

ANALISI DI IMPIANTI DI TERRA INTERCONNESSI IN RETI MT CON NEUTRO A TERRA TRAMITE BOBINA DI PETERSEN

Angelo Campoccia*, Marco Carrescia°, Liliana Mineo*, Gaetano Zizzo*

*Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università degli Studi di Palermo, 90128, viale delle Scienze, Palermo

°Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Politecnico di Torino, 10129, corso Duca degli Abruzzi n°24, Torino
zizzo@diepa.unipa.it

SOMMARIO

Scopo del lavoro è lo studio di una rete a media tensione in cavo in presenza di guasto monofase a terra. Si analizza in particolare una rete con neutro a terra tramite la bobina di Petersen, nella quale gli impianti di terra delle cabine secondarie alimentate sono tra loro interconnessi tramite i mantelli metallici del cavo che fornisce loro energia. L'obiettivo dell'analisi è valutare, per guasto a terra all'interno di una cabina MT/bt, la distribuzione dei potenziali che si stabiliscono sui vari impianti di terra del sistema interconnesso.

Gli andamenti trovati sono confrontati con gli analoghi ottenuti nel caso in cui la rete a media tensione sia a neutro isolato. Ulteriori confronti vengono effettuati nell'ipotesi che i vari impianti di terra siano isolati tra loro. Sulla base dei risultati dell'analisi sono espresse infine alcune considerazioni sulla sicurezza elettrica in relazione allo stato del neutro della rete MT.

1. INTRODUZIONE

Un provvedimento per ridurre le correnti di dimensionamento degli impianti di terra dei sistemi di II categoria consiste nello sfruttare il contributo di tutte le possibili vie di drenaggio della corrente di guasto a terra. A tale scopo nelle reti elettriche di distribuzione a media tensione gli impianti di terra delle cabine secondarie si trovano spesso elettricamente interconnessi tramite i rivestimenti metallici dei cavi (schermi, guaine, armature) o le corde nude, spesso presenti, interrato nello stesso scavo dei cavi.

Una immediata conseguenza della riduzione delle correnti di terra è un più razionale ed economico dimensionamento dei dispersori in seguito alla riduzione delle tensioni di contatto e di passo e, quindi, il conseguimento di una maggiore sicurezza elettrica dell'impianto.

Nei lavori [4]-[8] è stato sviluppato un modello matematico che permette durante un guasto monofase a terra lo studio dei sistemi di impianti di terra interconnessi, costituiti dai dispersori delle cabine secondarie MT/bt alimentate da linee in cavo in media tensione. Nei suddetti lavori lo studio è stato limitato all'analisi delle reti MT a neutro isolato e non è stata affrontata l'analisi delle reti esercite con neutro a terra tramite la bobina di Petersen (reti a neutro compensato). L'importanza di questa analisi è legata sia alla presenza in Italia già di un certo numero di reti a neutro compensato introdotte a titolo sperimentale, sia all'orientamento dell'Ente Distributore di rendere nel futuro le reti a media tensione totalmente esercite con quest'ultimo stato del neutro.

Come è noto, in tali reti la bobina di Petersen può avere un valore di induttanza fisso (bobina fissa), oppure modulabile in maniera automatica (bobina mobile) in modo da adattarsi alle modificazioni della configurazione di rete, in seguito ad apertura o chiusura di linee. Il valore dell'induttanza della bobina viene scelto sulla base del grado di compensazione che si vuole ottenere della capacità equivalente della rete MT a cui fa capo la stazione AT/MT nella quale viene installata la bobina. Una compensazione totale consente di ridurre la corrente di guasto monofase a terra I_F a valori compresi tra il 5% e il 15% del valore che si avrebbe nella rete a neutro isolato. Una compensazione parziale, che comporta valori della corrente di guasto a terra leggermente più elevati, rappresenta però la scelta più comunemente adottata¹.

Con una compensazione effettuata al 70-80% la corrente che interessa i dispersori degli impianti di terra delle cabine secondarie risulta già sensibilmente ridotta rispetto alla corrente che attraversa i dispersori quando il neutro è isolato da terra. Comunque in reti con forte prevalenza di cavi la corrente I_F può risultare ancora abbastanza elevata per realizzare in modo economico impianti di terra isolati per le cabine secondarie, anche perché nelle reti a neutro compensato aumenta il tempo delle protezioni per guasto a terra e di conseguenza si riduce il valore ammissibile della tensione di contatto². Si deve utilizzare allora anche in tali reti il provvedimento di interconnettere tra loro i vari impianti di terra.

¹ In atto l'ENEL Distribuzione ritiene $I_F=50A$ accettabile per le reti a 20 kV.

² L'ENEL Distribuzione utilizza $t_F=10s$ a cui corrisponde un $U_{Tp}=75V$.

Nel presente lavoro si vuole approfondire questo argomento, studiando per le reti a neutro compensato la distribuzione dei potenziali che si stabiliscono sui vari impianti di terra interconnessi quando si verifica un guasto entro una cabina secondaria. I risultati trovati sono quindi confrontati con gli analoghi ottenuti nel caso in cui la rete a media tensione sia a neutro isolato. Ulteriori confronti vengono effettuati nell'ipotesi che i vari impianti di terra siano isolati tra loro.

2. CARATTERISTICHE DEL MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO

Lo studio è stato condotto con riferimento ad una rete MT costituita da una stazione AT/MT 150kV/20kV che fornisce energia ad alcune linee in cavo MT, ciascuna delle quali, esercita radialmente, alimenta un gruppo di cabine secondarie MT/bt. Sono stati presi in considerazione due stati del centro stella della stazione: centro stella connesso a terra tramite un bobina di Petersen o centro isolato da terra. Gli impianti di terra delle cabine secondarie si ipotizzano interconnessi attraverso il rivestimento metallico dei cavi della rete MT. L'impianto di terra della stazione può essere collegato o meno al sistema interconnesso. Uno schema del sistema esaminato è rappresentato in figura 1.

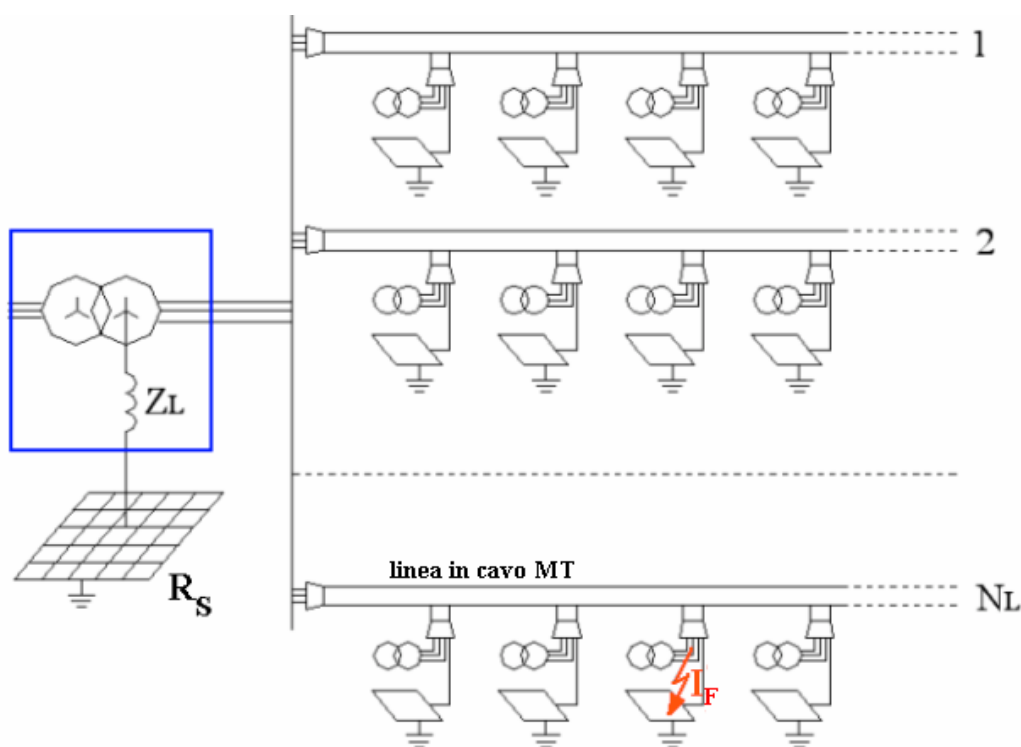


Figura 1. Schema della rete studiata

Il modello matematico utilizzato per l'esame della rete si basa su un approccio multipolare di tipo matriciale in cui ogni linea afferente alla stazione è stata suddivisa in una successione di multipoli in cascata, le cui grandezze in ingresso e in uscita sono le tensioni sui vari elementi del sistema e le correnti circolanti in ogni tratta di linea tra due cabine successive. In base alla costruzione del modello, la relazione ingresso/uscita di ogni sezione di linea MT, sia essa sana o guasta, viene espressa da un'equazione matriciale. L'approccio matriciale permette di implementare la rete al calcolatore con estrema agevolezza, rendendo il modello completamente indipendente dalle caratteristiche del cavo utilizzato, che influenzano soltanto i valori degli elementi delle matrici rappresentative delle tratte ma non le espressioni di tali elementi. Dal punto di vista analitico la rete viene scomposta nei modelli della linea guasta, delle linee sane e della stazione di alimentazione; tutte le equazioni del sistema sono ricavate applicando le leggi di Kirchhoff e le formule di Carson. Informazioni più dettagliate sul modello vengono fornite nei lavori [4] ÷ [8], dove lo stesso modello è stato utilizzato per studi analoghi condotti su reti MT a neutro isolato.

Nello studio della rete in condizioni di guasto a terra è stata trascurata la presenza dei carichi, praticamente ininfluenza sulla distribuzione della corrente di guasto. Nel calcolo inoltre sono state considerate costanti la resistività del terreno, la resistenza di terra delle cabine, la distanza tra le cabine, le caratteristiche del cavo che costituisce le linee MT che alimentano le cabine. Inoltre non sono stati

considerati effetti di interferenza conduttiva tra i dispersori interrati, date le piccole dimensioni dei dispersori di cabina rispetto alle distanze tra gli impianti di terra.

3. ANALISI DEL SISTEMA INTERCONNESSO CONFRONTATA CON L'ANALISI DI UN IMPIANTO DI TERRA ISOLATO

Le possibili configurazioni del sistema di impianti di terra interconnessi presi in considerazione sono:

- caso A: i rivestimenti metallici dei cavi sono collegati tra loro e all'impianto di terra della stazione AT/MT;
- caso B: i rivestimenti metallici dei cavi di ciascuna linea MT sono collegati tra loro ma non all'impianto di terra della stazione AT/MT;
- caso C: i rivestimenti metallici dei cavi sono collegati tra loro solo nell'ambito di ciascuna linea; non sono collegati tra loro i rivestimenti metallici delle diverse linee e non è collegato l'impianto di terra della stazione AT/MT;

L'analisi è stata effettuata studiando per ciascuno dei casi su indicati una serie di reti di diverse dimensioni allo scopo di individuare l'andamento delle grandezze caratteristiche, tensioni e correnti, valutate su tutti gli impianti di terra, al variare della posizione della cabina guasta. L'indagine sistematica ha consentito di fornire utili indicazioni di carattere generale.

Come esempio significativo è inizialmente presentato lo studio di una rete di estensione modesta (30 km) costituita da 5 linee uguali realizzate in cavo tripolare con un unico rivestimento metallico, ciascuna di lunghezza pari a 6 km, che alimenta 20 cabine, a distanza costante l'una dall'altra, pari a 300 m

Nei grafici e nelle tabelle riportati di seguito sono rappresentati i risultati delle simulazioni effettuate al variare della cabina in cui si verifica il guasto e della resistenza di terra dei dispersori, assunta pari a 5 e 20 Ω . Tali valori sono tipici di impianti di terra più o meno complessi in terreni di resistività medio - bassa (100 Ω m).

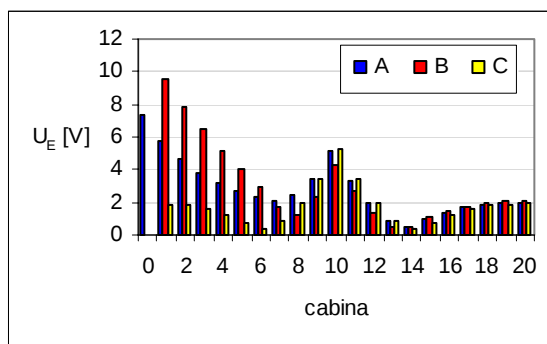
Nelle figure 2a÷2d, è rappresentata la distribuzione delle tensioni totali di terra assunte dai dispersori delle cabine nei tre casi A, B e C quando il neutro è a terra tramite la bobina di Petersen. La corrente di guasto è modesta e pari a circa 18,5 A. Si ipotizza che il guasto si manifesti nelle cabine n° 10 e n°20.

Nelle figure 3a÷3d, gli stessi risultati sono paragonati con la condizione di neutro isolato. La corrente di guasto in tal caso è più sensibile ed è pari a circa 92 A.

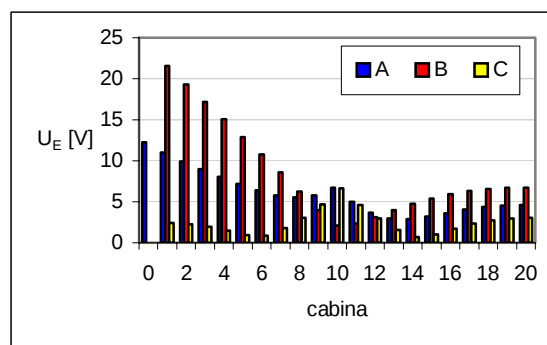
Per una completa analisi è necessario confrontare i dati delle figure 2 e 3 con i valori della tensione totale di terra U_E a cui si porterebbe l'impianto di terra della cabina guasta se non fosse connesso agli altri impianti di terra; ciò consente di valutare il livello di riduzione della tensione U_E per l'effetto di drenaggio della corrente di guasto dovuto agli altri impianti di terra interconnessi. A tale scopo in tabella 1, al variare della resistenza di terra R_E del dispersore guasto e dello stato del neutro del sistema, sono riportati i valori di U_E a cui esso si porta nel caso in cui non sia connesso agli altri impianti di terra.

Tabella 1. Valori della tensione totale di terra in assenza di interconnessione;

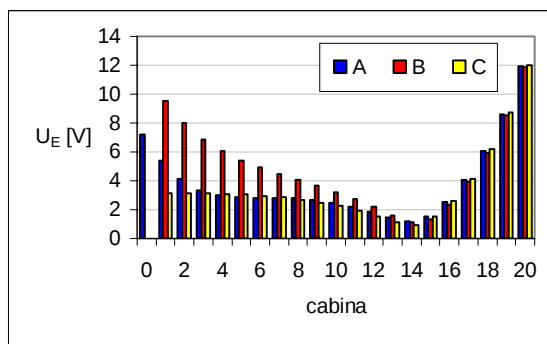
Rete estesa 30 km. $U_E = R_E \cdot I_F$ [V]			
Neutro compensato		Neutro isolato	
$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$	$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$
92.5	370	460	1840



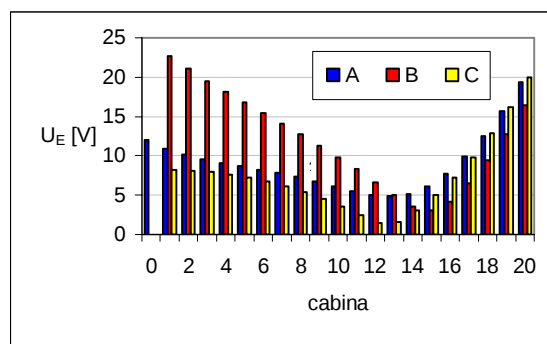
a) $R_E=5\Omega$, guasto nella cabina n°10



b) $R_E=20\Omega$, guasto nella cabina n°10

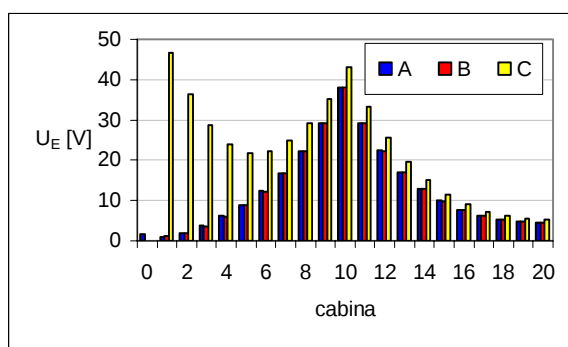


c) $R_E=5\Omega$, guasto nella cabina n°20

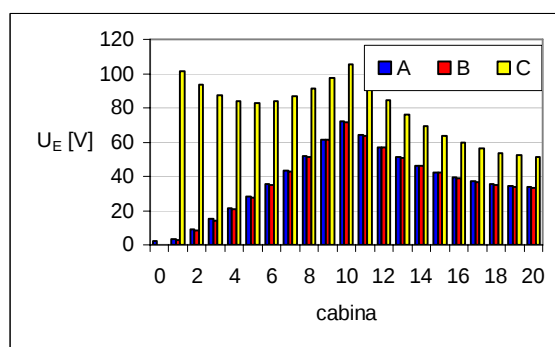


d) $R_E=20\Omega$, guasto nella cabina n°20

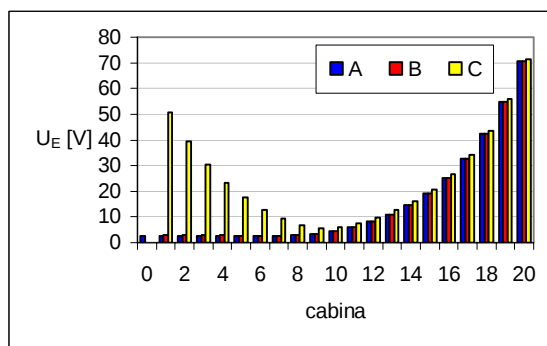
Fig. 2 - Andamento della tensione U_E in ciascun impianto di terra di cabina secondaria di una linea di 6 km; rete estesa 30 km, $I_F=18,5$ A, centro stella a terra con bobina di Petersen.



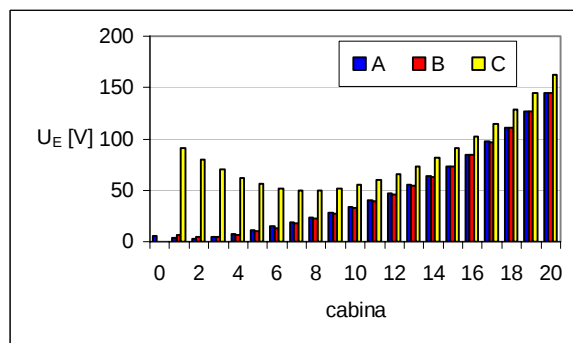
a) $R_E=5\Omega$, guasto nella cabina n°10



b) $R_E=20\Omega$, guasto nella cabina n°10



c) $R_E=5\Omega$, guasto nella cabina n°20



d) $R_E=20\Omega$, guasto nella cabina n°20

Fig. 3 - Andamento della tensione U_E in ciascun impianto di terra di cabina secondaria di una linea di 6 Km; rete estesa 30 km, $I_F=92$ A, neutro isolato.

E' interessante indagare sull'influenza della topologia della rete sulla tensione U_E , a parità di corrente di

guasto. Consideriamo nel caso di esercizio con neutro messo a terra con bobina di Petersen ancora la rete MT in cavo di estensione 30 km presa in esame, composta da 5 linee MT identiche alimentanti un totale di 100 cabine e si supponga di suddividere equamente queste cabine su 10 linee identiche. Per $R_E = 5 \Omega$ e guasto in corrispondenza all'ultima cabina si ottiene l'andamento di U_E rappresentato in fig. 4.

Un rapido confronto tra la fig. 2d e la fig. 4 dimostra che la tensione U_E in corrispondenza alla cabina sede del guasto è praticamente invariata. Suddividendo equamente le 100 cabine su 20 linee troviamo ancora allo stesso risultato.

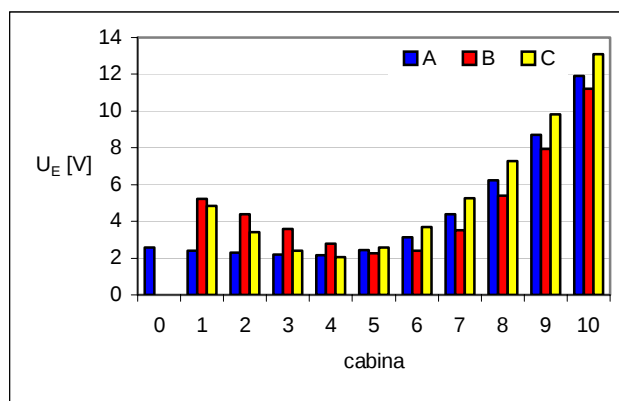


Fig. 4 - Andamento della tensione U_E in ciascun impianto di terra di cabina secondaria di una linea di 3 km; rete estesa 30 km, $I_F=18,5$ A, centro stella a terra con bobina di Petersen, $R_E=5\Omega$, guasto sulla cabina n°10.

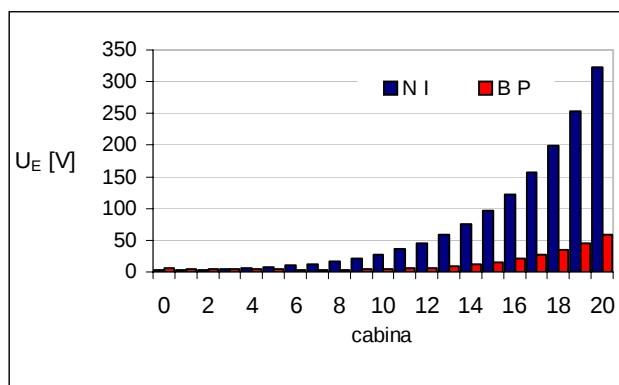
Per rendere di carattere generale l'indagine è opportuno ora esaminare il comportamento di una rete estesa. Consideriamo ad esempio una rete MT in cavo di estensione pari a circa 130 km a cui corrisponde una corrente di guasto I_F pari a 410 A nell'esercizio a neutro isolato e a 78 A nell'esercizio con bobina di Petersen e compensazione all'80%.

In assenza dell'interconnessione, i valori delle tensioni totali di terra assunte dal dispersore appartenente alla cabina guasta sono riportati nella tabella 3.

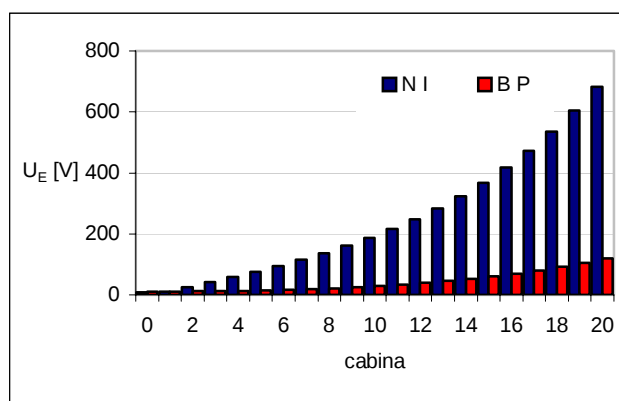
Tabella 2. Valori della tensione totale di terra in assenza di interconnessione; rete estesa 130 km.

$U_E = R_E \cdot I_F$ [V]			
Neutro compensato		Neutro isolato	
$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$	$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$
390	1560	2050	8200

Nell'ipotesi di interconnessione che si realizzi come nel caso A e con riferimento ad un guasto che si manifesti nelle cabine n°20, nelle figure 5a e 5b è riportata la distribuzione delle tensioni totali di terra assunte dai dispersori delle cabine, quando il neutro è a terra tramite la bobina di Petersen, confrontata con la condizione di neutro isolato.



a) $R_E = 5\Omega$, guasto sulla cabina n°20



b) $R_E = 20\Omega$, guasto sulla cabina n°20

Fig. 5 - Andamento della tensione U_E in ciascun impianto di terra di cabina secondaria di una linea di 6 km; rete estesa 130 km, $I_F = 78$ A; NI: rete a neutro isolato; BP: rete con bobina di Petersen ; caso A

4. ANALISI DEGLI EFFETTI DELL'INTERCONNESSIONE

Dall'esame della figura 2, relativa alla rete con centro stella a terra con bobina di Petersen si evidenzia quanto segue:

- Per guasto in una data cabina la tensione totale di terra assume una distribuzione abbastanza varia, alternandosi una parte decrescente e una crescente, in dipendenza della posizione di essa.
- Il valore massimo di U_E può manifestarsi in alcuni casi presso la cabina guasta, in altri presso una cabina sana.
- L'aumento della resistenza di terra determina effetti diversi al variare del tipo di connessione dei dispersori.
- I valori più elevati di U_E si stabiliscono nel caso B.

Dall'analisi dei grafici riportati nella figura 3, relativi alla rete a neutro isolato si evidenzia quanto segue:

- Per guasto in una data cabina la tensione totale di terra ha una distribuzione più regolare che nel caso di rete a neutro compensato.
- Il valore massimo di U_E si manifesta normalmente in corrispondenza della cabina guasta.
- I valori più elevati di U_E si hanno nel caso C. Infatti, poiché non vi è connessione tra i rivestimenti metallici delle diverse linee, tutta la corrente di guasto viene dispersa soltanto dai dispersori della linea guasta.
- Le distribuzioni di U_E nei casi A e B sono molto vicine tra loro.

In tabella 3 e 4 sono riportati i valori massimi di U_E ricavabili dalle figure 2, 3 e 5, indicativi delle

condizioni più gravose a cui deve riferirsi la verifica della sicurezza elettrica dei rispettivi impianti di terra, nei casi esaminati.

Tabella 3. Valori massimi della tensione totale di terra calcolati in presenza dell'interconnessione (30km).

$U_{E\max}$ [V]			
Neutro compensato		Neutro isolato	
$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$	$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$
12	20	71	162

Tabella 4. Valori massimi della tensione totale di terra calcolati in presenza dell'interconnessione (130km).

$U_{E\max}$ [V]			
Neutro compensato		Neutro isolato	
$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$	$R_E = 5 \Omega$	$R_E = 20 \Omega$
59	130	323	682

I valori massimi in tabella 3 e 4 oscillano tra il 5% e il 15% dei potenziali che assumerebbero gli stessi dispersori in assenza di interconnessione. Inoltre l'effetto dell'interconnessione è maggiormente sentito per neutro compensato dando luogo in tal caso a valori di $U_E \leq 20$ V per la prima rete e $U_E \leq 130$ V per la seconda.

5. CONSIDERAZIONI SULLA SICUREZZA ELETTRICA IN RELAZIONE ALLO STATO DEL NEUTRO DELLA RETE MT

Per il dimensionamento degli impianti di terra delle cabine secondarie, ipotizzate dell'Ente distributore, si può fare riferimento alla condizione di sicurezza prevista dalla norma CEI 11-1, che prevede sia $U_E \leq 1,5U_{Tp}$, avendo indicato con U_{Tp} i valori delle tensione di contatto ammissibili riportate nella Tabella 9-2 della stessa norma in funzione del tempo t_F di eliminazione del guasto. Nelle reti a neutro isolato tale tempo è dell'ordine di $0,3 \div 1$ s; nelle reti a neutro compensato, con l'obiettivo di aumentare la continuità, si tende invece a utilizzare valori di t_F molto più elevati. Ciò comporta che i valori di U_{Tp} a cui fare riferimento in queste ultime reti sono più modesti di quelli utilizzabili per le reti a neutro isolato; in prima approssimazione circa il 35%.

In assenza di interconnessione il vantaggio delle reti a neutro compensato, che presentano a pari condizioni valori più ridotti delle correnti di guasto e quindi delle tensioni totali di terra U_E (negli esempi presentati circa il 20% rispetto a quelli relativi alle reti a neutro isolato) viene sensibilmente a ridursi con l'utilizzo dei su indicati valori di U_{Tp} .

In assenza di interconnessione anche nelle reti in cavo di estensione limitata, come quella di 30 km esaminata negli esempi precedenti, la presenza della bobina di Petersen pur riducendo la corrente I_F non consente sempre la verifica delle condizioni di sicurezza $U_E \leq 1,5U_{Tp}$, su citate. Infatti, se ci si riferisce alla condizione più gravosa dell'esempio con $R_E = 20\Omega$, la tensione totale di terra di 370 V, verifica la condizione di sicurezza prevista dalla norma CEI 11-1 solo con $t_F = 0,45$ s, valore molto più piccolo, come già precisato, di quelli comunemente adottati in tali reti. In una rete siffatta gli impianti di terra possono essere mantenuti isolati se essi presentano una resistenza di terra pari a circa $R_E = 4\Omega$.

La condizione è appena più sfavorevole con una rete a neutro isolato; in essa, sempre in assenza di interconnessione, nelle stesse ipotesi di $R_E = 20\Omega$ la tensione totale di terra, a cui si porta il dispersore pari 1840 V non verifica la condizione su indicata prevista dalla norma (cioè $U_E \leq 1,5U_{Tp}$); tale condizione sarebbe verificata solo o con un dispersore di resistenza di terra pari a circa $R_E = 2\Omega$, di difficile realizzazione o comunque molto oneroso, o ricorrendo all'interconnessione degli impianti di terra.

Nelle reti in cavo estese, come quella di 130 km, una condizione necessaria per entrambi gli stati del neutro è ricorrere all'interconnessione degli impianti di terra.

Le considerazioni che precedono possono inoltre essere di utile riferimento per le reti a neutro compensato nella individuazione all'interno delle aree urbane dei cosiddetti "impianti di terra globali". Come è noto la norma CEI 11-1 definisce impianto di terra globale un "impianto di terra realizzato con

l'interconnessione di più impianti di terra che assicura, data la vicinanza degli impianti stessi, l'assenza di tensioni di contatto pericolose" e afferma che "tale impianto forma una superficie quasi-equipotenziale". Per la norma quindi, dichiarare che in un'area esiste un impianto di terra globale significa garantire la sicurezza di tutte le installazioni contenute in quell'area. Conseguentemente un nuovo impianto di terra inserito in tale area deve essere dimensionati soltanto in relazione al comportamento termico, alla resistenza meccanica e alla corrosione.

Gli Enti distributori delle varie regioni, a cui è demandato il compito di dichiarare l'esistenza di un impianto di terra globale in una data area, hanno individuato il criterio abbastanza generalizzato che si basa su una concentrazione di cabine MT/bt, con impianti di terra interconnessi, non inferiore a 25 per chilometro quadrato e disposte in modo tale che i cerchi di raggio pari a 150 m, centrati su ogni cabina, intersechino i corrispondenti cerchi di almeno altre due cabine adiacenti. Ciò si traduce in una distanza massima tra due cabine secondarie successive non superiore ai 300m, valore al quale sono state riferiti gli esempi su presentati.

Le analisi che precedono evidenziano la più facile individuazione nelle reti a neutro compensato delle aree urbane classificate come "*impianti di terra globali*", mentre per le reti a neutro isolato tale classificazione necessita una analisi teorica sistematica più approfondita.

6. CONCLUSIONI

L'analisi condotta ha mostrato che la pratica di interconnettere insieme gli impianti di terra delle cabine secondarie porta a notevoli miglioramenti della sicurezza elettrica anche all'interno di reti MT con neutro a terra tramite la bobina di Petersen. Questo stato del neutro infatti, pur presentando nei confronti del dimensionamento dell'impianto di terra condizioni meno gravose rispetto al neutro isolato, necessita l'interconnessione degli impianti di terra anche in presenza di reti in cavo di estensione limitata se la resistività del terreno non è sufficientemente bassa.

Per reti con neutro compensato di estensione limitata, come quella esaminata, e con interconnessione tra gli impianti di terra, la presenza di valori così modesti delle tensioni totali di terra dà indicazioni favorevoli per poter considerare l'area interessata come quasi equipotenziale è quindi come sede di un impianto di terra globale. In tutti i casi comunque tale interconnessione consente di classificare come "*impianti di terra globali*" aree urbane in cui i valori di resistenza di terra dei dispersori di cabina esistenti siano più elevati rispetto al caso di reti a neutro isolato.

7. ELENCO DEI SIMBOLI E DELLE ABBREVIAZIONI

I_F	corrente di guasto monofase a terra;
N_L	numero di linee afferenti alla stazione AT/MT;
R_E	resistenza di terra di una cabina secondaria;
R_S	resistenza di terra della stazione AT/MT;
U_E	tensione totale di terra;
$U_{E\max}$	massimo valore riscontrato della tensione totale di terra;
U_{Tp}	massima tensione di contatto ammissibile;
Z_L	impedenza della bobina di Petersen.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Norma CEI 11-1, Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in corrente alternata, Edizione IX, Gennaio 1999.
- [2] Guida CEI 11-37, Guida per l'esecuzione degli impianti di terra di impianti utilizzatori in cui siano presenti sistemi con tensione maggiore di 1kV, Edizione II, Luglio 2003.
- [3] Documento ENEL DK 5600, Criteri di allacciamento di utenti alla rete MT della distribuzione, Edizione IV, Marzo 2004.
- [4] A. Campoccia, V. Cataliotti, M. L. Di Silvestre, L. Mineo, Safety issues in grounding systems of MV/LV secondary substations joined through MV cables metal sheaths, *CIREN 97*, Conference Publication n°438, 2-5 Giugno 1997.

- [5] A. Campoccia, L. Mineo, Un modello per lo studio di sistemi di impianti di terra interconnessi in una rete in MT a neutro isolato, *L'Energia elettrica*, vol 75 n° 6 Novembre-Dicembre 1998.
- [6] A. Campoccia, M. L. Di Silvestre, L. Mineo, Una metodologia di analisi di impianti di terra interconnessi tramite i rivestimenti metallici dei cavi MT in reti a neutro isolato, *L'Energia elettrica*, vol 76 n° 4 Ottobre-Dicembre 1999.
- [7] A. Campoccia, L. Mineo, Problematiche di dimensionamento degli impianti di terra delle cabine secondarie MT/bt in reti a neutro isolato, *Convegno Nazionale sulla Sicurezza dei Sistemi Complessi*, Bari, 18-19 Ottobre 2001.
- [8] A. Campoccia, L. Mineo, G. Zizzo, Comportamento di un sistema di impianti di terra di cabine secondarie interconnessi tramite le guaine metalliche dei cavi, *Convegno Nazionale sulla Sicurezza dei Sistemi Complessi*, Bari, 16-18 Ottobre 2003.