Capitolo 4
Protezione dai contatti indiretti.

La protezione contro i contatti indiretti consiste nel prendere le misure intese a proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto con parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale.

I metodi di protezione contro i contatti indiretti sono classificati come segue:

a) protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione;
b) protezione senza interruzione automatica del circuito (doppio isolamento, separazione elettrica, locali isolati, locali equipotenziali);
c) alimentazione a bassissima tensione;

La protezione mediante l'interruzione automatica 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.

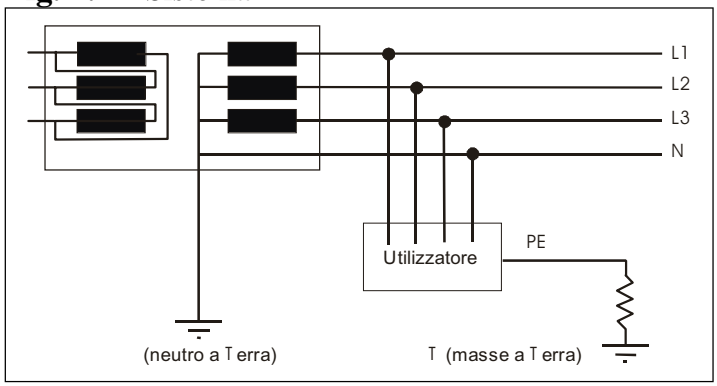
Le prescrizioni da ottemperare per conseguire la protezione contro i contatti indiretti sono stabilite dalle norme CEI 64-8 per gli impianti elettrici utilizzatori a tensione non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua e dalle Norme CEI 11-8 per gli impianti utilizzatori in media e in alta tensione.

(4.1) Sistemi a bassa tensione

(4.1.1) Protezione dai contatti indiretti nei sistemi TT

Il sistema TT (figura 4.1) ha un punto collegato direttamente a terra e le masse dell'impianto collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del collegamento a.terra del sistema di alimentazione. In caso di guasto a terra, il circuito percorso dalla corrente si richiude attraverso il terreno, in quanto il neutro del sistema e la massa interessata dal guasto fanno a capo a dispersori separati; il valore della corrente di guasto può essere molto contenuto. La norma 64-8 nel caso di sistemi TT prevede che per attuare la protezione dai contatti indiretti deve essere soddisfatta la condizione:

Fig. 4.1 – Sistema T-T



$$R_A \leq \frac{50V}{I_a}$$

Dove:

- R_A è la somma delle resistenze di terra dei conduttori e dei dispersori
- Ia è la corrente che provoca il funzionamento automatico del dispositivo di protezione.

Quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione a corrente differenziale, Ia è la corrente nominale differenziale $I_{\Delta n}$.

Quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione contro le sovracorrenti, esso deve essere:

- un dispositivo avente una caratteristica di funzionamento a tempo inverso, ed in questo caso Ia deve essere la corrente che ne provoca il funzionamento automatico entro 5 s.
- un dispositivo con una caratteristica di funzionamento a scatto istantaneo ed in questo caso Ia deve essere la corrente minima che ne provoca lo scatto istantaneo.

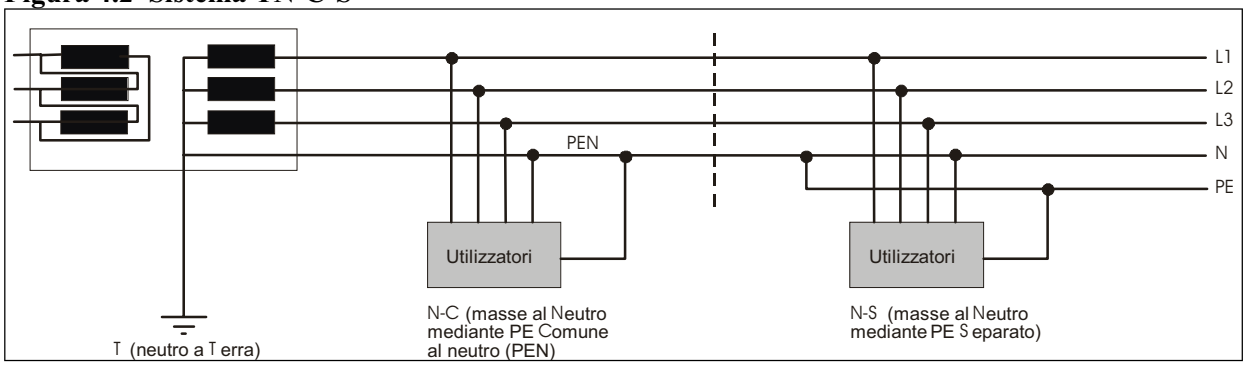
Da ciò deriva che il valore di Rt risulta notevolmente diverso impiegando interruttori magnetotermici o differenziali. Infatti con i primi si richiedono valori di resistenza di terra molto bassi, anche inferiori all'ohm, mentre per i secondi si possono realizzare impianti di erra con resistenza anche dell'ordine del migliaio di Ohm. Considerando la grande difficoltà per ottenere e mantenere nel tempo livelli di Rt così bassi da garantire la protezione con interruttori automatici magnetotermici, l'impiego del differenziale diventa pressoché indispensabile.

(4.1.2) Protezione dai contatti indiretti nei sistemi TN

Il sistema TN ha un punto collegato direttamente a terra mentre le masse dell'impianto sono collegate a quel punto per mezzo del conduttore di protezione. In caso di guasto a terra del sistema, il circuito percorso dalla corrente di guasto risulta costituito dai soli conduttori metallici, senza interessare l'impianto di dispersione a terra; il valore della corrente di guasto può essere molto elevato.

Si distinguono i seguenti tipi di sistemi TN, secondo la disposizione dei conduttori di neutro:
TN-S: il conduttore di neutro e di protezione sono separati;
TN-C-S: le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un solo conduttore in una parte del sistema (figura 4.2);
TN-C: le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un solo conduttore (PEN).

Figura 4.2 Sistema TN-C-S



La Norma 64.8, nel caso di sistema TN, per attuare la protezione mediante dispositivi di massima corrente a tempo inverso o dispositivi differenziali richiede soltanto che sia soddisfatta, in qualsiasi punto del circuito, la condizione:

$$Zs \cdot Ia \leq Uo$$

dove:

- Uo è la tensione nominale verso terra dell'impianto, in volt.
- Zs è l'impedenza dell'anello di guasto, in ohm, per guasto franco a massa

- Ia è il valore, in ampere, della corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione, entro il tempo di seguito definito:
  a) Correnti terminali che alimentano (tramite o senza prese a spina), componenti elettrici mobili, portatili o trasportabili.I tempi massimi di interruzione sono definiti dalla tabella 4.2

Tab. 4.2 Tempi di interruzione

Uo (V)	Tempo di interruzione (s)
120	0,8
230	0,4
400	0,2
> 400	0,1

  b) Correnti di distribuzione:il tempo massimo di interruzione è di 5 s.
  c) Correnti terminali che alimentano componenti elettrici fissi: il tempo massimo di interruzione è di 5 s purché siano verificate alcune condizioni analizzate all'art. 413.1.3.5 della norma 64-8 (qui per brevità non riportate), in caso contrario si ricava mediante la tabella riportata al punto a).

Poiché nei sistemi TN un guasto franco a massa si traduce in un corto circuito in quanto la corrente di guasto percorre i conduttori di fase e di protezione non interessando in pratica l'impianto di terra, le correnti di corto circuito possono assumere valori elevati nel qual caso la protezione contro i contatti indiretti può essere assicurata da interruttori solo magnetotermici.

La quantità Uo/Zs deve essere valutata nel caso peggiore cioè con l'impedenza di guasto di valore massimo, a cui corrisponde la corrente di corto circuito minima:

$$\frac{U_0}{Z_S} = I_{cc\ f-pe\ \min}$$

Nel caso in cui la condizione di protezione non fosse soddisfatta con l'impiego di interruttori magnetotermici è necessario ricorrere a dispositivi differenziali.

L'impiego di dispositivi differenziali 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 $I_{\Delta n}$ elevate (3A) ammettono impedenze dell'anello di guasto dell'ordine di diverse decine di W (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.

(4.2) Sistemi a media tensione

Il problema della protezione dai contatti indiretti in un sistema a media tensione si presenta ogni qualvolta l'impianto dell'utente ha proprie cabine di trasformazione. In questo caso un possibile circuito di guasto è quello riportato nella figura 4.3.

Da tale figura si vede che il sistema a MT è a centrostella isolato e che la corrente di guasto dipende unicamente dalle capacità parassite C (essendo trascurabile R_T rispetto a $C/j\omega$)

Secondo le Norme CEI 11-8 La corrente dispersa Ig si può calcolare con la seguente espressione:

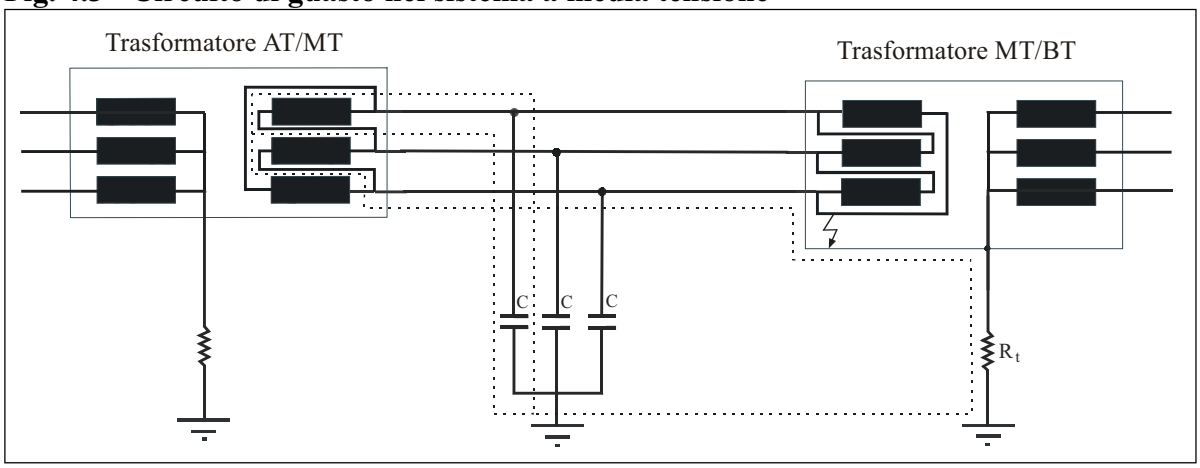
$Ig = U\ (0{,}003\ L_1 + 0{,}2\ L_2)$

dove:

- U è la tensione nominale della rete in kV;

- L_1 è la somma delle lunghezze in chilometri delle linee aeree;
- L_2 è la somma delle lunghezze in chilometri delle linee in cavo.

Fig. 4.3 - Circuito di guasto nel sistema a media tensione



Normalmente il valore della corrente di terra non può essere calcolato dall'utente che non conosce le lunghezze delle linee del sistema che alimenta la propria cabina; tuttavia tale valore, su richiesta, viene fornito dall'Ente distributore, il quale provvede anche a comunicare il tempo di intervento delle protezioni in caso di guasto.

Le Norme CEI 11-8 prescrivono che ogni sistema a media tensione deve essere dotato di impianto di terra, dimensionato in modo che in caso di dispersione a terra non si abbiano tensioni di passo e di contatto superiori a quelle stabilite nella tabella 4.2.

Tab. 4.2 Valore limite delle tensioni di passo e di contatto

Tempo di eliminazione del guasto [s]	Tensione [V]
≥ 2	50
1	70
0,8	80
0,6	125
≤ 0,5	160

Il dispersore di terra è da ritenersi idoneo e non è necessario effettuare la misura delle tensioni di passo e di contatto nei seguenti casi:

- Quando la tensione totale di terra (prodotto della corrente di terra per il valore della resistenza totale di terra) non supera del 20% i valori sopra riportati.
- Se il dispersore è ad anello chiuso di perimetro inferiore a 100 m, con masse da collegare a terra tutte all' interno del perimetro del dispersore e la tensione totale di terra non supera del 80% i valori sopra riportati.

(4.3) Impianto di terra

I principali elementi costitutivi dell' impianto di terra sono:

Il dispersore, è un corpo conduttore o gruppi di corpi conduttori in contatto elettrico con il terreno.Può essere naturale, se realizzato con strutture esistenti (ferri delle fondazioni in cemento armato, camicie metalliche dei pozzi; non sono utilizzabili le tubazioni dell'

acquedotto pubblico), o artificiale se realizzato appositamente per questo scopo. I dispersori artificiali sono costituiti da tubi, profilati, tondini, ecc., per i quali le Norme fissano dimensioni minime allo scopo di garantire la necessaria resistenza alle sollecitazioni meccaniche e soprattutto alla corrosione.

I conduttori di terra, collegano il dispersore con il nodo di terra e gli elementi del dispersore fra loro. Il conduttore di terra deve essere in grado di resistere alla corrosione e di sopportare eventuali sforzi meccanici. Le sezioni minime dei conduttori di terra sono indicate nella Norma CEI 64-8 riportate nella tabella 4.3:

Tab. 4.3 – Sezioni minime dei conduttori di terra

Condizioni di posa	Materiale	Sezione minima [mm^2]
Protetto contro la corrosione	Rame o ferro	16
Non protetto contro la corrosione	Rame	25
	Ferro	50

I conduttori di protezione, collegano le masse al nodo di terra. La sezione minima dei conduttori di protezione è riportate nella seguente tabella:

Tab. 4.4 – Sezioni minime dei conduttori di protezione

Conduttore di fase, S [mm^2]	Conduttore di protezione, Sp [mm^2]
$S \leq 16$	$Sp = S$
$16 < S \leq 35$	$Sp = 16$
$35 \leq S$	$Sp = S/2$

I conduttori equipotenziali principali, collegano il nodo di terra alle masse estranee.

La massa estranea è una parte metallica, non facente parte dell'impianto elettrico, che presenta una bassa resistenza verso terra, ad esempio la tubazione idrica. Se una persona entra in contano con una massa in tensione per un guasto di isolamento e, contemporaneamente, con una massa estranea non collegata all'impianto di terra, è sottoposta ad una differenza di potenziale pericolosa, donde l'obbligo normativo di collegare a terra le Masse estranee.

I conduttori equipotenziali principali devono avere una sezione non inferiore a metà di quella del conduttore di protezione di sezione più elevata dell'impianto, con un minimo di 6 mm^2. Non è richiesto, tuttavia, chela sezione superi 25 mm^2, se il conduttore equipotenziale è di rame, o una sezione di conduttanza equivalente, se il conduttore è di materiale diverso.

Il nodo, o collettore, di terra, serve a unire gli elementi precedenti fra loro.

I conduttori equipotenziali supplementari, collegano altre masse presenti in luoghi a maggior rischio elettrico (bagni, piscine, ecc.) al conduttore di protezione.

Un conduttori equipotenziale supplementare che colleghi due masse deve avere una sezione non inferiore a quella del più piccolo conduttore di protezione collegato a queste masse.

Un conduttore di protezione supplementare che collega una massa ad una massa estranea deve avere una sezione non inferiore alla metà della sezione del corrispondente conduttore di protezione.

La sezione dei conduttori equipotenziali supplementari deve essere comunque non inferiore a 2,5 mm^2 se è prevista una protezione meccanica (cioè conduttori posati entro tubi o sotto intonaco), 4 mm^2 se non è prevista una protezione meccanica (cioè conduttori fissati direttamente a parete).

(4.3.1) Progetto del dispersore

Valutare in sede di progetto la resistenza di terra di un impianto è cosa alquanto difficile, per almeno due motivi:

- Di solito la resistenza del terreno è conosciuta solo in prima approssimazione, e non si conosce come varia al variare della profondità.
- Il calcolo di R_T, nota la geometria dei conduttori e la resistenza del terreno, non è banale.Usualmente si usano formule approssimate

Nel caso dei dispersori più comuni, la resistenza di terra può essere calcolata con le formule riportate in seguito.

- Picchetto cilindrico verticale di lunghezza L e raggio r:

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{4L}{r} - 1\right)$$

- Corda conduttrice orizzontale di lunghezza L, raggio r,interrata ad una profondità h di almeno 50 cm:

$$R_T = \frac{\rho}{\pi L}\left(\ln\frac{\sqrt{2}L}{\sqrt{r \cdot h}} - 1\right)$$

- Maglia interrata, con area A e lunghezza totale dei conduttori L:

$$R_T = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L}$$

La resistività ρ del terreno dipende dal tipo di suolo in cui è sistemato l'impianto di terra ed è influenzata dall'umidità e, in misura inferiore, dalla temperatura.Più precisamente essa diminuisce con l'aumento dell'umidità e con l'aumento della temperatura. Nella tabella 4.5 è riportata la resistività per alcuni tipi di terreni.

Tab. 4.5 – Resistività del terreno

Tipo di terreno	Resistività ρ [Ω·m]
Soluzioni saline	< 2
Argille	2 ÷ 8
Marne, torbe	3 ÷ 150
Arenarie argillose	4 ÷ 40
calcari	20 ÷ 2000
Sabbia, ghiaia	70 ÷ 1000
Calcari quarziferi	30 ÷ 10000
Rocce cristalline	>800

Nel caso di due dispersori in parallelo, la resistenza di terra complessiva è maggiore o uguale del parallelo delle resistenza dei singoli dispersori. La resistenza totale è pari al parallelo delle resistenze dei due dispersori se la distanza fra i due dispersori è almeno un' ordine di grandezza superiore alla massima dimensione dei singoli dispersori.

Se la resistenza di terra non è opportunamente bassa la verifica dell'impianto di terra passa attraverso la misura delle tensioni di passo e di contatto.

Per ottenere tensioni di passo basse bisogna disporre i dispersori perimetrali dell' impianto in profondità, in modo da avere bassi gradienti di potenziale in superficie.

Per ottenere tensioni di contatto basse bisogna prevedere dispersori vicino alla superficie in prossimità di tutte le masse scoperte, e quindi toccabili, in modo da portare il potenziale del suolo il più vicino possibile a quello delle masse.

(4.3.2) Omologazione e verifiche degli impianti di terra

Gli impianti di terra di nuova costruzione o rinnovati devono essere sottoposti all'omologazione da parte dell'ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro) in conformità al Decreto Interministeriale 15/l0/93, n.519. Le modalità con le quali effettuare la denuncia degli impianti di terra sono riportate nella Circolare n.8219 del 14/6/94 emessa dal Dipartimento ISPESL incaricato dell'omologazione.

Le verifiche periodiche, successive a quelle eseguite per l'omologazione, per l'accertamento della conservazione degli impianti e del loro corretto funzionamento sono affidate alle ASL (Aziende Sanitarie Locali) dal Decreto Interministeriale 15/10/93, n.519.

L' impostazione delle verifiche e la loro frequenza devono essere conformi alle linee generali del DL 626/94 per quanto riguarda il rischio elettrico su impianti e macchinari.

La periodicità delle verifiche è stabilita in:

- 5 anni per le cabine elettriche.
- 2 anni per gli impianti utilizzatori alimentati in media tensione e per tutti gli impianti utilizzatori dei luoghi di lavoro.

Per gli impianti di terra, la Legge 46/90 ed il relativo regolamento di attuazione prescrivono la presentazione del progetto.

La documentazione da predisporre, indipendentemente dagli obblighi di legge dovrebbe dimostrare la corretta esecuzione dell'impianto, fornire i risultati della verifica finale ed indicare le modalità di gestione e manutenzione.

Una planimetria in scala opportuna deve evidenziare:

- il posizionamento e le caratteristiche dei dispersori di fatto,
- il posizionamento e le caratteristiche dei dispersori intenzionali,
- il posizionamento dei collettori principali,
- il percorso dei conduttori di terra, le loro caratteristiche e le condizioni di posa,
- il percorso dei conduttori equipotenziali , le loro caratteristiche e le condizioni di posa.

Per i dispersori di fatto realizzati con ferri di armature è sufficiente prevedere una semplice documentazione esplicativa.

I calcoli di progetto possono essere raccolti in schede che consentono di individuare il procedimento seguito partendo dai dati di riferimento sino al calcolo della resistenza di terra.