

L'IMPIANTO DI TERRA GLOBALE: UN METODO DI VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI EQUIPOTENZIALIZZAZIONE NELLE AREE URBANE

Marco Bronzini *, Giuseppe Cafaro °, Alessandro Raguso ^, Nicola Raguso *

* DEE – Politecnico di Bari, Via Re David n. 200, Bari

° DEE – Politecnico di Bari, Via Re David n. 200, Bari

^ Via Vincenzo Ranieri n. 63, Bari

* Via Vincenzo Ranieri n. 63, Bari

bronzini@poliba.it

cafaro@poliba.it

sandroraguso@inwind.it

niraguso@libero.it

SOMMARIO

La coesistenza, sul territorio, di sistemi diversi, pone il problema del loro coordinamento anche al fine della sicurezza delle persone. In particolare, la coesistenza delle reti di terra, a servizio delle reti urbane di distribuzione dell'energia elettrica, e di altri sistemi estesi e capillari, quali le reti metalliche di distribuzione dell'acqua e del gas, ne impone l'analisi delle interazioni nell'ambito di una corretta valutazione del rischio di elettrocuzione per contatti indiretti sulle stesse reti elettriche. Scopo della memoria è di dimostrare non solo l'esistenza, di fatto, di interazioni tra le suddette reti, ma anche il raggiungimento, non intenzionale, grazie a tali interazioni, di livelli di sicurezza per le persone, relativamente ai contatti indiretti sulle reti elettriche, molto più elevati di quanto stabilito dalle norme.

1. INTRODUZIONE

La nona edizione della Norma CEI 11-1, attualmente in vigore, riporta la definizione di impianto di terra globale “realizzato con l'interconnessione di più impianti di terra che assicura, data la vicinanza degli impianti stessi, l'assenza di tensioni di contatto pericolose. (...) Si può dire che tale impianto forma una superficie quasi equipotenziale”.

Il riconoscimento della caratteristica di impianto di terra globale è limitato ai soli impianti di terra della rete pubblica di trasmissione e distribuzione, in particolare in aree urbane concentrate, nonché agli impianti di terra a servizio delle utenze AT o MT, qualora collegati agli stessi impianti di terra del distributore pubblico con caratteristiche di impianto di terra globale ed in quest'ultimo inclusi. In altre parole, la Norma concede al solo distributore pubblico la possibilità di riconoscere l'esistenza di impianti di terra globali, accordandogli, peraltro, totale libertà nella definizione dei relativi criteri.

La Norma non fornisce alcun dettaglio sul concetto di “vicinanza” degli impianti di terra inclusi in un impianto di terra globale, nè specifica in che modo debba avvenirne l'interconnessione: condizione vincolante è la “quasi equipotenzializzazione” dell'area sede dell'impianto di terra globale, ovvero l'assenza, all'interno della stessa, di tensioni di contatto pericolose in seguito a guasto a terra MT in cabina.

ENEL Distribuzione, attualmente il maggiore distributore pubblico in Italia, ha ritenuto di poter attribuire la caratteristica di ITG alle reti di terra estese, esistenti nelle aree urbane, costituite mediante l'interconnessione degli impianti di terra a servizio delle proprie cabine secondarie. Interconnessione realizzata intenzionalmente per mezzo degli schermi dei cavi MT e dell'eventuale corda nuda in rame posata assieme al cavo MT interrato. A tal fine, ENEL Distribuzione ha adottato un criterio di localizzazione di probabili impianti di terra globali basato sull'individuazione di aree urbane concentrate, ossia caratterizzate dalla presenza di proprie cabine secondarie in numero non inferiore a 25 per chilometro quadrato e con i relativi

impianti di terra interconnessi. Tale densità di cabine, ovvero di impianti di terra, garantirebbe il livello di equipotenzializzazione richiesto dalla Norma.

2. LE MASSE ESTRANEE ESTESE

La Norma CEI 11-1, in relazione alla protezione contro i contatti indiretti, definisce massa estranea una parte conduttrice non facente parte di un impianto elettrico ed in grado di introdurre, nell'area in cui lo stesso impianto elettrico insiste, un potenziale, generalmente quello di terra. In pratica, massa estranea è qualunque elemento metallico non facente parte di un impianto elettrico, ma presente nell'area in cui lo stesso insiste, che si estenda all'esterno di tale area e sia in contatto con il terreno.

La Norma prescrive che le masse estranee, laddove entranti nelle aree sedi di impianti elettrici, siano collegate agli impianti di terra a servizio di questi ultimi. La Norma, in altre parole, impone che tali masse estranee si trasformino in dispersori di fatto, eliminando, in tal modo, il pericolo legato alla coesistenza, nell'area sede di un impianto elettrico soggetto a guasto a terra, di elementi a potenziali diversi: le masse, al potenziale dell'impianto di terra cui sono collegate, e le masse estranee, ad un potenziale più o meno "estranee", ossia diverso da quello dell'impianto di terra interessato dal guasto, in ragione della separazione elettrica esistente tra le stesse masse estranee ed il suddetto impianto di terra.

Le aree urbane sono caratterizzate dalla presenza di alcune masse estranee dotate di notevole estensione, tra le quali acquedotti, gasdotti ed impianti di terra a servizio di lunghe linee di illuminazione pubblica.

Gli acquedotti presentano, nelle aree urbane, una forte capillarità: l'elevata densità del servizio ha richiesto, infatti, la realizzazione di numerosissime diramazioni lungo le condutture principali. Tale capillarità garantisce agli acquedotti, finora realizzati con tubazioni metalliche elettricamente continue e non isolate dal terreno, un enorme sviluppo in lunghezza, ossia una superficie di contatto con il terreno di eccezionale estensione, quindi bassissimi valori di resistenza di terra, ed una geometria tipica dei dispersori a maglia di notevoli estensioni, in grado di assicurare bassi gradienti di potenziale. Inoltre, i collegamenti equipotenziali, prescritti dalle Norme tra gli acquedotti e gli impianti di terra a servizio delle utenze elettriche, ed i contatti non intenzionali, frequenti nelle aree urbane, tra i dispersori a servizio delle utenze elettriche, i dispersori a servizio delle linee di illuminazione pubblica, i ferri di fondazione degli edifici e gli altri eventuali dispersori di fatto, estendono ed infittiscono ulteriormente queste uniche enormi maglie equipotenziali, di fatto esistenti nelle aree urbane, ed aventi gli acquedotti per scheletro.

I gasdotti, realizzati finora anch'essi con tubazioni metalliche, ma accuratamente isolate dal terreno al fine di evitare fenomeni di corrosione, presentano comunque bassi valori di resistenza di terra in quanto intenzionalmente collegati a terra mediante gli anodi dei dispositivi di protezione catodica. I giunti isolanti, presenti sulle derivazioni per le consegne alle utenze, assicurano la separazione elettrica dai dispersori a servizio delle stesse utenze: il collegamento equipotenziale, richiesto dalle Norme tra tali dispersori e le tubazioni del gasdotto, è realizzato, infatti, a valle del giunto di isolamento. Ne consegue che i gasdotti, separati elettricamente dal terreno lungo l'intera estensione, si mantengono ad un potenziale lontano, prossimo a quello dell'anodo del dispositivo di protezione catodica.

Una sperimentazione condotta nel comune di Monopoli, in provincia di Bari, e finalizzata alla determinazione della resistenza di terra delle reti urbane di distribuzione dell'acqua e del gas, ha confermato quanto ipotizzato.

Si è proceduto alla misura delle suddette resistenze di terra impiegando il metodo voltamperometrico senza l'utilizzo della sonda voltmetrica, ovvero attribuendo l'intera tensione di alimentazione del circuito amperometrico, opportunamente depurata dalle cadute di tensione lungo i conduttori di collegamento, alla resistenza di terra in esame. La misura è stata eseguita in condizioni di estrema sicurezza grazie all'impiego di sonde ausiliarie di corrente collocate in mare, ossia dotate di bassissima resistenza di terra: la tensione applicata alle reti in prova non ha mai raggiunto i 5 V.

La misura è stata ripetuta in quattro diversi punti dell'area urbana, come di seguito riportato (Figura 1).



Figura 1. Sperimentazione nel comune di Monopoli: punti di misura (1, 2, 3, 4) e sonde ausiliarie di corrente (S1, S2, S3, S4).

Valori determinati:

punto 1

- gasdotto $R = 0,33 \Omega$
- acquedotto $R = 0,35 \Omega$

punto 2

- gasdotto $R = 0,31 \Omega$
- acquedotto $R = 0,62 \Omega$

punto 3

- gasdotto $R = 0,56 \Omega$
- acquedotto $R = 0,89 \Omega$

punto 4

- gasdotto $R = 0,45 \Omega$
- acquedotto $R = 1,32 \Omega$

I valori ottenuti confermano, sia per l'acquedotto che per il gasdotto, l'esistenza di un ottimo collegamento con il terreno.

In conclusione, nelle aree urbane, le reti metalliche di distribuzione dell'acqua, in ragione dell'esteso e continuo contatto con il terreno, presentano, in ogni punto, un potenziale prossimo a quello dello stesso terreno, ovvero degli altri dispersori inevitabilmente presenti nelle medesime aree di influenza, pertanto non sono vere masse estranee. I gasdotti metallici, invece, isolati localmente dal terreno e dai dispersori, ma collegati a terra in punti lontani, quindi in grado di introdurre potenziali lontani, sono masse estranee.

3. VERIFICA DI EQUIPOTENZIALIZZAZIONE PER CABINE SECONDARIE IN AREE URBANE: LA “MISURA DELL’IMPEDENZIA DEL CIRCUITO IDT DELLA CABINA SECONDARIA – MASSA ESTRANEA ESTESA”

La verifica in oggetto è destinata alle cabine secondarie del distributore pubblico ubicate in aree urbane e candidate ad essere incluse in un impianto di terra globale. Essa consente di valutare il livello di equipotenzializzazione dell’area circostante la cabina in esame, ovvero l’assenza, in tale area, di tensioni di contatto pericolose in seguito a guasto a terra MT nella stessa cabina.

La verifica prevede la misura dell’impedenza del circuito compreso tra l’IDT della cabina in prova ed una massa estranea estesa, come di seguito riportato (Figura 2).

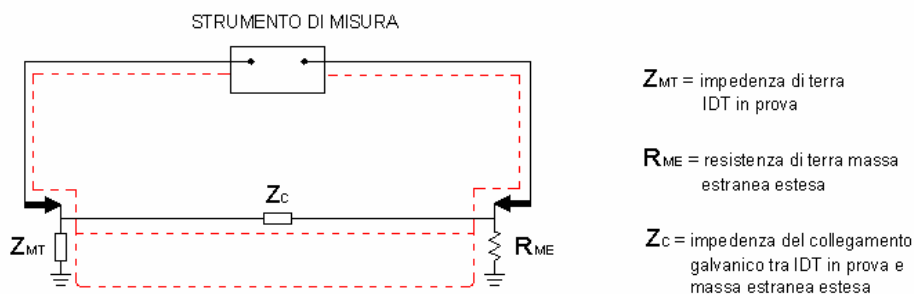


Figura 2. Circuito di misura.

Il circuito di misura comprende, nel caso più generale, due vie tra loro in parallelo:

- il collegamento, attraverso il terreno, tra la massa estranea estesa e l’IDT in esame, caratterizzato dalla resistenza di terra della massa estranea estesa, R_{ME} , e dall’impedenza di terra dell’IDT in esame, Z_{MT} ;
- il collegamento galvanico non intenzionale, eventualmente presente, tra la massa estranea estesa e l’IDT in esame, caratterizzato dall’**impedenza di collegamento Z_c** .

La misura va eseguita mediante strumento misuratore dell’anello di guasto, del tipo utilizzato per la misura della Z_S nei sistemi TN. Al fine di garantire la validità del risultato, è necessario iniettare una corrente di valore sufficientemente elevato, agevolmente raggiungibile mediante l’impiego di uno strumento non autoalimentato, ossia alimentato da una fase BT del trasformatore di cabina, come di seguito indicato (Figura 3).

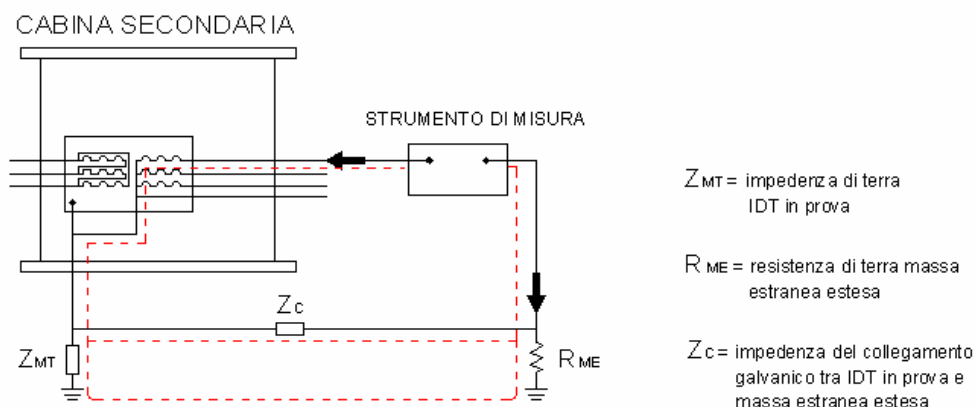


Figura 3. Lo strumento di misura va inserito tra una fase BT del trasformatore di cabina e la massa estranea estesa. E’ indispensabile che il centro stella del trasformatore sia collegato all’IDT di cabina.

La misura si presta ad una duplice interpretazione, secondo i seguenti due casi limite.

3.1 Massa estranea estesa reale (non in collegamento galvanico con l’IDT in esame): gasdotto

Il circuito di misura comprende l'impedenza di terra dell'IDT in esame, Z_{MT} , e la resistenza di terra della massa estranea estesa, R_{ME} , disposte in serie (Figura. 4).

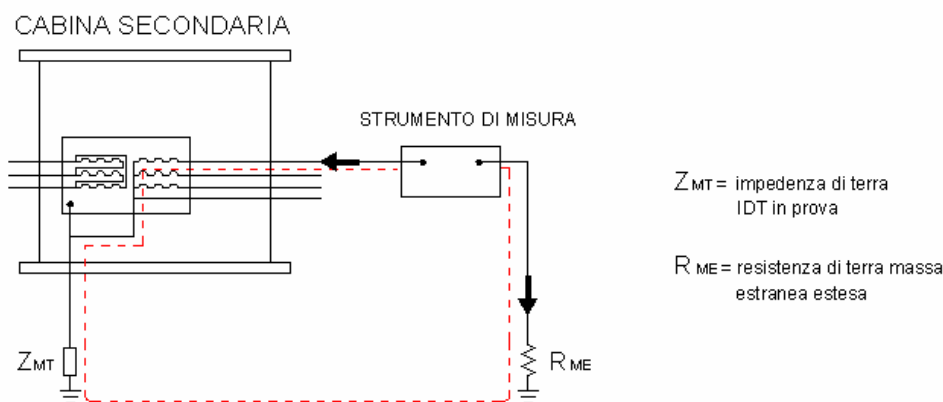


Figura 4. Circuito di misura nel caso di massa estranea estesa reale, ossia non in collegamento galvanico con l'IDT di cabina.

Il valore rilevato può essere prudenzialmente attribuito alla sola impedenza Z_{MT} .

La verifica risulta positiva se il valore rilevato per Z_{MT} consente di rispettare la seguente condizione, secondo quanto previsto dalla Norma CEI 11-1:

$$U_E \leq 1,5 U_{TP} (*) \quad (U_E = I_F * Z_{MT}) \quad (1)$$

(*) $U_E \leq U_{TP}$, nel caso in cui la massa estranea estesa sia contemporaneamente accessibile ad una massa collegata all'IDT in prova.

3.2 Massa estranea estesa fittizia (in collegamento galvanico con l'IDT in esame): acquedotto

Il circuito di misura comprende la sola impedenza di collegamento tra la massa estranea estesa e l'IDT in esame, Z_C (Figura 5).

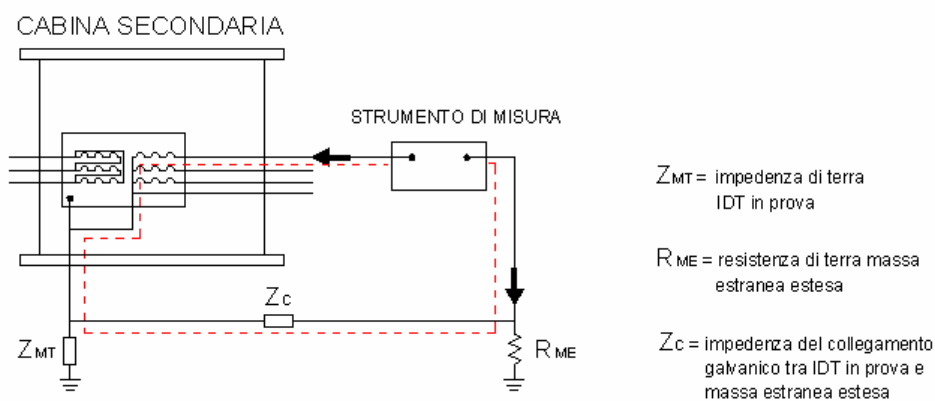
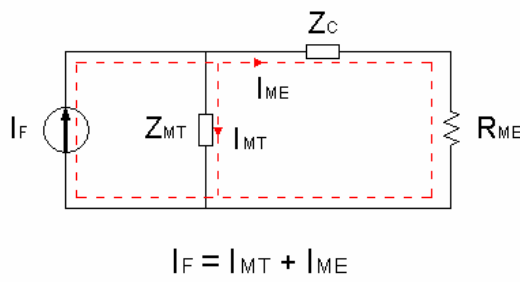


Figura 5. Circuito di misura nel caso di massa estranea estesa fittizia, ossia in collegamento galvanico con l'IDT di cabina.

L'IDT in esame, poichè in collegamento galvanico con la massa estranea estesa, si avvale della stessa quale dispersore aggiuntivo. La corrente di guasto a terra MT (per guasto nella cabina in esame) è drenata, pertanto, sia dall'IDT di cabina sia dalla massa estranea estesa, come di seguito riportato (Figura 6).



Z_{MT} = impedenza di terra
IDT in prova

R_{ME} = resistenza di terra massa
estanea estesa

Z_C = impedenza del collegamento
galvanico tra IDT in prova e
massa estranea estesa

I_F = corrente di guasto a terra MT

Figura 6. Circuito di guasto a terra MT in cabina, nel caso di massa estranea estesa in collegamento galvanico con l'IDT della stessa cabina.

Il collegamento galvanico tra l'IDT di cabina e la massa estranea estesa, ovvero l'impedenza di collegamento Z_C , è attraversato dalla corrente I_{ME} , diretta verso la massa estranea estesa. Tale corrente, parte della corrente di guasto a terra I_F , è determinata dal rapporto esistente tra l'impedenza di terra dell'IDT di cabina, Z_{MT} , e la somma tra l'impedenza di collegamento, Z_C , e la resistenza di terra della massa estranea estesa, R_{ME} . In base a quanto già detto riguardo all'estensione ed alla geometria della massa estranea estesa in esame (acquedotto), in particolare riguardo alla bassa resistenza di terra (R_{ME}) ed al contenimento dei gradienti di potenziale che la stessa assicura, appare priva di significato la determinazione del potenziale cui l'intera massa estranea si porta durante il guasto a terra considerato. A quale scopo, infatti, preoccuparsi di stabilire a che potenziale si porta l'enorme maglia di terra, estesa all'intera area urbana, quando questa rappresenta il nuovo riferimento per il potenziale? In tali condizioni, appare più sensato preoccuparsi che tutte le masse siano ad essa collegate.

L'IDT di cabina presenta, durante il guasto a terra MT nella stessa cabina, una differenza di potenziale, rispetto alla massa estranea estesa, data da:

$$\Delta U = I_{ME} * Z_C \quad (2)$$

La persona che si trovasse contemporaneamente a contatto sia con l'IDT di cabina, ovvero con una massa ad esso collegata, sia con la massa estranea estesa, sarebbe sottoposta a tale differenza di potenziale.

Ipotizzando, prudenzialmente, che l'intera corrente di guasto a terra I_F attraversi l'impedenza di collegamento Z_C , il che equivale a considerare completamente inefficiente l'IDT di cabina, occorre verificare che:

$$I_F * Z_C \leq U_{TP} \quad (3)$$

in tutti i casi in cui la massa estranea estesa sia contemporaneamente accessibile ad una massa collegata all'IDT in prova.

In tutti gli altri casi in cui la massa estranea estesa non sia contemporaneamente accessibile ad una massa collegata all'IDT in prova, è sufficiente verificare, in analogia a quanto prescritto dalla Norma CEI 11-1 relativamente al rapporto U_E / U_{TP} , che:

$$I_F * Z_C \leq 1,5 U_{TP} \quad (4)$$

4. CONCLUSIONI

La normativa vigente attribuisce al distributore pubblico di energia elettrica la facoltà di individuare e certificare l'esistenza di impianti di terra globali. Tale normativa non fornisce alcun dettaglio riguardo ai criteri di costituzione dell'impianto di terra globale, in particolare rispetto alla natura ed al modo di interconnessione, intenzionale o di fatto, dei dispersori in esso inclusi: condizione vincolante è la "quasi equipotenzializzazione" dell'area sede dell'ITG, ovvero l'assenza di tensioni di contatto pericolose.

Il metodo di verifica presentato valuta il livello di interconnessione dell'impianto di terra della singola cabina secondaria del distributore pubblico con la rete di terra non intenzionale esistente nelle aree urbane dotate di acquedotti con le caratteristiche descritte. In presenza di gasdotti metallici, il metodo consente, inoltre, la valutazione dell'impedenza di terra dell'intera rete di terra collegata al dispersore della cabina in prova.

In conclusione, esso consente di attestare preventivamente l'assenza di tensioni di contatto pericolose

rendendone superflua, pertanto, la tradizionale misura, peraltro notevolmente più onerosa.

5. ELENCO DEI SIMBOLI

CS	=	cabina secondaria
IDT	=	impianto di terra
I_F	=	corrente di guasto a terra MT in cabina secondaria
ITG	=	impianto di terra globale
U_E	=	tensione totale di terra
U_{TP}	=	tensione di contatto ammissibile
Z_S	=	impedenza dell'anello di guasto

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Marco Bronzini, Pasquale Pugliese, Nicola Raguso, Roberto Sbrizzai – “Analisi critica dei sistemi di collegamento a terra in BT a seguito dell’introduzione del concetto di impianto di terra globale”. Atti del Convegno Scientifico Nazionale SICUREZZA NEI SISTEMI COMPLESSI, Politecnico di Bari 16 –17 Ottobre 2003
- [2] Nicola Raguso - “Analisi critica dei sistemi di collegamento a terra in BT a seguito dell’introduzione del concetto di impianto di terra globale”. Tesi di laurea in ingegneria elettrica, Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica – Politecnico di Bari, Aprile 2003
- [3] Norma CEI 11-1 “Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata”, nona edizione del 1999, fascicolo N°5025
- [4] Norma CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua”, quinta edizione del 2003
- [5] V. Cataliotti, A. Campoccia “Impianti di terra”. Edizioni TNE 2003