

La protezione contro i contatti indiretti negli impianti dell'utente secondo la nuova norma CEI 11-1

di Gianluigi Saveri

1. L'impianto di terra

L'impianto di terra costituisce un mezzo che permette alla corrente di guasto di disperdersi o di richiudersi, tramite una resistenza di basso valore, attraverso il terreno. Può svolgere funzioni diverse se è installato dall'utente o dal distributore e se il sistema di distribuzione è un TT o un TN. In una cabina primaria o secondaria dell'ente distributore possono entrare solo persone autorizzate. La sicurezza dalle tensioni di contatto è quasi sempre garantita perché l'impianto di terra, costituito in genere da una rete magliata o da un anello di piccole dimensioni che circonda la cabina, crea una buona equipotenzialità (purtroppo non così facile da ottenere nelle più diffuse tipologie d'impianto dell'utente, soprattutto nelle zone in cui sono installate le masse alimentate in bassa tensione). Secondo la Norma questi impianti risultano idonei se la tensione totale di terra U_E è inferiore a $1,5 U_{TP}$ oppure, adottando i provvedimenti M di cui all'alegato D della Norma CEI 11-1, anche se raggiunge $4 U_{TP}$ (tab. 4). I provvedimenti M specificati dalla norma consistono in alcune misure di protezione su pareti e pavimenti e su recinzioni, di controllo dei potenziali ai margini degli impianti e di equipotenzialità delle aree interessate. Non potendo rispettare queste condizioni è necessario effettuare la misura delle tensioni di passo e di contatto. Le tensioni di passo, essendo all'interno di queste aree la superficie praticamente equipotenziale, sono quasi sempre inferiori a quelle ammissibili. Qualora non fosse possibile trascurare si applicano i limiti U_{TP} moltiplicati per tre, essendo tre il fattore di percorso nel corpo umano da piede a piede (inteso come rapporto tra il valore della corrente che comporta una certa probabilità di fibrillazione nel tragitto piede-piede e il valore di corrente che nel percorso mani-piedi determina la stessa probabilità di fibrillazione). L'andamento dei valori delle tensioni di contatto ammessi U_{TP} (V) in funzione della durata del guasto t_F (s) sono riportati nella curva di fig. 3 e riassunti nella tabella 2. La curva rappresenta il valore della tensione che può essere applicata al corpo umano da mano nuda a piedi nudi, con un valore dell'impedenza del corpo umano avente una probabilità pari al 50 % di non essere superata dalla popolazione, con una curva corrente tempo che presenta la probabilità del 5% di provocare fibrillazione ventricolare e con nessuna resistenza addizionale.

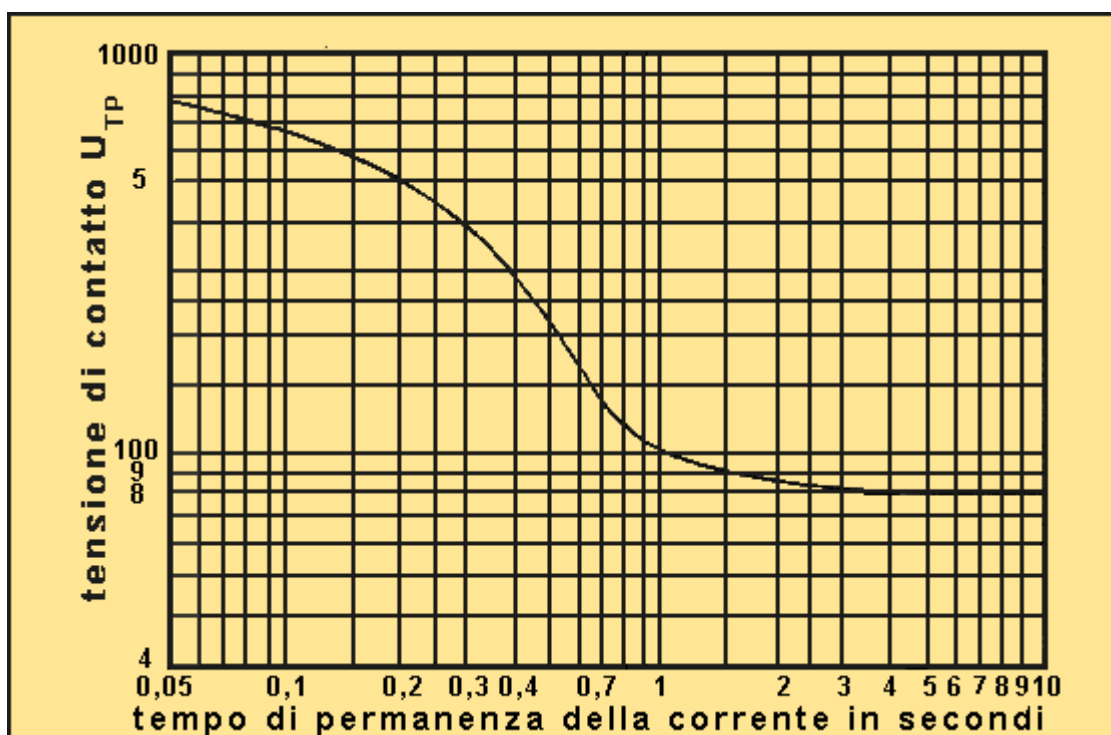


Fig. 3 – Tensioni di contatto ammissibili U_{TP} per correnti di durata limitata.

Note:

1) - La curva rappresenta il valore della tensione che può essere applicata al corpo umano da mano nuda a piedi nudi, con un valore dell'impedenza del corpo umano avente una probabilità pari al 50 % di non essere superata dalla popolazione, con una curva corrente tempo che presenta la probabilità del 5% di provocare fibrillazione ventricolare e con nessuna resistenza addizionale.

2) - La curva è relativa a guasti a terra in impianti di alta tensione

3) - Se la durata della corrente è molto più lunga di quanto mostrato nel grafico, si può usare per U_{TP} un valore di 75 V

Il confronto con la vecchia norma 11-8, che ammetteva un margine del 20% per la tensione totale di terra, ($U_E \leq 1,2U_{TP}$ che poteva essere aumentato fino 1,8 con una rete di terra orizzontale avente perimetro non superiore a 100m), sembrerebbe rivelare una norma più restrittiva, ma i nuovi valori introdotti compensano largamente tale margine. Nella CEI 11-1 si tiene infatti conto della minor probabilità che un guasto si manifesti in alta tensione piuttosto che in bassa tensione. Un'altra opportunità per il distributore è fornita dal cosiddetto "impianto di terra globale". L'esperienza ha dimostrato che nelle aree ad elevata urbanizzazione, dove le cabine sono tra loro interconnesse attraverso i cavi MT e i relativi impianti di terra sono a loro volta interconnessi mediante le guaine metalliche dei cavi stessi, si viene a creare una rete di terra che copre un'area corrispondente alla zona urbanizzata. All'interno di tale area la superficie può essere considerata "quasi equipotenziale" e le tensioni di passo e di contatto sono di norma sempre inferiori ai massimi valori ammessi. I distributori possono quindi evitare di preoccuparsi di queste tensioni che si stabiliscono sull'impianto di terra globale e sulle cabine di cui sono proprietari. Purtroppo non è chiaro se di questa agevolazione possano avvalersi gli utenti proprietari di cabine MT/BT perché la Norma, anche se le cabine hanno l'impianto di terra collegato all'impianto di terra globale e presentano quindi caratteristiche riconducibili a quelle dell'ente distributore, non fornisce indicazioni in tal senso. Se le condizioni suesposte non possono essere rispettate e quindi le tensioni di contatto non rientrano nei limiti ammessi gli impianti di terra devono essere separati. La zona di media tensione (le parti pericolose devono essere rese inaccessibili) deve essere separata da quella di bassa tensione, trasformando il sistema in un TT.

Durata del guasto T_F (s)	Tensione di contatto ammissibile U_{TP} (V)	
	Nuova norma CEI 11-1	Vecchia norma CEI 11-8
10	80	50
2	85	50
1	103	70
0,8	120	80
0,7	130	85
0,6	155	125
0,5	220	160
0,2	500	160
0,14	600	160
0,08	700	160
0,04	800	160

Tab. 2 - Tensioni di contatto ammissibili U_{TP} per correnti di durata limitata

La separazione dei due impianti deve garantire che nell'impianto di bassa tensione non si possano verificare pericoli per le persone o per le apparecchiature elettriche. Questo lo si ottiene se nell'impianto di terra di bassa tensione la tensione totale di terra dovuta ad un guasto sull'alta tensione risulta inferiore a quelli stabiliti dalla norma e riassunti nella tabella 3. Nei sistemi TT, particolari attenzioni occorrono per collegare il neutro della rete di distribuzione di bassa tensione all'impianto di terra della cabina di trasformazione: la

tensione totale di terra U_E non deve oltrepassare i 250 V, quando il tempo di intervento delle protezioni sull'alta tensione per guasto a terra è superiore ai 5 s, oppure i 500 V quando il tempo è inferiore a 5 s. Si vuole evitare in tal modo che gli apparecchi siano sollecitati da una tensione verso terra troppo elevata che ne potrebbe far cedere l'isolamento. Infatti nei sistemi TT, dove le masse sono collegate ad un impianto di terra diverso da quello del neutro, l'isolamento degli apparecchi utilizzatori è sollecitato verso terra dalla tensione totale di terra più la tensione di fase U_0+U_E (fig. 4).

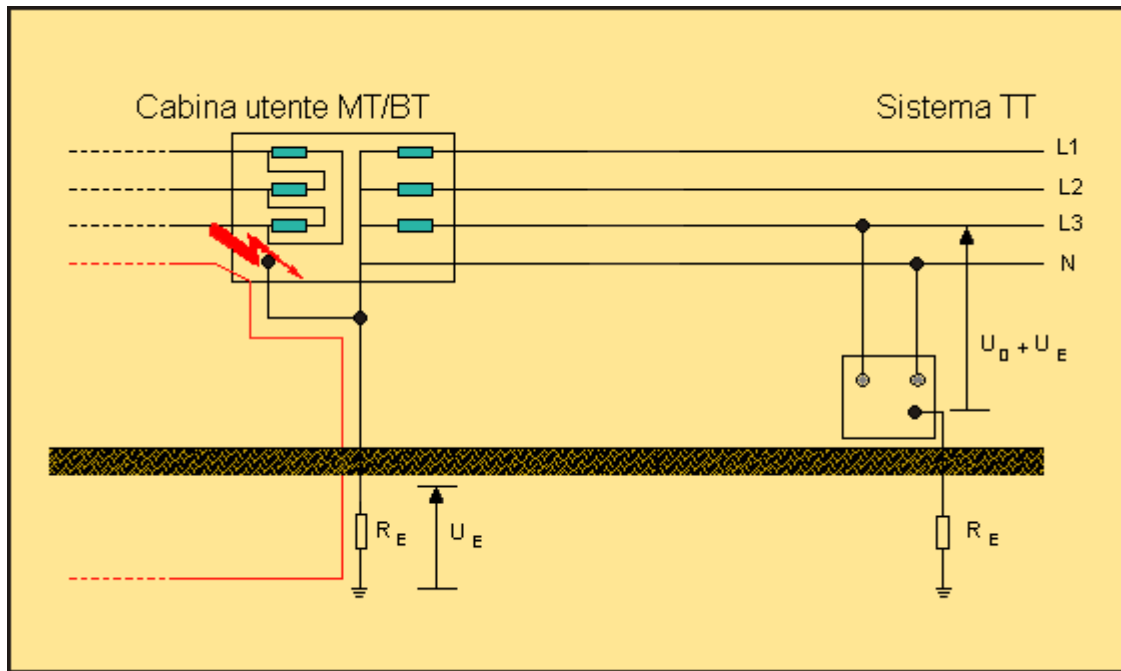


Fig. 4 – In un sistema TT l'isolamento degli apparecchi è sollecitato verso terra da una tensione U_0+U_E

La tabella 3 fornisce i limiti di tensione di contatto U_{TP} che non devono essere superati per poter collegare il neutro alla terra di cabina: U_E deve essere inferiore o uguale a $X U_{TP}$ dove X è un coefficiente che varia da 2 a 5 in funzione del numero di volte che il conduttore di neutro è collegato a terra lungo la rete di distribuzione.

Tipo di sistema BT	Durata del guasto	Prescrizioni per un impianto comune di messa a terra dovute a ⁽²⁾⁽³⁾	
		Tensione di contatto	Sollecitazione di tensione
TT ⁽⁴⁾	$T_F \leq 5s$	Non applicabile ⁽⁸⁾	$U_B \leq 500V$
	$T_F > 5s$		$U_B \leq 250V$
TN ⁽⁵⁾	Tempi di figura 4	$U_B \leq U_{TP}^{(6)}$	Non applicabile
		$U_B \leq XU_{TP}^{(7)}$	

(1) Per definizioni riguardanti il tipo dei sistemi di BT vedere la CEI 64/8 (HD 384.3. sistemi IT, con conduttore di protezione di BT collegato all'impianto di terra di sistemi di alta tensione, sono considerati al punto b) in quanto essi sono di solito utilizzati per impianti industriali. Non sono presi in considerazione altri impianti IT.

- (2) U_E è il potenziale del dispersore dell'impianto comune di terra.
- (3) E' necessario prendere in considerazione che il potenziale della stazione elettrica potrebbe essere influenzato dai potenziali trasferiti, per esempio da guaine dei cavi collegate ad impianti vicini.
- (4) Si deve considerare la tensione di tenuta dei componenti elettrici di bassa tensione (basata sulla CEI 64/8).
- (5) Si devono prendere in considerazione le tensioni di contatto (sicurezza delle persone).
- (6) Condizione sufficiente ma non necessaria, in alternativa alla condizione $U_T \leq U_{TP}$
- (7) Il conduttore PEN dell'impianto di bassa tensione è collegato a terra in diversi punti in modo da controllare la tensione impressa al neutro. Il valore comune per X è 2. L'esperienza dimostra che in casi particolari possono essere ammissibili valori fino a 5. Questa condizione non si applica agli impianti utilizzatori.
- (8) Si considera trascurabile l'eventualità di guasto sull'alta tensione e contemporaneo guasto sulla bassa tensione per rottura dell'isolamento sul/i componente/i.

Tab. 3 - Prescrizioni per sistemi comuni di messa a terra per l'alimentazione degli impianti a bassa tensione al di fuori di un sistema di messa a terra di sistemi di alta tensione.

Durata del guasto t_F	Tensione totale di terra U_E	Su pareti esterne e su recinzioni intorno agli impianti	All'interno degli impianti	
			Impianto all'interno	Impianto all'esterno
$T_F > 5s$	$U_E \leq 4 \times U_{TP}$	M1 o M2	M3	M4.1 o M4.2
	$U_E > 4 \times U_{TP}$	Prova $U_T \leq U_{TP}$	M3	M4.2
$T_F \leq 5s$	$U_E \leq 4 \times U_{TP}$	M1 o M2	M3	M4.2
	$U_E > 4 \times U_{TP}$		Prova $U_T \leq U_{TP}$	

Tab.4. – Condizioni per l'adozione dei provvedimenti M per assicurare tensioni di contatto U_{TP} ammissibili

Quando l'accesso all'impianto è consentito soltanto a persone autorizzate e non esiste il rischio di trasferire potenziali pericolosi al di fuori dell'area del sistema, è possibile utilizzare valori delle tensioni di contatto ammissibili considerando resistenze addizionali. La Norma fornisce per questi casi le curve dei valori della tensione di contatto ammissibile a vuoto U_{STP} in funzione dei diversi valori di resistenza addizionale. Le resistenze addizionali tra corpo e terreno sono dovute alle calzature e al contatto verso terra che dipende dalla resistività del terreno.

1.1 Impianto di terra dell'utente comune per l'alta e la bassa tensione (sistema TN)

Fin'ora si è descritto l'impianto di terra dal punto di vista del distributore. Un sistema di alta tensione collegato agli impianti dell'utente alimenta in genere anche sistemi o parti di sistemi di bassa tensione. L'impianto di terra dei due sistemi è consigliabile che sia messo in comune realizzando un impianto di terra unico per il neutro e per le masse, sia in alta tensione sia in bassa tensione. Contrariamente a quanto avviene per il sistema TN del distributore, le persone si trovano all'interno di un impianto di terra comune che deve garantire la sicurezza sia per un guasto sull'alta tensione (CEI 11-1) sia per un guasto sulla bassa tensione (CEI 64-8). Dal momento che un guasto sull'alta tensione influenza la sicurezza anche sulla bassa tensione occorre evitare che si stabiliscano tensioni di contatto superiori a U_{TP} (fig. 4). Per questo è sufficiente che siano verificate le condizioni riportate in tabella 3: se si vogliono evitare le misure delle

tensioni di passo e di contatto si può considerare che, a favore della sicurezza, siano al massimo uguali alla tensione totale di terra. Non è sempre possibile usufruire dell'ulteriore possibilità di cui dispongono gli enti distributori di considerare sicuro l'impianto se la tensione totale U_E è inferiore a $1,5 U_{TP}$ oppure, adottando i provvedimenti M, anche se raggiunge $4 U_{TP}$ (tab. 4). Solo in casi particolari le Norme acconsentono di estendere tale possibilità agli impianti utilizzatori dell'utente. Se l'impianto di terra costituisce una rete a maglia su tutta la superficie dell'impianto utilizzatore oppure se l'impianto di terra in alta tensione dell'utente è separato dall'impianto di terra in bassa tensione (casi poco frequenti) si stabiliscono condizioni simili a quelle del distributore. La tensione totale di terra U_E può essere calcolata moltiplicando la corrente di terra I_E (o, a favore della sicurezza, la corrente di guasto I_F) per la resistenza di terra R_E . La corrente di terra o di guasto e i tempi di intervento delle protezioni in alta tensione sono fornite, a richiesta, dall'ente distributore mentre la resistenza di terra può essere ricavata mediante calcoli o misure. In pratica si presentano alcuni casi tipici che descrivono in modo abbastanza completo gli impianti in alta tensione che alimentano un impianto utilizzatore in bassa tensione.

Impianto di terra unico che ricopre, con una struttura a maglia, tutta l'area in cui sono installate le masse e la cabina

L'impianto di terra è comune sia per il neutro sia per la parte in alta e in bassa tensione (fig. 5). L'impianto, per un guasto sull'alta tensione, è conforme alle Norme se è rispettata una delle seguenti condizioni:

- La tensione totale di terra è inferiore o uguale a una volta e mezzo la tensione di contatto ammissibile $U_E \leq 1,5U_{TP}$;
- La tensione totale di terra è uguale o inferiore a quattro volte la tensione di contatto ammissibile $U_E \leq 4 \times U_{TP}$ e sono adottati i provvedimenti M ;
- le tensioni di contatto misurate sono inferiori alla tensione di contatto ammissibile U_{TP} e le tensioni di passo non superano $3 U_{TP}$.

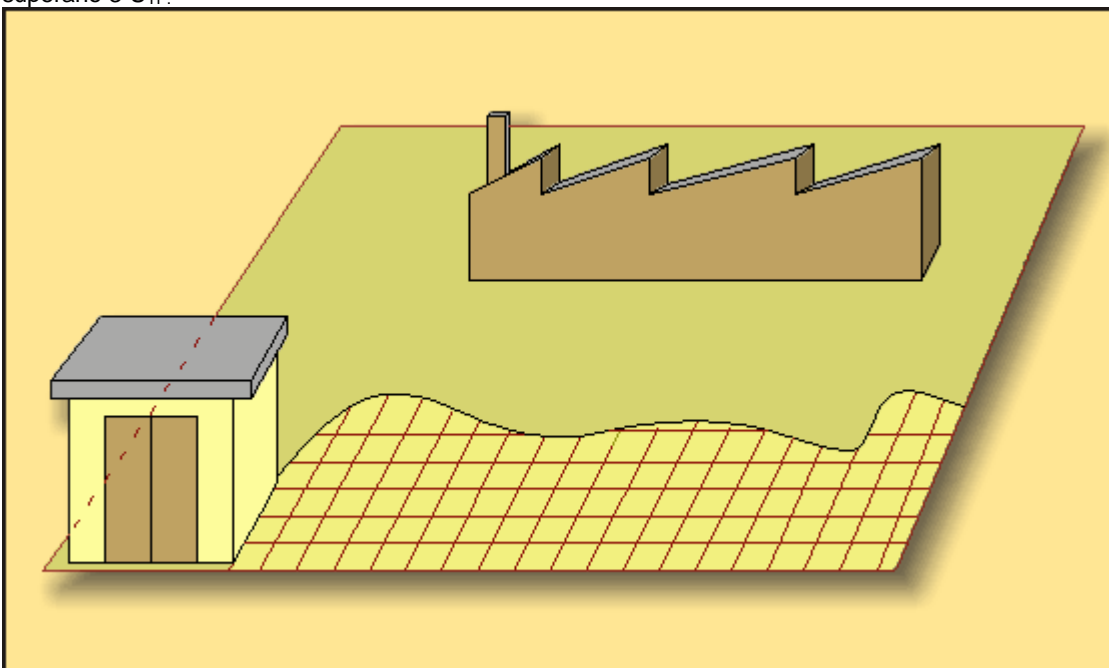


Fig. 5 - Impianto di terra unico che ricopre, con una struttura a maglia, tutta l'area in cui sono installate le masse e la cabina

Impianto di terra unico al quale sono collegate la terra di cabina e quella delle masse

E' il caso che si presenta più frequentemente con l'impianto di terra unico sia per il neutro sia per le masse in alta e in bassa tensione. Non si sviluppa più secondo una struttura a maglia o ad anello, ma viene

realizzato connettendo la terra di cabina con quella dell'impianto utilizzatore così come rappresentato in figura 6.

L'impianto, per un guasto sull'alta tensione, è conforme alle Norme se è rispettata una delle seguenti condizioni:

- la tensione totale di terra non supera la tensione di contatto ammessa;
- le tensioni di contatto misurate sono inferiori alla tensione di contatto ammissibile U_{TP} e le tensioni di passo non superano 3 U_{TP}.

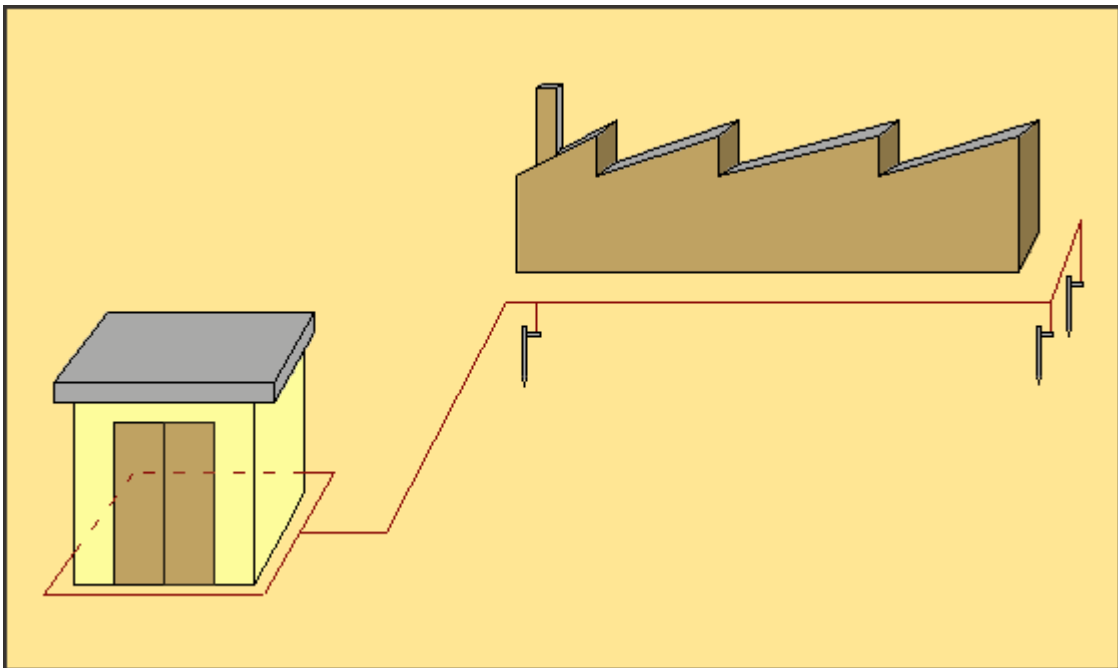


Fig. 6 - Impianto di terra unico al quale sono collegate la terra di cabina e quella delle masse

Impianto di terra unico formato da un anello che racchiude al suo interno tutte le masse e la cabina

Anche questo caso si presenta abbastanza frequentemente. L'impianto di terra è unico sia per il neutro sia per le masse in alta e in bassa tensione e si sviluppa secondo una configurazione ad anello che comprende sia la cabina sia le masse dell'impianto utilizzatore (fig. 7). Come per il caso precedente l'impianto, per un guasto sull'alta tensione, è conforme alle Norme se è rispettata una delle seguenti condizioni:

- la tensione totale di terra non supera la tensione di contatto ammessa $U_E \leq U_{TP}$;
- le tensioni di contatto misurate sono inferiori alla tensione di contatto ammissibile U_{TP} e le tensioni di passo non superano 3 U_{TP}.

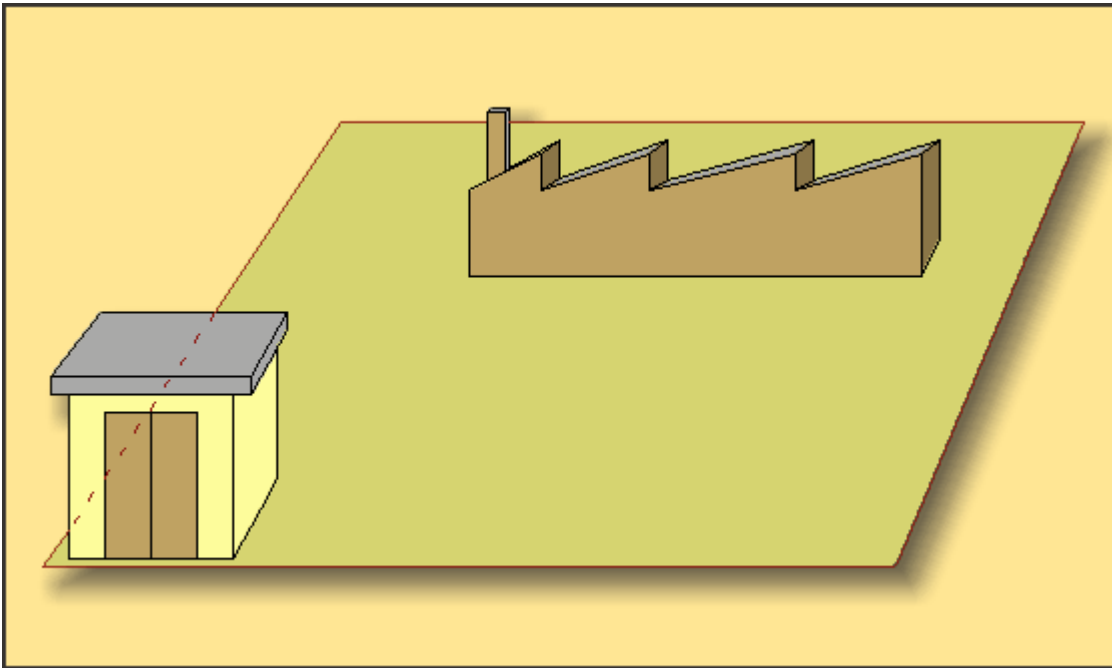


Fig. 7 - Impianto di terra unico formato da un anello che racchiude al suo interno tutte le masse e la cabina

Impianto di terra della cabina separato da quello dell'impianto utilizzatore

E' una soluzione generalmente non consigliabile che viene adottata quando la cabina è posizionata a grande distanza rispetto l'impianto utilizzatore (fig. 8). L'impianto, per un guasto sull'alta tensione, è conforme alle Norme se è rispettata una delle seguenti condizioni:

- La tensione totale di terra è inferiore o uguale a una volta e mezzo la tensione di contatto

ammissibile $U_E \leq 1,5U_{TP}$;

- La tensione totale di terra è uguale o inferiore a quattro volte la tensione di contatto

ammissibile $U_E \leq 4 \times U_{TP}$; e sono adottati i provvedimenti M;

- le tensioni di contatto misurate sono inferiori alla tensione di contatto ammissibile U_{TP} e le tensioni di passo non superano $3 U_{TP}$.

Oltre a questo la tensione totale di terra U_E non deve superare i 250 V, se le protezioni interrompono un guasto a terra in alta tensione in tempi superiori ai 5s, oppure i 500 V se le protezioni interrompono il guasto in tempi inferiori ai 5 s. Inoltre, la tensione d'isolamento verso terra del secondario del trasformatore AT/BT deve resistere alla somma della tensione totale di terra e della tensione di fase.

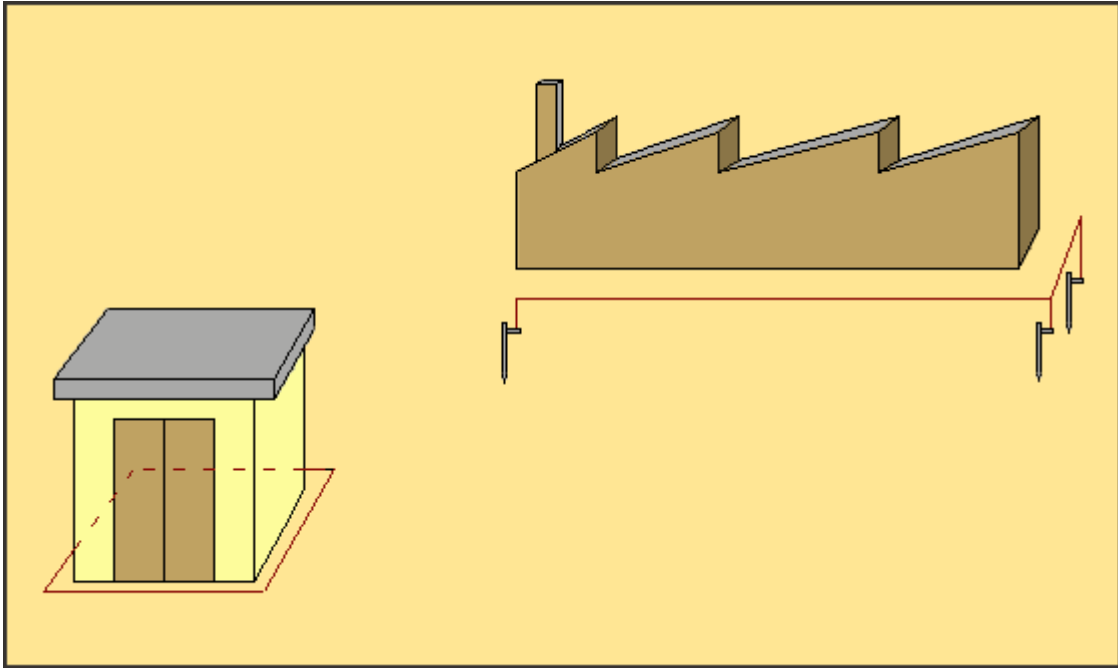


Fig. 8 - Impianto di terra della cabina separato da quello dell'impianto utilizzatore

1.2 Accorgimenti particolari per le recinzioni

Le recinzioni metalliche senza rivestimento isolante devono essere messe a terra in diversi punti del loro perimetro avendo cura di:

- se la recinzione è contenuta all'interno dell'impianto di terra il collegamento deve essere effettuato all'impianto di terra del sistema di alta tensione;
- se la recinzione è all'esterno dell'impianto di terra il collegamento deve essere effettuato a dispersori separati dall'impianto di terra del sistema di alta tensione.

Le parti metalliche di recinzioni rivestite con materiale isolante non necessitano di collegamento a terra. I cancelli e qualunque altra apertura ricavata sulla recinzione che circonda una stazione elettrica devono essere collegati in modo da evitare che si stabiliscano potenziali pericolosi tra le parti delle recinzioni stesse.

1.3 Verifiche periodiche

Il DPR 547 art. 328 prescrive per gli impianti di terra una verifica prima della messa in funzione e periodicamente ad intervalli non superiori ai due anni. Le cabine elettriche devono invece essere verificate a scadenze non superiori ai cinque anni. La norma stabilisce di verificare l'efficienza dell'impianto di terra mediante esame a vista e prove prima della messa in servizio e ad intervalli non superiori a: 6 anni per le stazioni elettriche del distributore; 3 anni per gli impianti utilizzatori posti a valle del punto di consegna dell'energia da parte del distributore comprese le stazioni elettriche del cliente. In condizioni di ordinario funzionamento deve essere verificata la continuità dei conduttori di terra, deve essere effettuata la misura della resistenza di terra e, ove necessario, la misura della tensione di contatto ed eventualmente di passo.