

# L'esercizio a neutro compensato della rete pubblica a MT

Strategia determinante per il miglioramento della qualità del servizio reso agli utenti.

Andrea Gulinelli

## IL REGIME DEL NEUTRO ISOLATO

In origine nel sistema elettrico pubblico la messa a terra del neutro mediante induttanza (bobina di Petersen <sup>(1)</sup>) era riservato alle linee della distribuzione primaria a tensione 50÷60 kV in esercizio fino alla fine degli anni cinquanta. La scelta traeva supporto dall'esigenza di contenere le correnti di guasto a terra <sup>(2)</sup>. Con la trasformazione della rete primaria di distribuzione a 132 ÷150 kV, che implicava la necessità <sup>(3)</sup> del

<sup>(1)</sup> Waldemar Petersen (Germania) che sul finire degli anni dieci, del secolo scorso, l'installò in una rete a 10 kV.

<sup>(2)</sup> In regime di neutro isolato le correnti di guasto a terra sono dovute al contributo delle sole capacità di fase delle linee. In particolare sono, a parità di tensione e di resistenza di guasto, proporzionali alla capacità totale della rete MT. Questa capacità dipende essenzialmente dalla tipologia di linea (aerea o in cavo) e dalla lunghezza totale delle linee costituenti la rete. La capacità (di fase) delle linee è dell'ordine di alcuni nF/km (es. 10 nF/km) per linee MT aeree in conduttori nudi, e di alcune centinaia di nF/km (es. 0.4 µF/km). Il valore, fatto salvo il calcolo di maggior rigore offerto dalla norma CEI EN 60909 - CEI 11-25, in A. è dato, per guasto franco a terra, dall'espressione:

$$I_g = U (0,003 \cdot L_1 + 0,2 \cdot L_2)$$

dove:

- U è la tensione nominale tra le fasi della rete in kV;
- L1 è la somma delle lunghezze in km delle linee aeree in conduttori nudi;
- L2 è la somma delle lunghezze in km delle linee in cavo, ordinariamente collegate metallicamente fra loro durante il funzionamento della rete in esercizio normale.

Quindi il contributo di 1 km di cavo al valore della corrente di guasto è di 3 A e di 4 A, rispettivamente per linee esercite a 15 e a 20 kV.

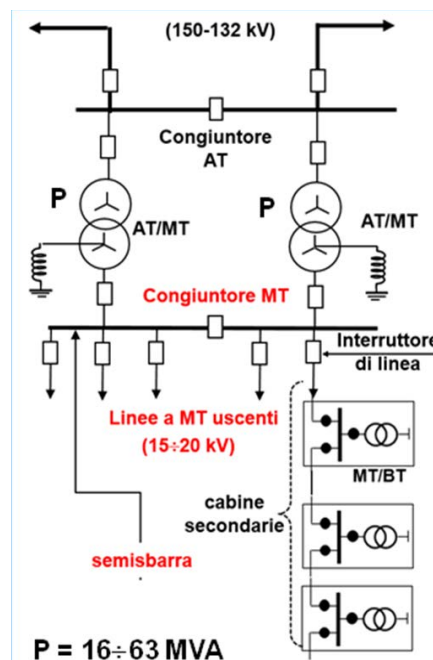
collegamento efficace a terra del neutro, la bobina di Petersen è stata abbandonata. Per la distribuzione a MT, al contrario di altri paesi come il Giappone, la Finlandia e in parte anche la Spagna, l'Italia ha sempre utilizzato il sistema a neutro isolato. Questa soluzione si è rivelata soddisfacente per molto tempo. Ha garantito, infatti, una certa semplicità d'esercizio per la discreta affidabilità e sensibilità delle protezioni (di tipo tradizionale), non disgiunta da una buona continuità del servizio, almeno fino a quando i valori delle correnti di guasto monofase a terra si sono mantenuti entro 200÷250 A. Il sistema ha cominciato ad evidenziare delle criticità a causa del rapido aumento<sup>(4)</sup> della rete sia in cavo interrato sia in cavo aereo che ha messo in evidenza la diminuita probabilità di autoestinguenza dei guasti a terra di natura transitoria per eliminare i quali diventava necessario, sempre più frequentemente, l'apertura dell'interruttore di linea con gravi ripercussioni sulla continuità del servizio reso agli utenti. In alcune reti totalmente in cavo, specialmente delle aree urbane, con tensione d'esercizio fino a 23÷25 kV, le correnti di guasto a terra raggiungevano valori anche di 500÷600 A, causa non secondaria del cedimento, sovente con il carattere d'incendio e scoppio, dei giunti sui cavi a MT per l'aumentata energia in gioco. A ciò si aggiungeva la difficile e onerosa gestione degli impianti di terra delle cabine, senza contare le sollecitazioni sugli isolamenti per le elevate sovratensioni<sup>(5)</sup> con rischio di degenerazione dei guasti transitori in guasti permanenti. Altro aspetto non trascurabile era la possibilità di restare in servizio con una fase

a terra per guasto fortemente resistivo (pericolo per le persone – guasto a terra inverso)

## IL SISTEMA DELLA DISTRIBUZIONE A MT CON NEUTRO A TERRA

La distribuzione pubblica a MT tensione è realizzata mediante linee aeree in conduttori nudi (Figura 1) e in cavo isolato aereo o interrato, alimentate da cabine di trasformazione AT/MT (cabine primarie - CP). Le linee a MT alimentano direttamente gli utenti in MT con propria cabina di trasformazione e quelle pubbliche di trasformazione MT/BT (cabine secondarie - CS) per gli utenti in BT. Il tipo di connessione ovvero l'isolamento rispetto a terra del neutro a MT, centro stella del secondario del trasformatore AT/MT, costituisce l'elemento

**Figura 1** - Cabina primaria AT/MT equipaggiata con bobine di Petersen.



<sup>(3)</sup> In generale nei sistemi con neutro non francamente a terra occorre dimensionare l'isolamento delle linee e degli impianti sulla base della tensione concatenata anziché su sulla base di quella stellata.

<sup>(4)</sup> Attualmente in molte regioni del nord la consistenza della rete in cavo supera quella aerea in conduttori nudi.

<sup>(5)</sup> Essendo il potenziale del neutro del sistema non vincolato a terra, si manifestano in condizioni di squilibrio di rete (e in particolare in regime di guasto) delle sovratensioni sensibili sulle fasi sane. Frequentemente, rispetto ad altre modalità di messa a terra, si origina il fenomeno dell'arco a terra intermittente (al fenomeno dell'arco a terra intermittente che porta a valori fino a 4÷6 volte la tensione di fase – sono associate sequenze di guasti a terra monofase che si estinguono e si ri-adescono ad ogni semi-ciclo ad ogni ciclo). Ciò perché le sovratensioni transitorie all'estinzione del guasto sono più "ripide" rispetto ad altre modalità di messa a terra.

distintivo dell'esercizio di un insieme di linee MT radiali di distribuzioni sottese ad una stessa sbarra. Da esso dipendono i parametri e le grandezze elettriche che caratterizzano il regime di guasto a terra e quindi, in ultima analisi, gli elementi tipici che incidono sulla continuità del servizio e sulle sollecitazioni trasferite in rete e sugli impianti alimentati. I modi di connessione del neutro possono essere:

- francamente a terra;
- collegato a terra mediante una resistenza limitatrice;
- collegato a terra mediante una reattanza induttiva (bobina di Petersen - figura 2 - esercizio della rete a neutro compensato);
- isolato da terra.

In Italia l'abbandono di quest'ultima modalità di gestione del neutro per la rete a MT è iniziato nei primi anni '90. Attualmente restano ancora solo limitate estensioni di rete esercite a neutro isolato appartenenti a piccole imprese di distribuzione con un limitato numero di punti di consegna.

Nessun paese adotta in via esclusiva un solo sistema, ma può dire che almeno in Europa tutti i vari sistemi evolvono verso l'esercizio della rete a neutro compensato specialmente per le reti totalmente in cavo. La prima delle soluzioni richiamate, tipica dei paesi nord americani e del Regno Unito, offre il vantaggio di dimensionare l'isolamento della rete sul valore della tensione stellata del sistema (limitate sovratensioni), ma per contro si caratterizza per elevate correnti di guasto a terra che non potendo essere lasciate perdurare determinano di conseguenza pesanti ripercussioni sulla continuità del servizio. Nel nostro paese dopo una decina d'anni la messa a terra mediante reattanza induttiva, a fronte di ottimi risultati in termini di continuità del servizio, è diventata soluzione standardizzata e generalizzata, integrata con l'automazione della rete, in modo tale da

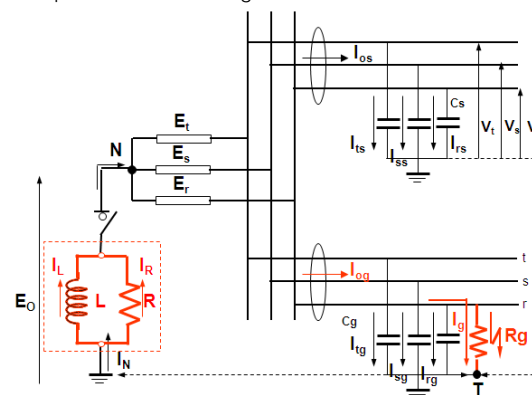
consentire numerose configurazioni possibili con un limitato numero di componenti.

## IL SISTEMA DI RILEVAZIONE DEI GUASTI A TERRA

Il funzionamento a neutro compensato significa semplicemente collegare a terra il neutro (punto N della figura 2) tramite una reattanza induttiva  $L$  (il significato della resistenza  $R$  è chiarito nel seguito). Con riferimento allo schema, dove sono rappresentate due linee alimentate dalla stessa sbarra, una sana di capacità omopolare  $C_s$  e una in guasto (fase  $r$ ) con capacità omopolare  $C_g$ , il significato dei simboli è il seguente:

- $E_r, E_s,$  e  $E_t$  tensioni stellate del secondario del trasformatore AT/BT (i valori unificati sono in genere:  $V/\sqrt{3} = 15\,000/\sqrt{3}$  e  $20\,000/\sqrt{3}$ );
- $V_s, V_r$  e  $V_t$  tensioni delle fasi verso terra, comuni a tutto il sistema; corrispondono, trascurando le impedenze longitudinali e trasversali delle linee, ai valori suddetti in assenza di guasto per assumere invece il valore della tensione concatenata in caso di guasto franco a terra nella fase  $r$ ;
- $E_o$  tensione omopolare (tensione del neutro verso terra); il suo valore è zero in assenza di guasto e diventa massimo in caso di guasto franco; si ottiene risolvendo il sistema delle equazioni di equilibrio delle maglie della figura 2:

**Figura 2** - Funzionamento della rete a MT a neutro compensato in caso di guasto monofase a terra.



$$\bar{E}_o + \bar{E}_r = \bar{V}_r \quad (1)$$

$$\bar{E}_o + \bar{E}_s = \bar{V}_s \quad (2)$$

$$\bar{E}_o + \bar{E}_t = \bar{V}_t \quad (3)$$

$$\bar{E}_o = \frac{\bar{V}_r + \bar{V}_s + \bar{V}_t}{3} \quad (4)$$

essendo:  $E_r + E_s + E_t = 0$ .

- $R_g$  resistenza di guasto a terra ( $R_g = 0$ , guasto franco -  $R_g \rightarrow \infty$  assenza di guasto);
- $L$  induttanza inserita fra neutro e terra; di valore variabile in relazione alla capacità complessiva della rete;
- $R$  resistenza in parallelo all'induttanza  $L$ ; con il simbolo  $Z_N$ , impedenza di neutro, s'intende il parallelo di  $R$  e  $X_L$ ;
- $I_g$  corrente di guasto monofase a terra;
- $I_{sg}$ ,  $I_{rg}$  e  $I_{tg}$  correnti derivate nelle capacità verso terra nelle fasi della linea guasta;
- $I_{ss}$ ,  $I_{rs}$  e  $I_{ts}$  correnti derivate nelle capacità verso terra nelle fasi della linea sana;
- $I_{og}$  corrente omopolare nella linea guasta proporzionale alla somma delle tre correnti derivate dalle fasi (compresa quella in guasto) verso terra, ossia (equilibrio del nodo T,  $I_N = I_{og}$ ):

$$\bar{I}_{os} = \frac{1}{3} \left( \frac{\bar{V}_r}{R_g} + \frac{\bar{V}_r}{X_{cg}} + \frac{\bar{V}_s}{X_{cg}} + \frac{\bar{V}_t}{X_{cg}} \right) \quad (5)$$

- $I_{os}$  corrente omopolare nella linea sana proporzionale alla somma delle tre correnti derivate dalle fasi verso terra, ossia:

$$\bar{I}_{os} = \frac{1}{3} \left( \frac{\bar{V}_r}{X_{cs}} + \frac{\bar{V}_r}{X_{cs}} + \frac{\bar{V}_t}{X_{cs}} \right) \quad (6)$$

- $I_N$  corrente che fluisce attraverso l'impedenza  $Z_N$  di collegamento a terra del neutro.

Per la determinazione della corrente di guasto si considera la rete equivalente a un bipolo (Figura 3) costituito da un generatore ideale di tensione, con f.e.m. a vuoto di valore pari alla tensione presente in assenza di guasto ( $V_o = E_r$ ), con un'impedenza in serie  $Z_o$ , pari a quella vista fra i terminali ai capi dei quali si verifica il guasto a rete resa inattiva, ossia ponendo:  $E_r = 0$ ,  $E_s = 0$ , e  $E_t = 0$  (teorema di Thevenin). Il valore di tale impedenza è dato da:

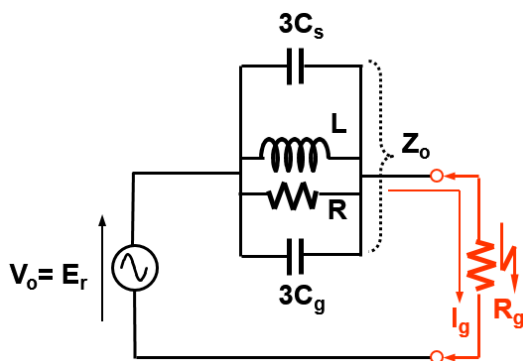
$$\bar{Z}_o = \frac{\bar{Z}_N \cdot X_{CT}}{\bar{Z}_N + X_{CT}} = \frac{\bar{Z}_N}{\bar{Z}_N j3\omega C_T + 1} \quad (7)$$

Dove  $C_T = 3(C_s + C_g)$ . La corrente di guasto monofase a terra vale quindi (Figura 3):

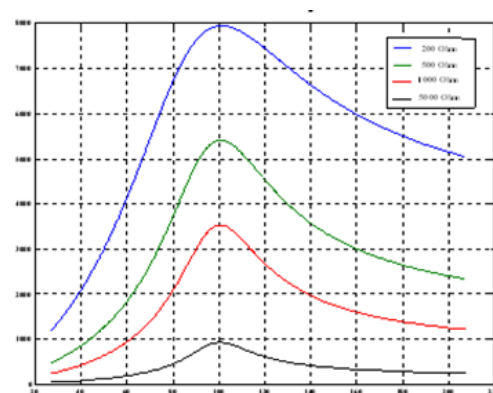
$$\bar{I}_g = \frac{\bar{E}_r}{\bar{Z}_o + R_g} = \bar{E}_r \frac{\frac{1}{\bar{Z}_N} + j3\omega C_T}{1 + \frac{R_g}{\bar{Z}_N} + j3\omega C_T R_g} \quad (8)$$

La reattanza induttiva durante il guasto monofase fa circolare una corrente che si sottrae alla corrente capacitiva di guasto dovuta alla capacità di tutte le linee riducendo così il valore della corrente di guasto. Se l'induttanza è assunta di valore

**Figura 3** - Bipolo equivalente alla rete elettrica data visto dalla resistenza di guasto (teorema di Thevenin).



**Figura 4** - Andamento della tensione omopolare al variare del grado di compensazione e per diversi valori di resistenza di guasto.



tale da essere:

$$\omega L = \frac{1}{\omega 3 (C_s + C_g)} \Rightarrow L = \frac{1}{\omega^2 3 (C_s + C_g)} \quad (9)$$

la compensazione della corrente capacitiva è totale e la corrente di guasto risulta minima perché il circuito risonante parallelo  $Z_o$ , per effetto della (7, assume impedenza massima, ossia pari al valore della resistenza R (Figura 4). La drastica riduzione della corrente di guasto (a valori piuttosto bassi) così ottenuta aumenta enormemente la probabilità di autoestinzione dell'arco prima che intervenga l'apertura dell'interruttore di linea, con un miglioramento significativo della qualità di servizio (per questa ragione la bobina di Petersen viene anche detta bobina di estinzione). Se nella (8 si pone  $R = \infty$  (di fatto impossibile per la presenza delle perdite ohmiche dell'induttanza e del sistema), la corrente di guasto si annulla. Nella pratica viene realizzato un grado di compensazione del 95% (disaccordo del 5%) mediante un sistema automatico che legge istantaneamente la capacità complessiva della rete e varia di conseguenza il valore dell'induttanza (complesso a bobina mobile). In queste condizioni la corrente di guasto massima, per  $R_g = 0$ , è praticamente uguale al rapporto  $E/R$ . Per selezionare il guasto in modo selettivo, cioè determinare l'apertura solamente dell'interruttore in testa alla linea guasta senza interessare quello della linea sana, occorre conoscere il valore e soprattutto lo sfasamento della tensione omopolare  $E_o$  e delle correnti omopolari nella linea guasta e in quella sana,  $I_{og}$  e  $I_{os}$ . Sempre con riferimento alle figura 2 e alla (8 si ha:

$$\bar{V}_r = R_g \bar{I}_g = \bar{E}_r \frac{\frac{R_g}{\bar{Z}_N} + J3\omega C_T R_g}{\frac{R_g}{\bar{Z}_N} + J3\omega C_T R_g + 1} \quad (10)$$

Sostituendo nella (1 il valore di  $V_r$  ricavato con la (10 si ottiene il valore della tensione omopolare:

$$\bar{E}_o = \frac{\bar{E}_r}{1 + \frac{R_g}{\bar{Z}_N} + J3\omega C_T R_g} \quad (11)$$

Sostituendo nella (6 i valori di  $V_r$ ,  $V_s$  e  $V_t$  ricavati con le (1, (2 e (3, si perviene all'espressione della corrente omopolare nella linea sana:

$$\bar{I}_{os} = j\omega C_s \bar{E}_o \quad (12)$$

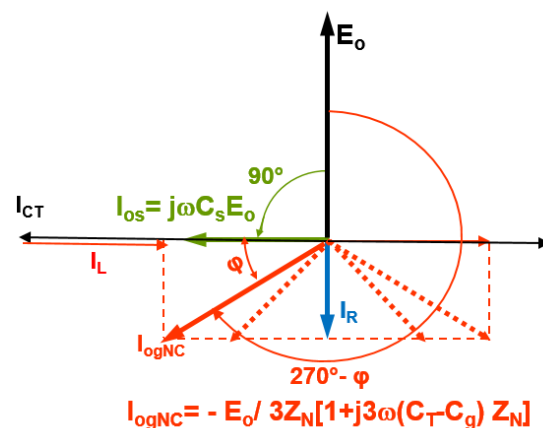
Il cui sfasamento con  $E_o$  è in anticipo di  $90^\circ$  (Figura 5).

Operando analogamente sulla (5 si ricava la corrente omopolare nella linea guasta:

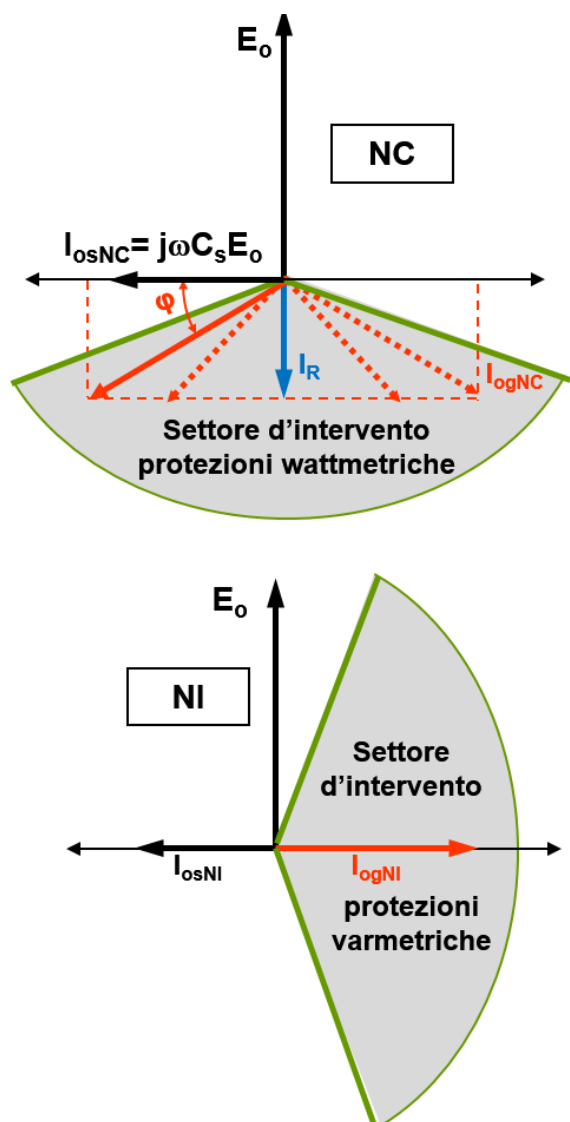
$$\bar{I}_{og} = -\frac{\bar{E}_o}{3\bar{Z}_N} [1 + J3\omega(C_T - C_{og})\bar{Z}_N] \quad (13)$$

A neutro compensato lo sfasamento della corrente omopolare di guasto è in ritardo di  $270^\circ - \varphi$  sulla la tensione omopolare in dipendenza del fatto che la rete sia sottocompensata o sovracompensata, ossia quando la corrente  $I_L$  è inferiore o superiore alla corrente guasto capacitiva (ma indipendentemente dal valore della resistenza di guasto (Figura 5). Il valore di  $\varphi$  dipende dall'entità dell'estensione della linea guasta rispetto all'estensione complessiva dell'intera rete sottesa alla medesima sbarra, dalla % di compensazione ed è indipendente dalla resistenza di guasto.

**Figura 5** - Relazioni angolari fra la tensione omopolare e le correnti nella linea sana e nella linea guasta.



**Figura 6** - Settori angolari d'intervento delle protezioni varmetriche e wattmetriche.



Il valore della componente resistiva, ossia quella che fluisce attraverso la resistenza  $R$  posta in parallelo con la bobina, è in opposizione di fase con  $E_0$  e coincide con l'intera corrente omopolare di guasto se la compensazione è completa. Appunto per aumentare tale componente s'inserisce la resistenza  $R$  che in parallelo con le perdite del sistema e della bobina consente appunto di aver un aumento della corrente resistiva in grado di ottenere una migliore selettività delle protezioni e benefici sulle sovratensioni e sull'estinzione degli archi. Mediante trasformatori di tensione e corrente (TA e TV)

i segnali di guasto ( $E_0$  e  $I_{og}$ ) vengono trasferiti alle protezioni varmetriche per il sistema a neutro isolato e wattmetriche per il sistema a neutro compensato. Il minimo valore di  $\varphi$  che assicura il corretto comportamento delle protezioni wattmetriche è  $13^\circ \div 14^\circ$ . Nella pratica sono adottati due campi di taratura (figura 6) indipendenti e contemporaneamente attivi sulle protezioni direzionali di terra di cui sopra in modo che le medesime siano idonee sia per l'esercizio a neutro isolato sia per l'esercizio a neutro compensato. Ciascun settore ha un proprio distinto tempo d'intervento. In funzione della posizione dei vettori corrente omopolare tensione omopolare si ha un tempo diverso di eliminazione del guasto. L'ampiezza dei settori tiene conto dei possibili errori dei TA e TV e di altre esigenze tecniche. Si utilizzano sia di bobine fisse, regolabili manualmente a prese discrete fra 80 A e 200 A (a 20 kV), sia bobine mobili (Figura 7), regolabili automaticamente e con continuità nel campo 60 A-300 A (a 20 kV). In presenza di un accordo perfetto i risultati di esercizio

**Figura 7** - Bobina mobile a regolazione continua 60 ÷ 300 A (fonte Enel).





sono gli stessi. Tuttavia, la necessità di regolazione manuale fa sì che, spesso, l'accordo non sia perfetto per le bobine fisse. Anche temporanei cambi di assetto e/o scatti definitivi di linee MT causano lo stesso effetto. Per tale ragione i risultati di esercizio sono peggiori rispetto alle bobine mobili. Sono da considerare, inoltre, maggiori limiti di esercizio rispetto alle bobine mobili essendo richiesto l'intervento di personale in campo per la regolazione.

### **LE SOVRATENSIONI E LA QUALITÀ DEL SERVIZIO ATTESA**

Come detto in premessa una delle spinte decisive che hanno indotto le imprese distributrici a modificare lo stato del neutro come appena descritto era quella di potersi avvalere dei benefici, da tempo noti, previsti con l'esercizio a neutro compensato in termini di minori sovratensioni sugli impianti alimentati. In particolare:

- le sovratensioni sostenute: ossia le sovratensioni alla frequenza industriale che si registrano sulle fasi sane;
- le sovratensioni transitorie su guasto, dette anche sovratensioni veloci, che si generano sulla fase guasta fino all'estinzione del guasto.

Entrambe si mantengono sotto i valori normalmente registrabili nel funzionamento a neutro isolato; la prima non supera mai il livello della tensione concatenata e la seconda non eccede 2,5 volte la tensione stellata. Inoltre si registra che:

- le sovratensioni per guasto a terra intermittente, sono praticamente assenti a neutro compensato mentre sono pericolosissime a neutro isolato;
- l'autoestinzione degli archi a terra è particolarmente favorita dall'inserimento

in parallelo alla bobina della resistenza R di cui si è detto.

- le tensioni di ri-adesamento (tensioni di ripristino nei primi istanti successivi all'estinzione del guasto) sono significativamente ridotte a circa la metà di quelle caratterizzanti l'esercizio a neutro isolato.

Per i riflessi sulla continuità del servizio rispetto alle interruzioni, senza preavviso, secondo gli indicatori <sup>(6)</sup> definiti dall'Arera nell'Allegato A del TIQE – Testo integrato della qualità del servizio - la consolidata esperienza sin qui maturata ha messo in risalto notevoli riduzioni delle suddette interruzioni, mediamente valutabili rispettivamente in circa il 20 %, 33% e 55÷60% <sup>(7)</sup>. Le premialità economiche previste per le performance in termini di minori interruzioni e minori durate delle stesse, sono state fattori determinanti per le maggiori imprese distributrici per passare in maniera massiccia all'esercizio della rete a MT a neutro compensato.

### **L'IMPATTO DEL CAMBIAMENTO DELLO STATO DEL NEUTRO SUGLI IMPIANTI DEGLI UTENTI A MT**

La variazione dello stato del neutro, da isolato a compensato, determina la necessità di adeguare:

- il sistema di protezione generale (SPG);
- l'impianto di terra.

In occasione del cambio dello stato di esercizio del neutro l'impresa distributtrice è tenuta a informare ogni utente MT allacciato alla rete con un anticipo non inferiore a sei mesi e non superiore a dodici mesi, indicando anche le nuove specifiche di taratura delle protezioni. Ciò allo scopo

<sup>(6)</sup> interruzioni lunghe - di durata superiore a 3';  
interruzioni brevi - di durata superiore ad 1" e non superiore a 3';  
interruzioni transitorie - di durata non superiore a 1".

<sup>(7)</sup> Scorporati naturalmente gli effetti derivanti dagli altri interventi in rete MT (telecontrollo e automazione, componentistica, struttura, manutenzione) e dell'andamento metereologico in modo tale da calcolare l'effetto "netto" delle bobine di Petersen.

**Figura 8** - Soglie minime di taratura per le protezioni di terra dell'utente a MT.

Tipo protezione Soglia	Soglia $I_0-V_0-\delta^\circ$	Tempo di eliminazione guasto [s]
67N S1 (NI)	2A; 2V 60°±120°	0,0170
67N S2 (NC)	2A; 5V 60°±250°	0,450
51N <sup>2</sup> ( $I_0 >$ )	2A	0,170 (NI) 0,450 (NC)
50N <sup>1</sup> ( $I_0 \gg$ )	140% $I_F^1$	0,170

A NI ( $I_0 >$ , impiegata solo in assenza della 67N.S1 e 67N.S2) - ( $I_0 \gg$  impiegata solo con presenza 67N.S2)  
A NC ( $I_0 >$ , impiegata solo in assenza della 67N.S1 e 67N.S2) - ( $I_0 \gg$  impiegata solo con presenza 67N.S2 e 67N.S2)  
<sup>1</sup>A NC i valori di  $I_F$  sono: 50 A a 20 kV e 40 A a 15 kV

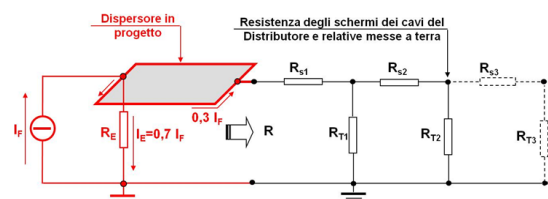
di evitare che gli investimenti siano eccessivamente anticipati o non tempestivi rispetto alle mutate esigenze d'esercizio. In particolare devono essere adeguate le protezioni contro i guasti monofase a terra in modo da essere del tutto uguali a quelle del distributore prima descritte, salvo ovviamente il tempo d'intervento affinché sia possibile realizzare la necessaria selettività. Se l'utente non provvede a detto retrofit è in primis economicamente penalizzato con il pagamento di Corrispettivo Tariffario Specifico (CTS) via via maggiorato in caso di perdurante ritardo nell'adeguamento, senza contare il rischio di essere ritenuto responsabile degli eventuali guasti interni, non eliminati dal suo SPG, che riescano di danno alla generalità degli utenti connessi alla sua stessa rete d'alimentazione. L'adeguamento consiste nell'implementazione del SPG, in testa all'impianto, con protezioni direzionali wattmetriche 67N S2 per selezionare i guasti a terra per quegli utenti che in

ragione dell'estensione <sup>(8)</sup> della loro rete in cavo hanno in essere la protezione direzionale di terra di tipo varmetrico, 67N S1. Nella figura 8 sono riportate le soglie minime di taratura per detti relè e per quelli di massima corrente di terra 50 N ( $I_0 \gg$ ) per l'eliminazione dei doppi guasti monofasi a terra e per l'eliminazione del guasto monofase a terra, 51 N ( $I_0 >$ )<sup>(9)</sup>. La selettività che si realizza con le protezioni in CP è di tipo cronometrico:

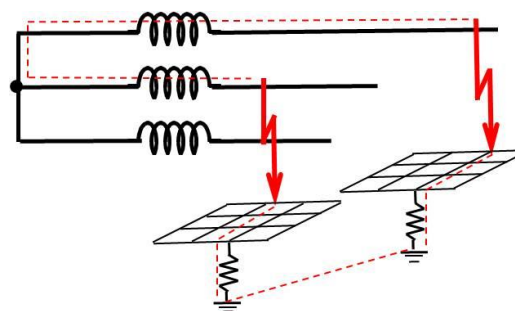
- a NI il DG apre in un tempo max di 170 ms mentre l'interruttore in CP apre in 400 ms;
- a NC il DG apre in un tempo max di 450 ms mentre l'interruttore in CP apre in 1 s

La taratura a 2A consente di selezionare guasti di resistenza fino a circa 2,1 kΩ a 15 kV e 3 kΩ A 20 kV; con tarature più basse, comunque non inferiori 1,6 A, si selezionerebbero anche guasti a terra di resistenza superiore ma si correrebbe il

**Figura 9** - Dimensionamento del dispersore della cabina utente tenendo conto della corrente effettiva di guasto a terra.



**Figura 10** - Doppio guasto monofase a terra.



<sup>(8)</sup> Cavo dell'utente di lunghezza al massimo di 400 m a 20 kV e 530 m a 15 kV; lunghezze ottenute partendo dall'80% della corrente omopolare di taratura di 2A per il relè 51 N applicando l'espressione della nota 2.

<sup>(9)</sup> Con la suddetta taratura di 2A (sia a 15 che a 20 kV), in caso di guasto franco a terra sulla rete la corrente derivata dall'estensione del cavo dell'utente, che non ha la protezione direzionale 67 N, assume il valore massimo di  $0,2 \times 20 \times 0,400 = 1,6$  A e  $0,2 \times 15 \times 0,530 = 1,6$  A che non fa intervenire la protezione 51 N.



rischio di interventi intempestivi al verificarsi di un guasto sulla rete o presso un altro utente. Viceversa valori di taratura maggiori abbasserebbero il valore massimo della resistenza di guasto selezionabile con la conseguenza di trasferire sulla rete i guasti “molto resistivi”.

Per quanto riguarda gli impianti di terra occorre tenere presente che a fronte di minori correnti di guasto a terra il tempo di eliminazione del guasto monofase a terra può essere protratto fino anche a 20 s nel caso che sulla rete sia attivato un sistema di automazione di tipo FNC <sup>(10)</sup> spinto e che la verifica va condotta anche in regime di esercizio di neutro isolato per tener conto dei fuori servizio per la manutenzione delle bobine. In via conservativa da parte dell'utente i tempi da considerare non sono quelli della tabella di cui alla figura 8, bensì quelli d'intervento delle protezioni dell'impresa distributrice, installate in testa alla linea, in quanto il guasto può intervenire sul tratto d'impianto di cabina posto a monte del DG. In proposito attualmente i distributori comunicano un tempo complessivo d'eliminazione del guasto a terra pari a 10 s che impone di non superare la tensione di contatto di 80 V come stabilito dalla Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) <sup>(11)</sup>. Ovviamente considerando la sola corrente di guasto che fluisce nel dispersore della cabina dell'utente al netto di quella drenata dalle guaine dei cavi della rete del dell'impresa distributrice (Figura 9). Tale aspetto è regolamentato dalla norma CEI 0-16 nel senso che se il distributore avvisa l'utente che l'interconnessione delle guaine dei cavi riguarda meno di tre cabine, lo stesso deve progettare il dispersore per l'intero valore,  $I_E = I_F$ , della corrente di

guasto a terra comunicata. Diversamente può assumere quale valore di corrente di terra  $I_E = 0.7 \cdot I_F$ .

Tutto ciò considerato il passaggio a neutro compensato può tradursi in una minore sicurezza e quindi in alcuni casi l'impianto può necessitare d'interventi di adeguamento.

Ai soli fini di tenuta termica i conduttori che collegano le masse al dispersore (conduttori di terra) devono presentare una sezione minima come previsto dalla norma CEI 99-3. La norma, quando la durata del guasto a terra è superiore a 1 s, impone di considerare anche il doppio guasto monofase a terra assumendo il valore della corrente di corto circuito bifase, pur non trattandosi di un vero e proprio corto circuito (Figura 10), salvo il caso che avvenga sullo stesso dispersore dell'impianto di terra. La corrente di doppio guasto a terra calcolata secondo la IEC 60909 assume come valore massimo l'85% della corrente di cortocircuito iniziale simmetrica trifase. La durata del guasto è comunicata dall'impresa distributrice e generalmente è di 200 ms.

<sup>(10)</sup> Come noto questa tecnica di selezione del tronco guasto per fase a terra avviene mantenendo la linea in servizio quindi senza l'apertura dell'interruttore in testa alla linea d'alimentazione.

<sup>(11)</sup> Se l'impianto di terra della cabina è inglobato in una estesa maglia di terra, che ricomprenda l'intero stabilimento, il valore della tensione di contatto si ritiene rispettato se si riesce a contenere la tensione totale di terra a un valore non superiore a due volte detto limite.