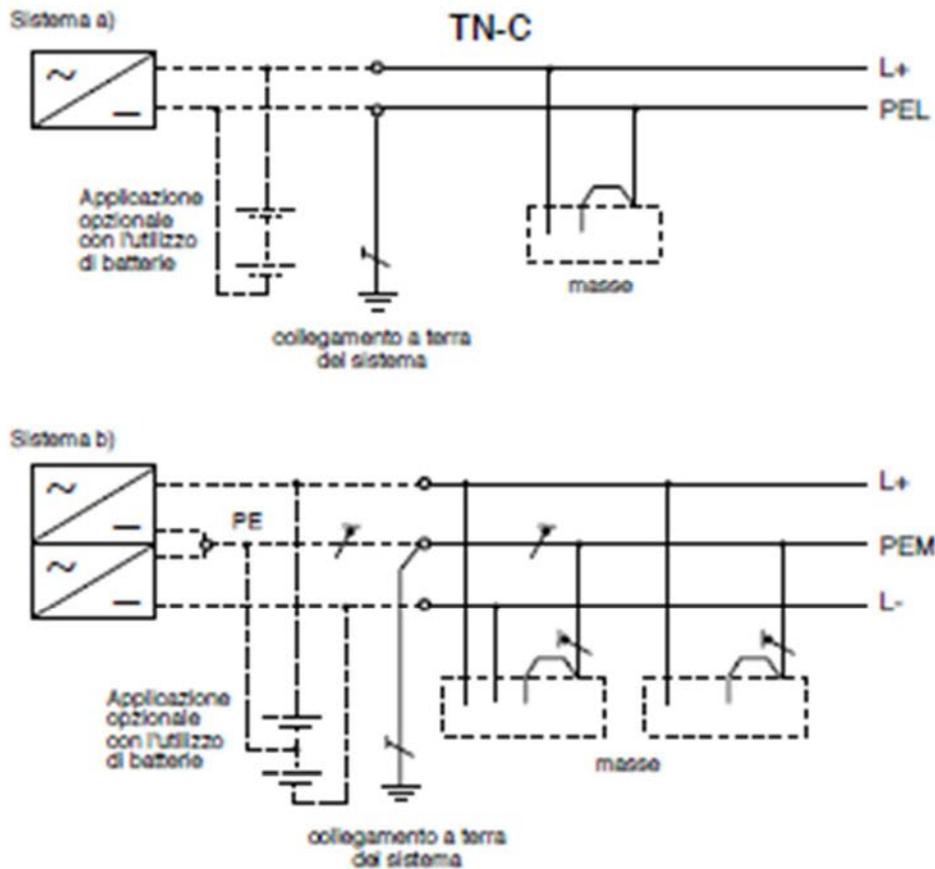
Un polo, o il punto medio dell'alimentazione, è messo direttamente a terra; le masse sono connesse allo stesso punto di messa a terra.

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:

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

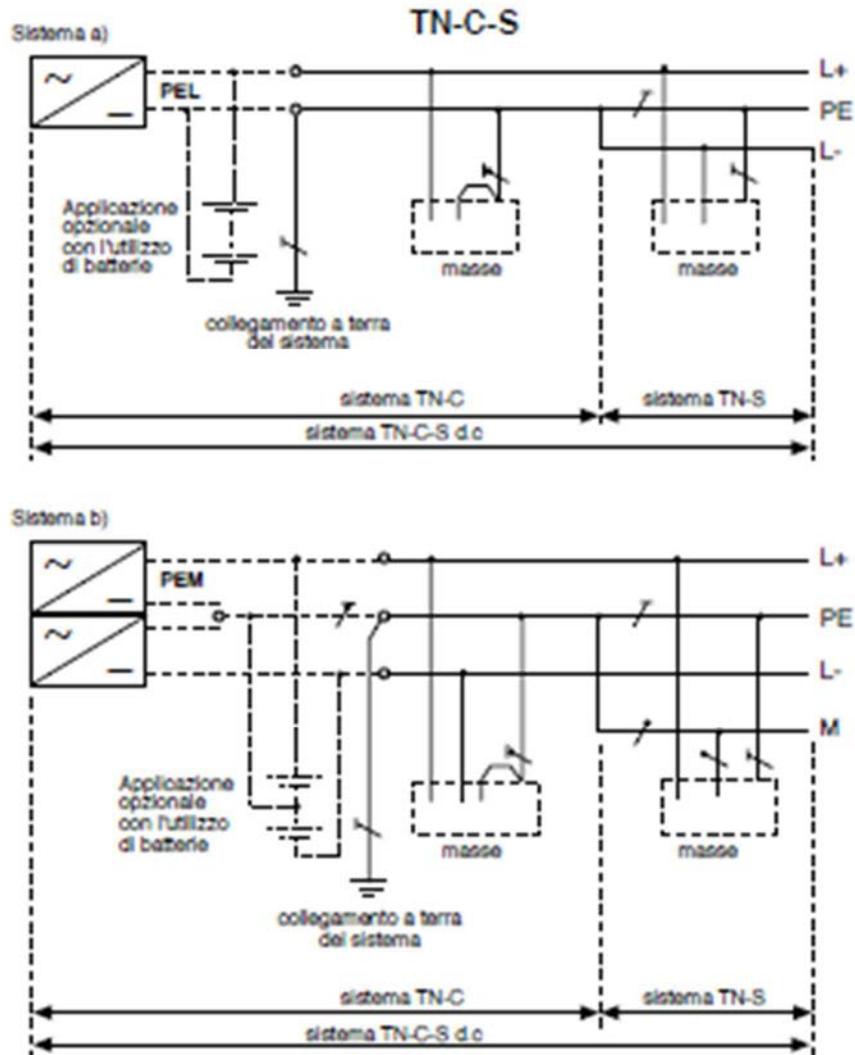


TN-C le funzioni di polo connesso a terra e conduttore di protezione sono combinate in un unico conduttore definito PEN;



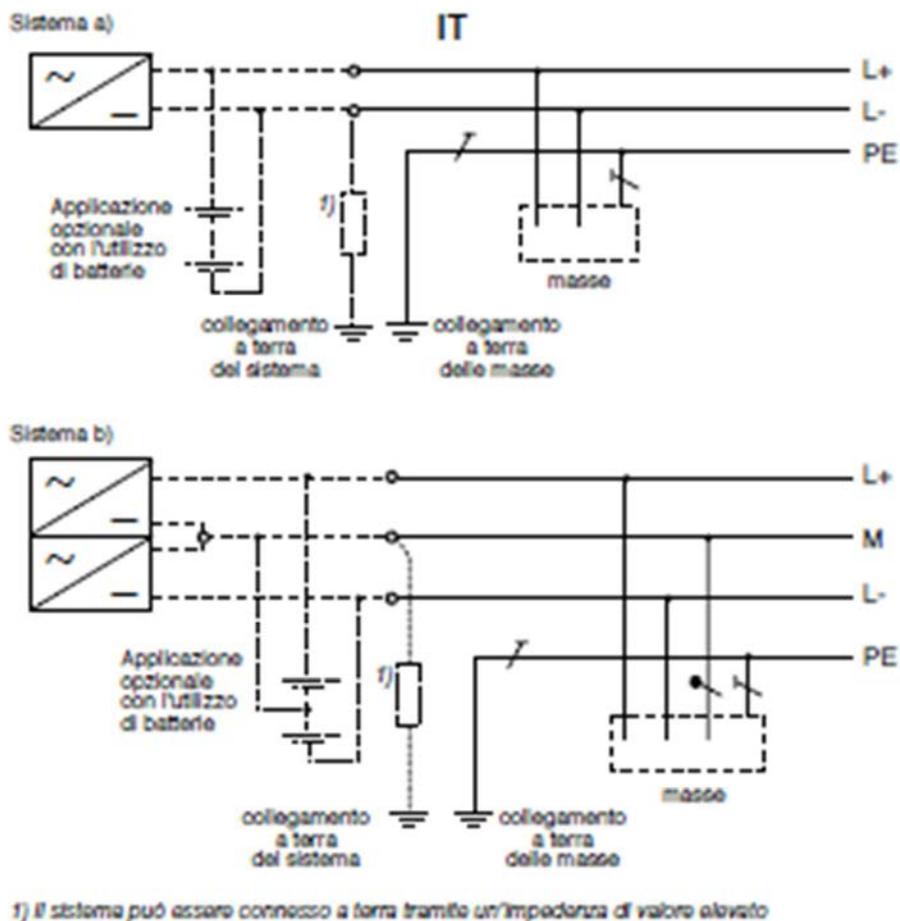
TN-C-S

le funzioni di polo connesso a terra e conduttore di protezione sono in parte combinate in un solo conduttore PEN ed in parte separate.



Sistema IT

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



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 fisiopatologici per il corpo umano (per i sistemi IT l'apertura automatica del circuito non è necessariamente richiesta in presenza di un primo guasto).

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.

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);
- 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.

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

1ª CIFRA: protezione contro i corpi solidi			2ª CIFRA: protezione contro i liquidi		
IP	Descrizione completa	Descrizione completa	IP	Descrizione completa	Descrizione completa
0	Nessuna protezione Non è prevista alcuna particolare protezione		0	Nessuna protezione Non è prevista alcuna particolare protezione	
1	Protezione 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	1	Protezione contro le cadute verticali di gocce d'acqua (condensa) 	Le gocce d'acqua che cadono verticalmente non devono provocare effetti dannosi
2	Protezione 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	2	Protezione 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	Protezione 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	3	Protezione 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	Protezione 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	4	Protezione contro gli spruzzi di acqua da tutte le direzioni 	L'acqua sprazzata sull'involucro da tutte le direzioni non deve provocare effetti dannosi
5	Protezione 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	5	Protezione contro i getti d'acqua da tutte le direzioni ricadente lancia 	L'acqua proiettata con un ugello sull'involucro da tutte le direzioni non deve procurare effetti dannosi
6	Totamente protetto contro la polvere 	Non è ammessa alcuna penetrazione di polvere	6	Protezione contro i getti d'acqua simili alle onde marine 	Nel caso di ondate oppure di getti potenti l'acqua non deve penetrare nell'involucro in quantità dannosa
			7	Protezione 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	Protezione contro gli effetti della immersione continua 	Il materiale è adatto per rimanere sommerso in continuità in acqua nelle condizioni specificate dal costruttore
Lettera addizionale: protezione contro l'accesso a parti pericolose			Lettera addizionale: protezione contro l'accesso a parti pericolose		
IP	Descrizione completa	Descrizione completa	IP	Descrizione completa	Descrizione completa
0	Protezione 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	Protezione 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	Protezione contro l'accesso con un utensile 	Il calibro di accessibilità di diametro 2,5 mm e di lunghezza 100 mm deve mantenere una adeguata distanza dalle parti pericolose	3	Protezione 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

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

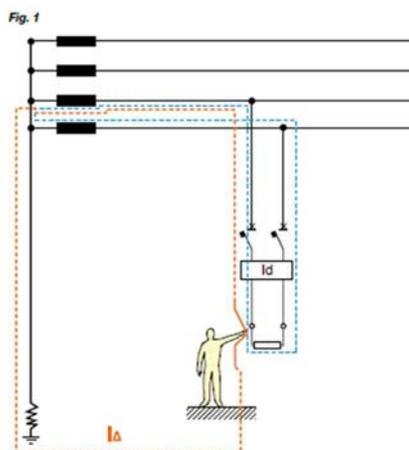
- nei locali ad uso abitativo per i circuiti che alimentano le prese a spina con corrente nominale non superiore a 20A;
- per i circuiti che alimentano le prese a spina con una corrente nominale non superiore a 32A destinate ad alimentare apparecchi utilizzatori mobili usati all'esterno.

L'uso di tali dispositivi viene definito dalle norme come protezione aggiuntiva 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.

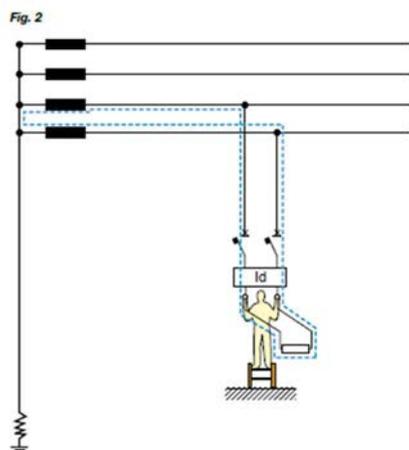
È da notare che non essendoci un guasto verso massa non ha alcuna influenza lo stato di collegamento delle masse rispetto a terra.



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 ($I_{\Delta n} \leq 30mA$).

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



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 aggiuntiva 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 (queste misure di protezione sono applicabili solo quando l'impianto è controllato da o sotto la supervisione di persone addestrate);
- protezione mediante collegamento equipotenziale locale non connesso a terra (queste misure di protezione sono applicabili solo quando l'impianto è controllato da o sotto la supervisione di persone addestrate);
- protezione per separazione elettrica per l'alimentazione di un solo apparecchio utilizzatore;
- protezione per separazione elettrica per l'alimentazione di più apparecchi utilizzatori (queste misure di protezione sono applicabili solo quando l'impianto è controllato da o sotto la supervisione di persone addestrate).

Protezione mediante componenti elettrici di Classe II o con isolamento equivalente

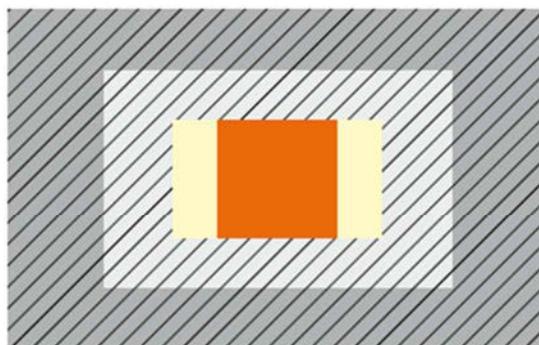
Questa protezione è assicurata con l'utilizzo di componenti elettrici che impediscono la possibilità del manifestarsi di una tensione pericolosa a seguito di un guasto nell'isolamento principale.

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.

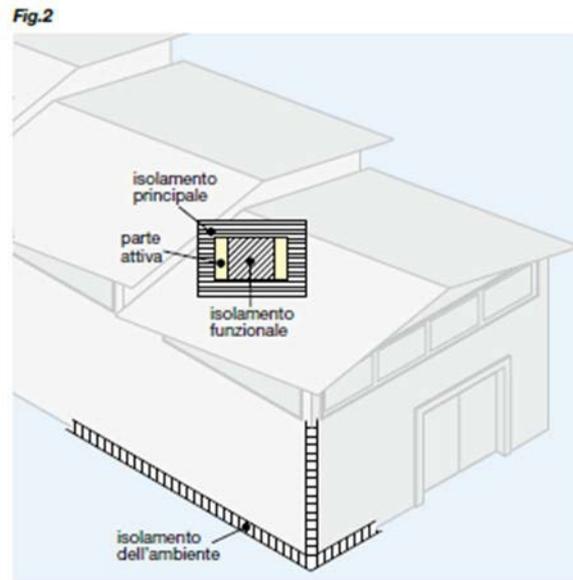
Fig. 1



-  = 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.

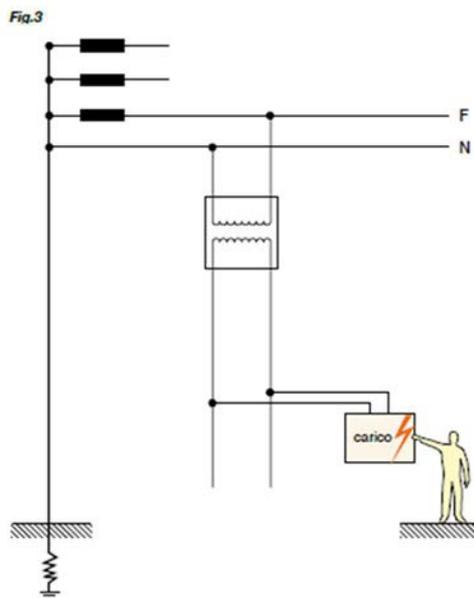


Protezione per separazione elettrica

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 far sì 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.



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:

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

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 sistema in grado di contribuire alla trasmissione dell'energia elettrica.

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

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

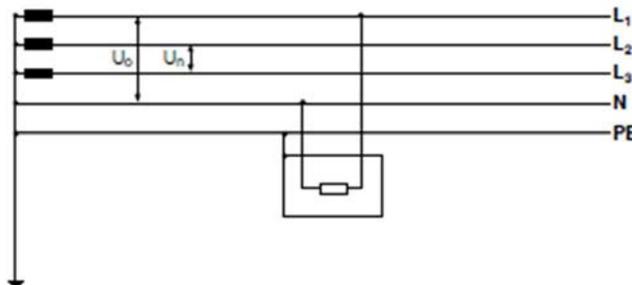
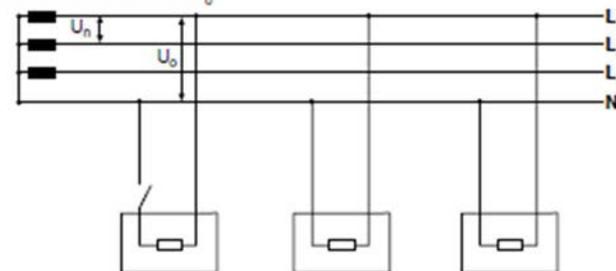


Fig.2

Con il neutro distribuito le utenze monofase 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 $U_n/2$.

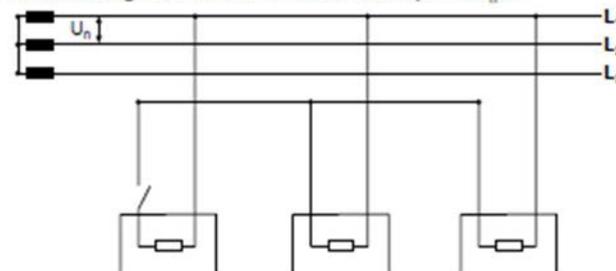
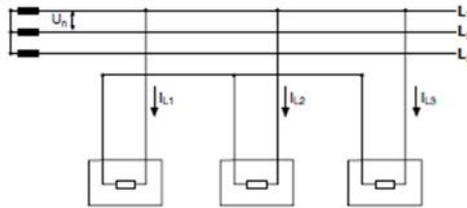


Fig.3

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

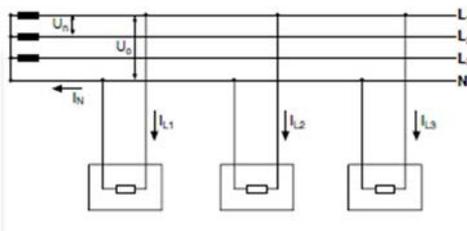
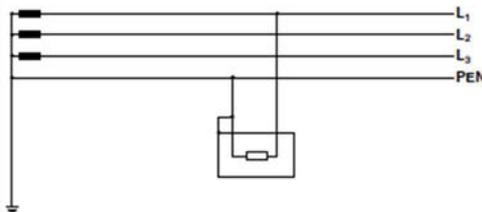


Fig.4

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



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). 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.
- 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 distribuito (la Norma sconsiglia la distribuzione del neutro nei sistemi IT, si veda il capitolo 5) 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:

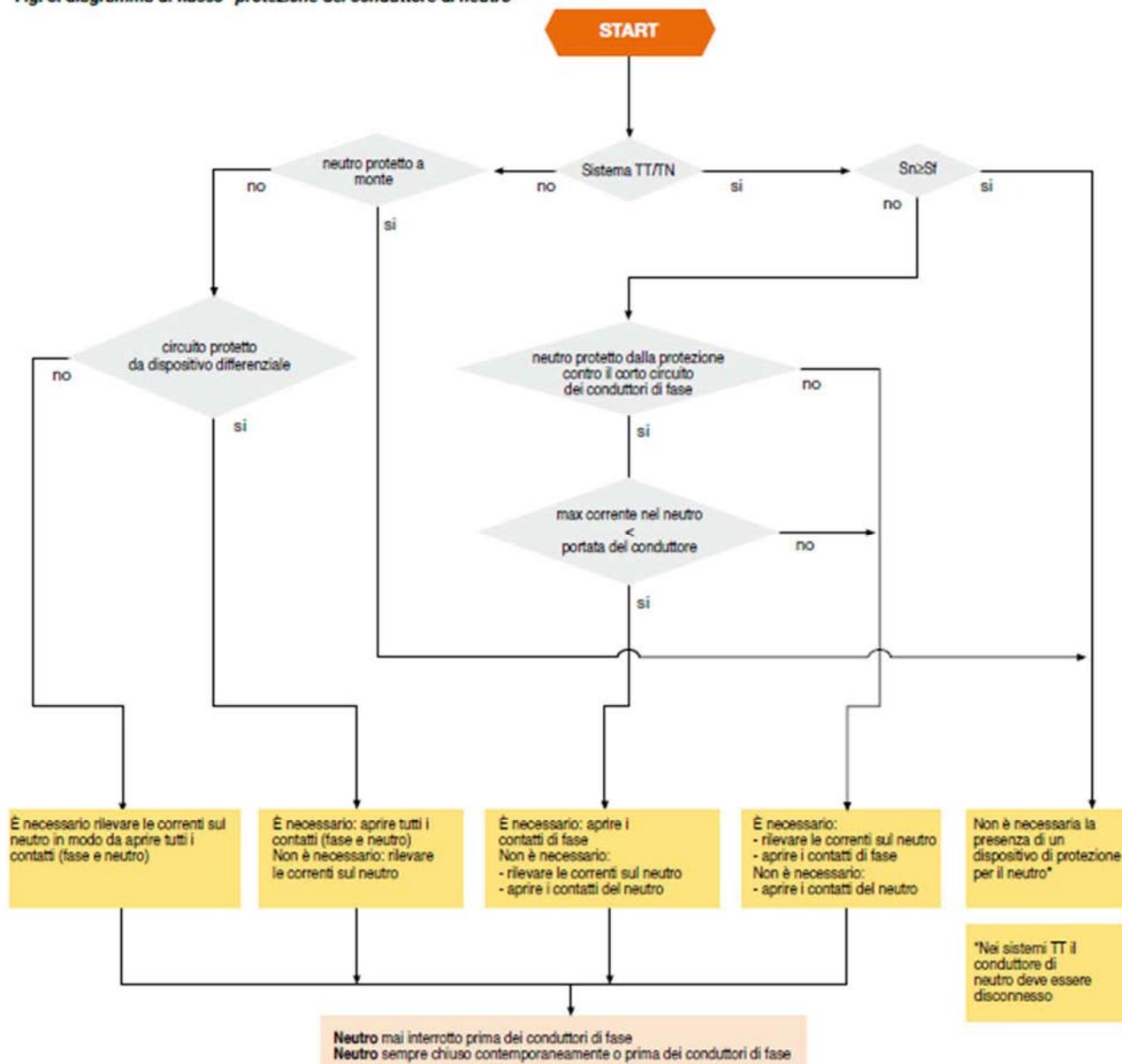
- il conduttore di neutro è protetto contro i cortocircuiti da un dispositivo di protezione posto a monte (per esempio all'origine dell'impianto);
- il circuito è protetto da un dispositivo differenziale avente corrente nominale differenziale non superiore a 0.15 volte la portata del conduttore di neutro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

La tabella 1 riassume i punti precedentemente descritti.

	Sistema TT o TN-S		Sistema TN-C		Sistema IT
	$S_n = S$	$S_n < S$	$S_{PEN} = S$	$S_{PEN} < S$	
Trifase + neutro			-	-	
Fase + neutro		-	-	-	
		-	-	-	
		-	-	-	
Trifase + PEN	-	-			-
	-	-			
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'
Circuito trifase Cu	S ≤ 16	S'
	S > 16	16
Circuito trifase Al	S ≤ 25	S'
	S > 25	25

'nei 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 SPE 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];

$I^2 t$ 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 $[J/^\circ C \cdot mm^3]$;

B è l'inverso del coefficiente di temperatura della resistività a $0^\circ C$ per il conduttore in $[^\circ C]$;

ρ_{20} è la resistività elettrica del materiale del conduttore a $20^\circ C$ in $[\Omega \cdot mm]$;

θ_i è la temperatura iniziale del conduttore in $[^\circ C]$;

θ_f è la temperatura finale del conduttore in $[^\circ C]$;

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

Materiali	B [$^\circ C$]	Q_c [$J/^\circ C \cdot mm^3$]	ρ_{20} [$\Omega \cdot mm$]	$\sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}}}$
Rame	234,5	$3,45 \cdot 10^{-3}$	$17,241 \cdot 10^{-6}$	226
Alluminio	228	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$28,264 \cdot 10^{-6}$	148
Piombo	230	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$214 \cdot 10^{-6}$	42
Acciaio	202	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$138 \cdot 10^{-6}$	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:

- $2,5 \text{ mm}^2$ se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 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