



E Normativa E

Norma CEI 0-16 e produttori in MT

Seconda parte (1)

Francesco Groppi

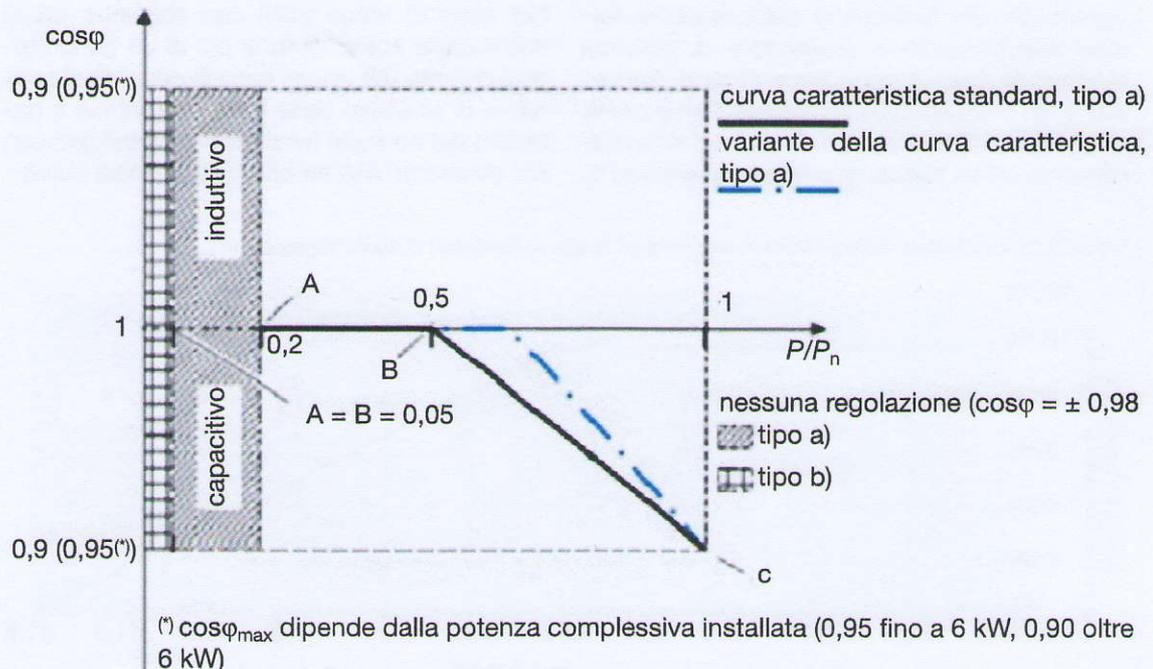
Nuove disposizioni introdotte dalla terza edizione della norma CEI 0-16 per i produttori di energia elettrica in media tensione

SERVIZI DI RETE: PARTECIPAZIONE AL CONTROLLO DELLA TENSIONE

La presenza dei generatori lungo le linee MT è potenzialmente in grado di innalzare la ten-

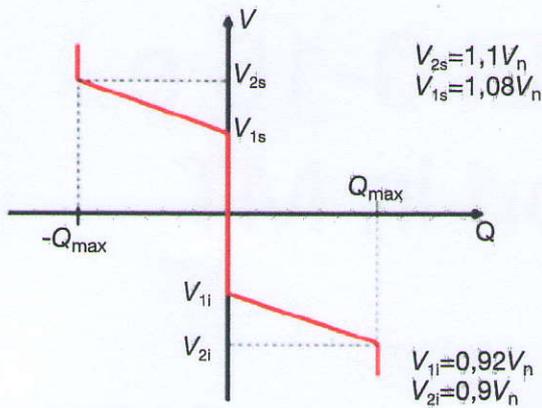
sione nel punto di connessione oltre i valori consentiti dalla norma CEI EN 50160. Essa prescrive che la media del valore efficace della tensione calcolata su 10 min non possa supe-

FIGURA 8: curva caratteristica standard $\cos\phi = f(P)$ e varianti definite su tre punti



(1) La prima parte del presente articolo è stata pubblicata sul fascicolo n. 697 Maggio 2013

FIGURA 9: curva caratteristica $Q = f(V)$



rare il 110% di U_n . Al momento, non sono dati limiti su intervalli temporali più ristretti.

Al fine di rispettare i limiti suesposti è necessario che:

- per valori di tensione superiori al 120% di U_n per più di 0,2 s, le unità di GD siano distaccate dalla rete (compito assolto dalla regolazione 59.S2 del SPI);

- quando il valore medio della tensione misurato su una finestra temporale di 10 min in modalità a media mobile supera il 110 % di U_n , le unità di GD siano distaccate dalla rete entro 3 s (compito assolto dalla regolazione 59.S1 del SPI).

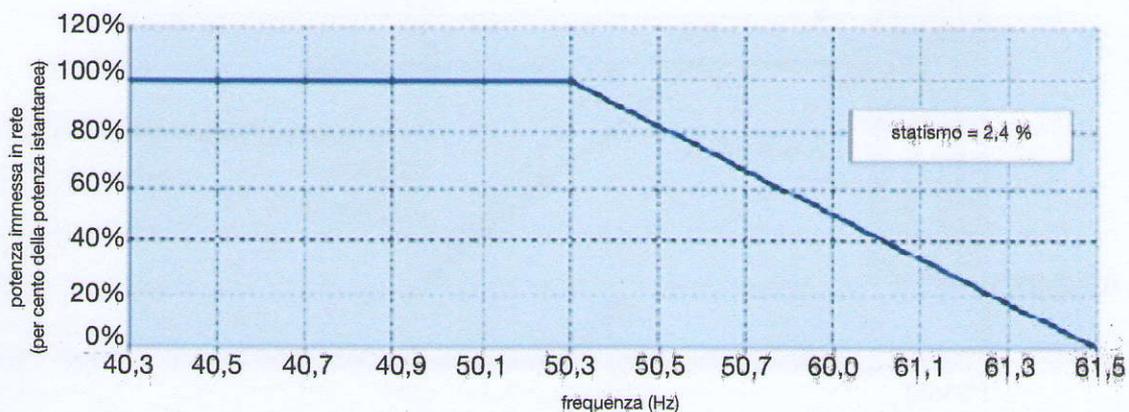
Indipendentemente dalle funzioni di distacco assolute dal SPI, il distributore concorda con gli utenti attivi connessi alle reti MT i modi per contribuire alla limitazione della tensione tramite assorbimento o erogazione di potenza reattiva. Quindi, la condizione base di funzionamento delle macchine prevede l'erogazione di potenza attiva a $\cos\varphi = 1$, mentre il funzionamento ad un fattore di potenza diverso da 1,

purché compatibile con la curva di capability del generatore, viene richiesto dal distributore per consentire la regolazione della tensione secondo le esigenze di esercizio della rete stessa. La fornitura di potenza reattiva (erogata/assorbita) da parte degli utenti attivi deve avvenire secondo le logiche di controllo locale contenute nell'Allegato I della norma.

La figura 8 mostra le curve caratteristiche standard per la potenza reattiva erogata in funzione della potenza espressa come fattore di potenza $\cos\varphi = f(P)$.

In figura 9 è riportata la curva relativa allo scambio di potenza reattiva in funzione della tensione di rete $Q = f(V)$, valida per i soli generatori statici ed eolici (Full Converter e DFIG). Per i generatori rotanti sincroni e asincroni le relative prescrizioni sono ancora allo studio. Inoltre, i gruppi possono anche essere asserviti a una regolazione centralizzata e quindi devono operare secondo le logiche specificate nell'Allegato I della norma ed i segnali esterni di regolazione e controllo remoto, erogati a cura del distributore secondo quanto stabilito nell'Allegato T della norma. Queste prescrizioni risultano essere di immediata applicazione per gli utenti attivi con cessione totale dell'energia e con un unico generatore. In tal caso, il rispetto dei vincoli circa le condizioni operative di scambio della potenza reattiva è garantito dal normale funzionamento del generatore nell'ambito della curva di capability prescritta. Nel caso di utenti attivi con cessione totale dell'energia comprendenti più di un generatore, il rispetto dei vincoli circa le condizioni operative di scambio della potenza reattiva è garantito dal normale funzionamento di ciascuno dei generatori nell'ambito della relativa curva.

FIGURA 10: regolazione della potenza attiva immessa in rete in condizioni di sovrà frequenza



Per i rimanenti casi (utenti attivi con presenza di carichi, al netto di eventuali servizi ausiliari), il rispetto dei vincoli circa le condizioni operative di scambio della potenza reattiva è garantito dal normale funzionamento dei generatori nell'ambito delle proprie curve di capability e dal funzionamento dei carichi rifasati per rispettare i termini contrattuali riportati nel Regolamento di Esercizio. Lo scambio di potenza reattiva deve essere realizzato a livello di singolo generatore oppure tramite un opportuno regolatore centralizzato di impianto. Eventuali verifiche circa il rispetto dei requisiti devono essere effettuate su base quarantaria (o al massimo oraria), come da Allegato N della norma.

SERVIZI DI RETE: REGOLAZIONE DELLA POTENZA ATTIVA

La norma prevede diverse azioni che possono essere intraprese al fine di regolare la potenza attiva da parte dell'unità di produzione. La limitazione della potenza attiva per valori di tensione prossimi al 110 % di Un si effettua al fine di evitare il distacco del generatore dalla rete e pertanto deve essere possibile prevedere la limitazione automatica della potenza attiva immessa in funzione della tensione, secondo la logica e le modalità di attivazione contenute nell'Allegato J della norma.

La limitazione della potenza attiva per transitori di sovralfrequenza originatisi sulla rete richiede che i gruppi di generazione attuino una opportuna regolazione locale in diminuzione della potenza attiva, così da contribuire al ristabilimento della frequenza nominale (regolazione primaria in sovralfrequenza). Tale regolazione risponde ad un'esigenza di salvaguardia del sistema elettrico ed è resa obbligatoria per tutte le generazioni statiche ed eoliche connesse alla rete MT mentre ai generatori convenzionali sincroni ed asincroni si applica con le limitazioni specificate più oltre.

La legge di variazione della potenza prodotta è illustrata nel grafico in figura 10 (non applicabile ai generatori rotanti) e dettagliato nell'Allegato J della norma. È richiesto che l'insensibilità massima dei regolatori, cioè il limite tecnologi-

co degli stessi, sia minore di ± 20 mHz per tutte le tipologie di generatori.

Generatori sincroni e asincroni

Per i generatori sincroni di taglia uguale o superiore a 1 MW, la riduzione della potenza immessa in rete deve avvenire sulla base di uno statismo del 4-5%, comunque correlato alle caratteristiche della macchina, del motore primo e del sistema di regolazione. La riduzione della potenza generata deve avvenire in modo lineare per superamento di una banda morta regolabile costruita intorno alla frequenza nominale (intervallo di regolazione della banda morta: $0 \div 600$ mHz) in un tempo non superiore a 10 s. Il valore di default della frequenza in cui ha inizio la diminuzione della potenza è pari a 50,3 Hz. Tale funzione deve essere escludibile.

Generatori statici

Per i generatori statici la diminuzione di potenza attiva generata deve avvenire per superamento del valore di frequenza regolabile tra 50 e 52 Hz (di default pari a 50,3 Hz) con uno statismo regolabile compreso tra il 2 ed il 5% e con un valore di default pari al 2,4% (corrispondente ad un gradiente di potenza pari all'83,3% P_e/Hz dove P_e è la potenza erogata al momento del superamento della frequenza di 50,3 Hz). In considerazione delle caratteristiche tecniche

dei generatori statici, la riduzione della potenza immessa in rete al variare in aumento della frequenza deve avvenire in modo lineare e con tempi di risposta inferiori a 2 s. Tale funzione deve essere escludibile.

L'impianto di produzione non deve aumentare il livello minimo di potenza raggiunto in fase di ascesa della frequenza fino a quando la frequenza stessa non torni ad essere compresa in un intervallo regolabile intorno alla frequenza nominale (valore di default $50 \pm 0,1$ Hz) per un tempo di 300 s.

L'aumento della produzione, compatibilmente con la disponibilità della fonte primaria, deve avvenire in maniera graduale riportando la potenza erogata dal livello minimo P_{\min} , raggiunto durante il transitorio di sovra-frequenza, al livello della potenza consentito dalla fonte pri-

Diverse sono le azioni da interpretare per regolare la potenza attiva

maria, con un gradiente positivo massimo pari al maggiore tra $20\% \times [P_{e\text{-mem}} - P_{\min}] / \min$ e $5\% \times P_n / \min$, dove $P_{e\text{-mem}}$ è il valore di potenza attiva erogata prima del transitorio, memorizzato al superamento dei 50,3 Hz e P_n è la potenza nominale dell'inverter (vedi Allegato J della norma).

Generatori eolici Full Converter e DFIG

Per la diminuzione della potenza attiva in condizione di sovralfrequenza vale quanto previsto per i generatori statici, con la differenza che per questo tipo di generatori sono richiesti tempi di risposta tali da consentire una riduzione dell'intera potenza nominale entro 10 s dal manifestarsi della variazione di frequenza.

Al rientro da una situazione transitoria di sovralfrequenza i generatori eolici devono aumentare la produzione in maniera graduale, compatibilmente con la disponibilità della fonte primaria, percorrendo in senso opposto la caratteristica $P=f(f)$ seguita nella fase di aumento della frequenza e rispettando un gradiente positivo massimo pari a $20\% \times P_{n/\min}$, dove P_n è la potenza nominale dell'aerogeneratore. Tale funzione deve essere escludibile.

E' attualmente allo studio l'aumento della potenza attiva per transitori di sottofrequenza originatisi sulla rete, al fine di contribuire al ristabilimento della frequenza nominale.

Pertanto, ai gruppi di generazione potrebbe essere richiesta una regolazione locale in aumento della potenza attiva secondo le modalità illustrate nell'Allegato K della norma.

E' inoltre prevista la limitazione della potenza attiva su comando esterno proveniente dal distributore nella prospettiva di un possibile sviluppo delle smart grid sulle reti di distribuzione MT. In presenza di un opportuno sistema di comunicazione "always on", le unità di GD di potenza nominale installata superiore a 100 kW potranno essere asservite a una logica centralizzata di riduzione della potenza attiva e dovranno operare secondo i segnali specificati nell'Allegato T della norma.

In assenza di tali segnali, riduzioni o distacchi di potenza potranno essere richiesti agli utenti attivi dal distributore tramite una opportuna procedura che sarà inserita nel Regolamento di Esercizio. Pertanto, in presenza di una regolazione centralizzata, sarà inviato un opportuno segnale di livello di potenza attiva da limitare da parte dell'unità GD.

SERVIZI DI RETE: SOSTEGNO ALLA TENSIONE DURANTE UN CORTOCIRCUITO

Al fine di sostenere la tensione durante un cortocircuito in rete, alle unità di produzione potrebbe essere richiesto di immettere corrente reattiva induttiva durante il buco di tensione provocato da un cortocircuito con le modalità illustrate nell'Allegato L della norma (prescrizione allo studio).

Questa funzione, facente parte delle tecniche di supporto dinamico alla rete, implica che gli impianti di generazione non solo dovranno rimanere connessi alla rete in caso di cortocircuito ma dovranno anche:

- sostenere la tensione erogando corrente reattiva induttiva;

- a guasto rimosso, non assorbire dalla rete potenza reattiva superiore a quella prelevata prima del guasto.

Il servizio è richiesto in relazione a tutti i guasti che, per posizione o per tipo, siano in grado di provocare un abbassamento della tensione di sequenza diretta sulla rete MT ovvero:

- cortocircuiti sulla reti AAT ed AT di tipo trifase, bifase netto, bifase con terra e monofase;

- cortocircuiti sulla rete MT di tipo trifase, bifase netto e bifase con terra.

Non è invece richiesta l'erogazione di corrente reattiva in caso di guasto monofase a terra sulla rete MT.

SERVIZI DI RETE: PARTECIPAZIONE AI PIANI DI DIFESA

La prescrizione si applica ai generatori eolici e statici di potenza maggiore o uguale a 100 kW. Tali generatori, su richiesta del distributore, devono consentire il supporto del servizio di teledistacco con riduzione parziale o totale della produzione per mezzo di telesegnali inviati da un centro remoto.

Nella prospettiva delle smart grid, le modalità di invio del segnale saranno effettuate tramite un sistema di comunicazione "always on". Nel frattempo, la partecipazione ai piani di difesa avviene secondo le modalità specificate nell'Allegato M della norma. Il servizio mira a risolvere sia le criticità di rete insorte nel livello di tensione MT, individuate e governate dal distributore, sia le criticità riferibili alle reti di livello superiore (AT ed AAT) gestite dal Gestore della rete di Trasmissione il quale si avvarrà, per questo scopo, di disposizioni impartite ai Gestori delle reti MT. In assenza di telesegna-

li attivi, la richiesta di riduzione o di annullamento della potenza prodotta potrà avvenire in modi diversi definiti dal distributore e comunicati all'utente.

Le modalità di teledistacco possono essere di tipo pianificato (modalità lenta) o con intervento immediato (modalità rapida). La prima modalità è essenzialmente prevista per gestire situazioni di sovratensione, insufficiente capacità regolante del Servizio Elettrico Nazionale o congestioni sulla rete primaria altrimenti non risolvibili.

La seconda per risolvere eventi di rete a dinamica rapida (controllo della frequenza ed azioni preventive per evitare rischi di instabilità della rete). La prima modalità può essere attuata con procedura automatica o manuale, la seconda potrà essere solo automatica.

SEPARAZIONE DELL'IMPIANTO DI PRODUZIONE DALLA RETE

Il funzionamento di un impianto di produzione in parallelo alla rete di distribuzione è subordinato a precise condizioni tra le quali in particolare:

■ il regime di parallelo non deve causare perturbazioni al servizio sulla rete di distribuzione, al fine di preservare il livello di qualità del servizio per gli altri utenti connessi;

■ il regime di parallelo deve interrompersi immediatamente ed automaticamente in assenza di alimentazione della rete di distribuzione o qualora i valori di tensione e frequenza della rete stessa non siano compresi entro i valori comunicati dal distributore;

■ in caso di mancanza tensione o di valori di tensione e frequenza sulla rete di distribuzione non compresi entro i valori stabiliti dal distributore, il dispositivo di parallelo dell'impianto di produzione non deve consentire il parallelo con la rete stessa.

Allo scopo di garantire, in caso di perdita di rete, la separazione dell'impianto di produzione dalla rete di distribuzione, negli impianti di produzione deve essere installato un dispositivo di interfaccia (DDI). Il sistema di protezione di interfaccia (SPI), agendo sul DDI, separa l'impianto di produzione dalla rete di distribuzione evitando che:

■ in caso di mancanza della tensione di rete, l'utente possa alimentare la rete stessa creando situazioni di esercizio in isola non intenzionale;

■ in caso di guasto sulla linea MT cui è connesso, l'utente sostenga il guasto;

■ in caso di richiuse automatiche o manuali di interruttori della rete di distribuzione, i generatori rotanti possano trovarsi in condizioni tali da provocare il danneggiamento delle parti meccaniche.

In particolari situazioni di carico della rete di distribuzione, l'intervento del SPI e la conseguente apertura del DDI potrebbero non avvenire in caso di mancanza dell'alimentazione o di guasti sulla rete. Pertanto l'utente attivo deve mettere in atto tutti gli accorgimenti necessari alla salvaguardia dei propri impianti che devono resistere alle sollecitazioni meccaniche causate dalle coppie elettrodinamiche conseguenti alla richiusura automatica rapida degli interruttori di linea in CP o lungo linea.

Le prescrizioni circa la regolazione della protezione di interfaccia (PI) sono da applicare indistintamente a tutti i generatori, ma per i generatori sincroni e asincroni è lasciata la possibilità alla protezione di generatore di interferire, rispetto alle regolazioni della PI.

È richiesto che gli impianti di produzione siano in grado di operare in intervalli di frequenza differenziati in ragione di due diversi obiettivi:

■ garantire il distacco rapido degli impianti in occorrenza di guasti sulla rete a cui sono connessi, al fine di consentire il successo delle richiuse automatiche tripolari presenti nelle reti MT ed a beneficio della qualità del servizio; questo risultato è conseguibile con il ricorso a soglie restrittive di frequenza;

■ garantire il sostegno delle generazioni alla rete (mantenimento della connessione) in caso di variazione relativamente lenta del parametro frequenza; questo risultato è conseguibile con il ricorso a soglie permissive di frequenza.

La discriminazione tra questi due comportamenti è affidata al sistema di protezione di interfaccia.

Il sistema di protezione proprio del generatore o dei generatori deve essere regolato, salvo casi particolari espressamente previsti dalla norma, in modo da soddisfare il secondo requisito e quindi dovrà funzionare sempre sulla base delle soglie larghe di frequenza.

Per garantire stabilità alla rete e condizioni ordinate di ripresa del servizio successivamente ad un disturbo di rete, l'avviamento, la riconnessione a seguito di distacco dovuto all'intervento della protezione di interfaccia ed il ri-

torno dei generatori al funzionamento normale devono avvenire:

■ nel rispetto delle soglie di tensione stabilite per l'avviamento;

■ dopo che la frequenza è rimasta stabile in un intervallo regolabile intorno alla frequenza nominale (valore di default $50 \pm 0,1$ Hz) per un tempo selezionabile nel campo $0 \div 900$ s (valore di default 300 s);

■ variando l'erogazione di potenza in modo graduale con la stessa rampa di presa di carico richiesta in avviamento.

Le caratteristiche tecniche ed i requisiti di prova dei sistemi di protezione che l'utente attivo deve installare in funzione della tipologia del proprio impianto devono essere conformi a quanto prescritto nell'Allegato E della norma, il quale riporta anche in dettaglio le modalità secondo cui deve essere attestata la rispondenza del SPI alle prescrizioni (prove di tipo e prove in campo).

Protezioni associate al DDI

Il Sistema di Protezione di Interfaccia (SPI) associato al DDI richiede la sorveglianza della rete mediana opportuni relè di frequenza (anche con sblocco voltmetrico), di tensione, e di tensione residua.

La protezione d'interfaccia dell'impianto di produzione deve operare in maniera opportuna, temperando le esigenze locali con quelle di sistema attraverso una opportuna funzione di sblocco voltmetrico, volto alla rilevazione di una condizione di guasto sulla rete MT.

Devono quindi essere previste le seguenti protezioni:

- massima tensione (59, con due soglie);
- minima tensione (27, con due soglie);
- massima tensione residua lato MT (59 V_o , ritardata);
- massima frequenza (81>.S1, con sblocco voltmetrico);
- minima frequenza (81<.S1, con sblocco voltmetrico);
- massima frequenza (81>.S2, ritardata);
- minima frequenza (81<.S2, ritardata).

La funzione di sblocco voltmetrico è basata sulle funzioni:

- massima tensione residua (59 V_o , sblocco voltmetrico per attivazione delle soglie restrittive 81>.S1 e 81<.S1);
- massima tensione di sequenza inversa (59 V_i , sblocco voltmetrico per attivazione delle soglie

restrittive 81>.S1 e 81<.S1);

■ minima tensione di sequenza diretta (27 V_d , sblocco voltmetrico per attivazione delle soglie restrittive 81>.S1 e 81<.S1).

Il SPI deve inoltre essere in grado di ricevere i segnali sul protocollo serie CEI EN 61850 finalizzati alla gestione del comando di telescatto. Per gli impianti che partecipano al piano di difesa, il comando di teledistacco può anche essere attivato tramite sistema GSM/GPRS (come definito in Allegato M della norma) ed utilizzato al fine di evitare l'isola indesiderata dovuta alla manovra intenzionale del distributore (ad esempio apertura interruttore di Cabina Primaria).

Qualora presente nella PI, il protocollo IEC 61850 deve essere certificato di livello A da un ente esterno ISO 9000 o ISO 17025, relativamente alle funzioni necessarie alla gestione del comando di telescatto.

Le protezioni di massima e minima tensione devono misurare le tre tensioni concatenate, che possono essere rilevate secondo le modalità previste nell'Allegato E della norma (1):

- dal secondario di TV-I collegati fra due fasi MT o BT;
- dal secondario di una terna di TV-NI collegati fase-terra;
- direttamente da tensioni concatenate in BT.

La posizione consigliata per i trasformatori/trasduttori è riportata nell'Allegato H della norma. Utilizzando TV-I fase-fase, la misura della frequenza deve essere effettuata almeno su una tensione concatenata.

Utilizzando TV-NI fase-terra, la frequenza può essere calcolata a partire dalle tre tensioni di fase misurate direttamente dai TV-NI, oppure a partire dalle tre tensioni concatenate calcolate internamente al SPI.

La misura della frequenza può comunque essere effettuata utilizzando direttamente almeno una tensione concatenate in BT.

In entrambi i casi, qualora si utilizzino più grandezze di misura (più di una tensione concatenata o di fase), lo scatto deve essere previsto:

- in caso di minima frequenza considerando il valore minore di frequenza misurato;
- in caso di massima frequenza considerando il valore maggiore di frequenza misurato.

La soluzione per la misura della frequenza è a scelta del costruttore e le regolazioni devono tenere conto del livello di tensione a cui le grandezze sono rilevate.

(1) Più oltre sono definite le tipologie di TV che è possibile impiegare

Il SPI deve essere realizzato secondo le modalità previste nell'Allegato E della norma.

L'intervento di tutti i relè deve determinare l'apertura del dispositivo di interfaccia. Tenendo conto dei valori di regolazione e dei tempi di intervento normalmente indicati, per tutti i tipi di guasto sulla rete del distributore si ha generalmente l'intervento del relè di frequenza, mentre i relè di tensione assolvono una funzione prevalentemente di rinalzo.

Le regolazioni delle protezioni avviene sotto la responsabilità dell'utente sulla base del piano di regolazione predisposto dal distributore e comunicato in fase di connessione.

Qualora, l'utente sia connesso a una linea MT in antenna (potenze complessive di generazione superiori indicativamente a 3 MW), in alternativa al telescatto può essere realizzata una logica nella CP da cui parte la linea MT in an-

tenna, tale da fare aprire l'interruttore in testa alla linea al verificarsi di determinate condizioni (ad es. mancanza rete AT, scatto trasformatore AT/MT ecc.), anche in assenza di intervento delle protezioni del distributore che agiscono sull'interruttore di linea.

La logica di Cabina Primaria deve essere realizzata e mantenuta in esercizio dal distributore, mentre gli oneri sono da ripartire secondo le vigenti disposizioni dell'AEEG.

Anche in tale caso, non è necessaria l'installazione della eventuale protezione contro la perdita di rete.

L'utente può, comunque, per proprie esigenze, richiedere la realizzazione del telescatto anche in queste situazioni.

E' possibile che PI e PG siano un unico apparecchio e/o, se distinte, che utilizzino dei TV in comune. Le prove cui sottoporre l'apparec-

TABELLA 2: regolazioni del SPI

protezione	soglia di intervento	tempo di intervento (tolleranza $\pm 3\%$)	tempo di apertura DDI (tolleranza $+3\%$)
massima tensione (59.S1) basata sul calcolo del valore efficace (Allegato S)	$1,10 U_n$	secondo il paragrafo E.3.2 dell'allegato E	variabile in funzione dei valori iniziale e finale di tensione, 603 s massimi
massima tensione (59.S2)	$1,20 U_n$	0,60 s ⁽⁶⁾	0,27 s
minima tensione (27.S1) ⁽²⁾	$0,85 U_n$	1,5 s	1,57 s
minima tensione (27.S2) ⁽¹⁾	$0,4 / 0,3 U_n$	0,20 s	0,27 s
massima frequenza (81>.S1) ⁽³⁾ (soglia restrittiva)	50,2 Hz	0,15 s	0,22 s
massima frequenza (81>.S1) ⁽³⁾ (soglia restrittiva)	49,8 Hz	0,15 s	0,22 s
massima frequenza (81>.S2) ⁽³⁾ (soglia permissiva)	51,5 Hz	1,0 s	1,07 s
minima frequenza (81>.S2) ⁽³⁾ (soglia permissiva)	47,5 Hz	4,0 s	4,07 s
massima frequenza (59 V _d)	$5\% U_m$ ⁽⁵⁾	25 s	25,07 s
massima tensione sequenza inversa (59 V _i)	$15\% U_o/E_n$ ⁽⁴⁾	-	-
minima tensione sequenza diretta (27 V _d)	$70\% U_n/E_n$ ⁽⁴⁾	-	-

⁽¹⁾ Nel caso di generatori rotanti conversionali, il valore può essere innalzato a $0,7 U_n$ con $t = 0,150$ s.

⁽²⁾ Soglia obbligatoria per i soli generatori statici.

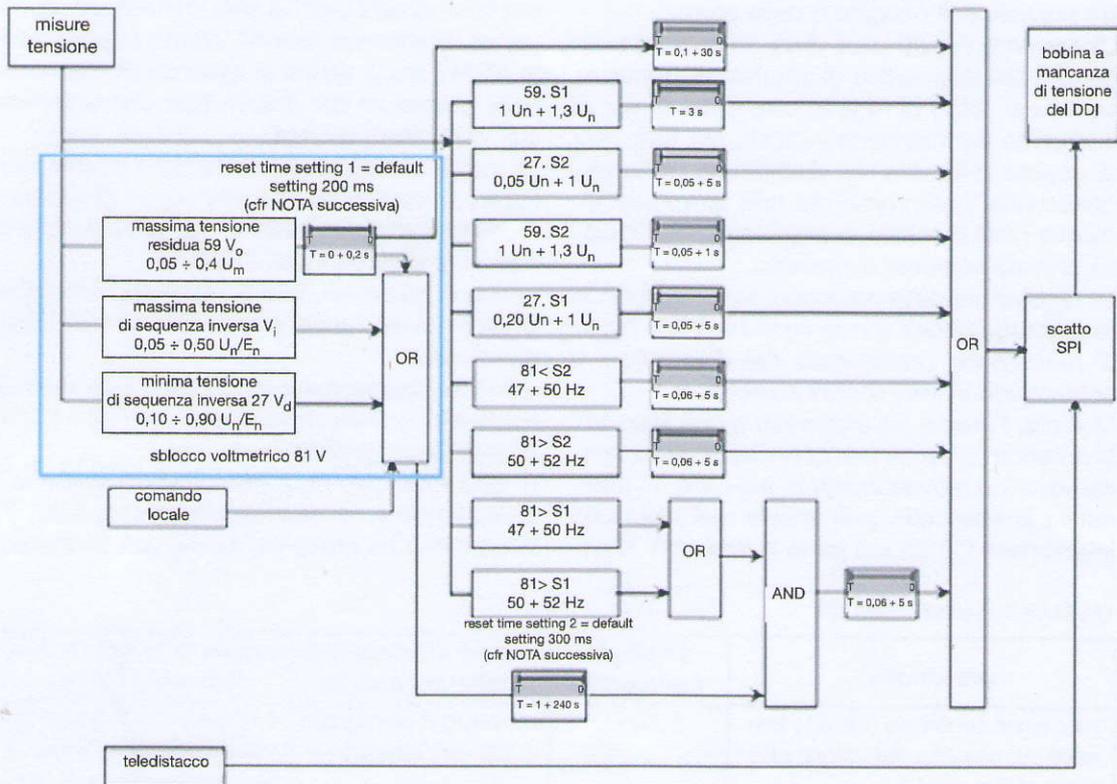
⁽³⁾ Per valori di tensione al di sotto di $0,2 U_n$, la protezione di massima/minima frequenza si deve inibire (non deve emettere alcun comando).

⁽⁴⁾ Regolazione espressa in % della tensione nominale concatenata U_n se la misura è effettuata in base ai metodi (c) e (d), o della tensione nominale di fase E_n se la misura è effettuata in base ai metodi (a) e (b) oppure (a') e (b'). Si veda il paragrafo 8.8.8.8.1 della norma.

⁽⁵⁾ Regolazione espressa in % della tensione residua nominale V_{rn} misurata ai capi del triangolo aperto o calcolato all'interno del relè ($V_{rn}=3E_n=\sqrt{3}U_n$).

⁽⁶⁾ Da un confronto tra il tempo di intervento e il tempo di apertura DDI appare evidente che non vi è concordanza tra i due valori. La correzione sarà oggetto di revisione nella prossima variante.

FIGURA 11: schema logico-funzionale del SPI



chiatura, in questo caso, devono essere relative, sia alle funzioni di PG, che di PI. DG e DDI possono essere coincidenti e/o distinti, indifferentemente ed a scelta del Costruttore/Progettista.

Per le funzioni di PI lo scatto deve avvenire obbligatoriamente tramite bobina a mancanza di tensione o con apertura automatica in mancanza di tensione. La tensione ausiliaria impiegata per alimentazione di PI e PG, dei circuiti di apertura (a lancio di corrente e/o a mancanza di tensione) e dell'eventuale data logger non integrato nella PG deve essere la medesima. Nel caso in cui PG e PI coincidano, la durata dell'alimentazione ausiliaria deve essere quella attualmente indicata nella norma e, nel caso la PI sia una protezione a se stante, l'alimentazione ausiliaria deve consentire il funzionamento della PI per un tempo opportuno.

Regolazioni del sistema di protezione di interfaccia

Le regolazioni della PI sono riportate in tabella 2. Tali regolazioni sono da intendere come valori di default. Qualora il distributore, per esigenze particolari di esercizio, richieda valori

differenti, tali nuovi valori saranno specificati in fase di connessione a valle dell'accettazione del preventivo.

La funzione di massima tensione 59.S1 deve essere realizzata come protezione basata sul valore efficace di 10 minuti calcolato secondo quanto previsto dalla Norma EN 61000-4-30. Tale valore medio, relativo ai 10 minuti precedenti, deve essere ricalcolato con un intervallo massimo di 3 s, per poi essere confrontato col valore di impostazione per la protezione 59.S1 di cui alla tabella 2 (si veda l'Allegato S della norma).

Lo schema logico del funzionamento del SPI è illustrato nella figura 11. Nello schema è contenuta anche l'indicazione dei segnali di teledistacco.

Per i generatori tradizionali, le eventuali protezioni del generatore, le cui regolazioni interferiscono con quelle della protezione di interfaccia, risulteranno dal Regolamento di Esercizio. Le eventuali protezioni del generatore statico devono essere coordinate con le protezioni di interfaccia e quindi devono consentire il funzionamento del generatore nei campi di tensione e frequenza impostati nella protezione di

interfaccia, come specificati nel Regolamento di Esercizio.

Lo stato logico del "comando locale" di inclusione delle soglie $81 > .S1$ ed $81 < .S1$ è definito, prima della connessione, nel Regolamento di Esercizio stabilito tra il distributore e l'utente attivo.

Rincalzo alla mancata apertura del DDI

Ai fini della sicurezza dell'esercizio della rete, per impianti attivi con potenze superiori a 400 kW è necessario prevedere un rincalzo alla mancata apertura del dispositivo d'interfaccia. Il rincalzo consiste nel riportare il comando di scatto, emesso dalla protezione di interfaccia, ad un altro dispositivo di interruzione.

Esso è costituito da un circuito, condizionato dalla posizione di chiuso del dispositivo di interfaccia, che agisce a seconda dei casi sul dispositivo generale o sul dispositivo di generatore, con ritardo non eccedente 1 s.

Il temporizzatore viene attivato dal circuito di scatto della protezione di interfaccia.

CARATTERISTICHE E POSIZIONE PER I TRASFORMATORI/TRASDUTTORI PER IL SPI

Nei casi in cui il SPI agisce in base a grandezze rilevate sulla rete MT, è necessario dotarlo di opportuni trasformatori di tensione (TV).

A questo fine la norma effettua la seguente distinzione:

■ TV-I, trasformatori/trasduttori di tensione di tipo induttivo, conformi alla norma CEI EN 60044-2;

■ TV-NI, trasformatori/trasduttori di tensione non induttivi, impiegabili sulle reti MT, i quali possono essere conformi alla norma CEI EN 60044-7 o essere di altro tipo.

Le protezioni del SPI devono essere basate sul rilievo di tensioni secondarie di TV diversi da quelli utilizzati per la misura a fini commerciali, ma a tale fine è ammesso l'uso di avvolgimenti secondari dedicati, seppur alimentati dallo stesso avvolgimento primario.

I TV-I o TV-NI che forniscono grandezze secondarie alle protezioni di min/max f e min/max V, devono garantire le seguenti caratteristiche:

■ prestazione nominale dei TV-I: non inferiore a 5 VA;

■ classe di precisione 0,5-3P;

■ fattore di tensione 1,2 per 30 s per TV fase-fase;

■ fattore di tensione 1,9 per 30 s per TV fase-terra.

Per i TV-I collegati a triangolo aperto valgono le stesse prescrizioni relative ai TV collegati a triangolo aperto del SPG.

I trasformatori/trasduttori per la misura della sola tensione residua (3 trasduttori fase-terra) possono essere posti anche a valle (lato generatore) del DDI. In questo caso, non è possibile per il SPI rilevare un guasto monofase sulla rete MT prima di effettuare la chiusura/richiusura (DDI aperto). Pertanto, al fine di consentire la richiusura stessa senza alimentare tale guasto monofase fino allo scatto del SPI per soglia 59 Vo (con valore di default di 25 s), sono possibili le 2 seguenti alternative:

■ per i soli generatori statici (ed asincroni non autoeccitati), il generatore deve attendere un tempo superiore al ritardo impostato per la soglia 59 Vo prima di effettuare il parallelo (≥ 30 s);

■ per tutti i generatori (ad eccezione dei generatori sincroni), il SPI, sulla base del comando di chiusura intenzionale (manuale, da automatico, in telecomando) del DDI, imposta automaticamente i tempi di intervento delle soglie $81 > .S2$, $81 < .S2$, 59 Vo a 0,20 s (lasciando inalterati i tempi di intervento delle restanti soglie), mantenendoli per un certo tempo dopo la chiusura del DDI (≥ 30 s).

I trasformatori/trasduttori per la misura della frequenza/tensione devono essere installati a monte del DDI (a monte del DG se coincidente con il DDI). In caso di trasformatori/trasduttori installati a valle del DDI (lato generatore) deve essere prevista l'esclusione temporanea del SPI con DDI aperto (con circuito a sicurezza positiva, cioè con SPI escluso solo in presenza di segnale di DDI aperto, quindi in caso di interruzione del circuito elettrico che trasmette la posizione del DDI la PI rimane costantemente attiva).

Per i soli generatori statici (ed asincroni non autoeccitati), alla chiusura del DDI (rimozione del segnale di esclusione), il SPI deve automaticamente impostare i tempi di intervento delle soglie $81 > .S2$, $81 < .S2$ e 59 Vo a 0,20 s (mantenendo inalterati i tempi di intervento delle restanti soglie) per un certo tempo dopo la chiusura del DDI (≥ 30 s).

Ciò implica che il SPI debba ricevere in ingresso anche la posizione del DDI (con le prove specificate nell'Allegato E). Il DDI, a sua volta, deve disporre di contatti ausiliari di posizione

liberi da tensione.

I generatori sincroni devono effettuare il parallelo tramite DDI o altro interruttore, quindi necessitano di TV posizionati necessariamente a monte del DDI stesso.

I TV-NI per la misura della tensione e frequenza possono essere installati fase/terra e non necessitano della resistenza antiferrisonanza.

In caso di SPI operante su grandezze rilevate in BT (frequenza e tensione) e distanze elevate (oltre 300 m) dei trasformatori/trasduttori per la misura della tensione residua dal SPI, è ammesso scorporare la funzione di 59 Vo ed installarla in prossimità di tali trasformatori/trasduttori. Tale protezione invierà alla PI sia lo scatto che il consenso per lo sblocco voltmetrico.

Con tale soluzione deve essere previsto un opportuno monitoraggio della continuità della connessione con la PI, prevenendo lo scatto della PI qualora la connessione risulti assente. In tal caso le prove devono essere fatte sul complesso delle due protezioni e del canale di comunicazione.

Nel caso si utilizzino TV-NI a monte del DG, gli stessi non necessitano di dispositivi di protezione a monte.

Nel caso si utilizzino TV-I a monte del DG (o dei TA di fase) essi dovranno essere protetti, lato MT, con un IMS combinato con fusibili ($I_n \leq 6,3$ A) a protezione del primario dei TV. Se posizionati a valle di DG e TA di fase, non vi sono vincoli circa la protezione primaria dei TV medesimi. Inoltre, a prescindere dalla posizione della terna di TV:

■ l'intervento di eventuali fusibili primari a protezione dei TV-I per la misura della tensione concatenata determina lo scatto del SPI per intervento della protezione di minima tensione (27);

■ l'intervento di eventuali fusibili primari a protezione dei TV per la misura della tensione residua deve determinare l'apertura del DDI; l'eventuale protezione del secondario dei trasduttori di tensione per la misura delle tensioni di fase e/o concatenate (MCB, fusibili, ecc.) determina lo scatto del SPI per intervento della protezione di minima tensione (27).

La Tabella 2 presenta le possibili regolazioni del sistema di protezione interfaccia

L'eventuale protezione del secondario dei TV-I stella-triangolo aperto per la misura della tensione residua (MCB - Miniature Circuit-Breakers, fusibili, ecc.) deve determinare l'apertura del DDI.

Il collegamento tra la PI e i TV-I, installati sul lato MT per la misura della tensione residua Vo, deve essere realizzato con le seguenti modalità:

■ se la PI e i TV-I risiedono all'interno dello stesso locale/cabina, per la connessione tra i due quadri, è sufficiente utilizzare un cavo bipolare twistato e schermato di sezione adeguata $\geq 1,5$ mm². Se la PI e i TV-I non risiedono nello stesso locale/cabina, quindi con un percorso esterno ai locali, è necessario che il cavo bipolare sia, oltre che twistato e schermato, anche armato, sempre di sezione adeguata ($\geq 1,5$ mm²);

■ nel caso si intenda proteggere il cavo di collegamento tra TV-I e PI da eventuali guasti (cortocircuito) attraverso un apparecchio di protezione (interruttore automatico dotato di contatti ausiliari), l'intervento o l'apertura intenzionale dello stesso deve provocare, tramite un contatto normalmente aperto, lo scatto diretto del DDI (agendo sulla bobina a mancanza di tensione o su un ingresso digitale della PI);

■ come ulteriore possibilità, tale contatto può agire direttamente

sul Dispositivo Generale o indirettamente sullo stesso attraverso la PG.

MISURA DELLE TENSIONI E DELLA FREQUENZA

La misura delle tensioni e della frequenza può essere effettuata mediante una delle modalità riportate nel seguito.

Caso A: 2 TV-I fase-fase in MT o BT e 3 TV-I a triangolo aperto in MT

La frequenza (funzione 81) deve essere necessariamente misurata a partire dalle tensioni concatenate, in quanto non è ammesso misurare la frequenza impiegando TV-I inseriti fase-terra sulla rete MT.

Qualora si utilizzino più misure, lo scatto deve essere previsto:

■ in caso di minima frequenza considerando il valore minore di frequenza misurato;

■ in caso di massima frequenza considerando il valore maggiore di frequenza misurato.

La soluzione per la misura della frequenza è a scelta del costruttore.

La tensione (funzione 27.S1, 27.S2, 59.S1, 59.S2) deve essere misurata a partire dalle 3 tensioni concatenate. Non è ammesso misurare la tensione impiegando TV-I inseriti fase-terra sulla rete MT e lo scatto deve essere previsto:

■ in caso di minima tensione considerando il valore minore di tensione misurato;

■ in caso di massima tensione considerando il valore maggiore di tensione misurato.

La misura delle tensioni al fine di ricavare le tensioni di sequenza diretta (27 Vd) ed inversa (59 Vi) può avvenire, alternativamente, secondo uno dei metodi riportati nel seguito.

A partire dalla terna di tensioni di fase, espressa in funzione di due tensioni concatenate misurate direttamente:

$$V_d = \frac{U_{12} - \alpha^2 U_{23}}{3}$$

(a') tensione di sequenza diretta;

$$V_i = \frac{V_1 + \alpha^2 V_2 + \alpha V_3}{3}$$

(b') tensione di sequenza inversa

A partire dalla terna di tensioni concatenate misurate direttamente:

$$U_d = \frac{U_{12} + \alpha U_{23} + \alpha^2 U_{31}}{3}$$

(c) tensione di sequenza diretta

$$U_i = \frac{U_{12} + \alpha^2 U_{23} + \alpha U_{31}}{3}$$

(d) tensione di sequenza inversa

La misura della tensione residua (funzione 59 Vo, utilizzata sia per lo scatto, con ritardo intenzionale, che come avviamento, per la funzione 81 V), deve avvenire tramite 3 TV-I stella-triangolo aperto ed opportuna resistenza antiferrisonanza.

Caso B: 3 TV-NI fase-terra in MT (divisori capacitivi o resistivi puri, trasduttori di campo elettrico, etc.)

La frequenza (funzioni 81) può essere misurata a partire dalle tensioni di fase prelevate di-

rettamente dai trasduttori voltmetrici, oppure a partire dalle tensioni concatenate calcolate internamente al relè. Qualora si utilizzino più grandezze di misura (almeno una concatenata), lo scatto deve essere previsto:

■ in caso di minima frequenza considerando il valore minore di frequenza misurato;

■ in caso di massima frequenza considerando il valore maggiore di frequenza misurato.

La soluzione per la misura della frequenza è a scelta del costruttore.

La misura delle tensioni per le funzioni 27.S1, 27.S2, 59.S1 e 59.S2 deve avvenire utilizzando le tensioni concatenate e lo scatto deve essere previsto:

■ in caso di minima tensione considerando il valore minore di tensione misurato;

■ in caso di massima tensione considerando il valore maggiore di tensione misurato.

Le tensioni di sequenza diretta (27 Vd) ed inversa (59 Vi) possono essere calcolate a partire dalle tensioni di fase prelevate direttamente dai trasduttori voltmetrici, oppure a partire dalle tensioni concatenate calcolate internamente al relè secondo uno dei metodi riportati nel seguito.

A partire dalla terna di tensioni di fase, espressa in funzione di tre tensioni di fase misurate direttamente:

$$V_d = \frac{V_1 + \alpha V_2 + \alpha^2 V_3}{3}$$

(a) tensione di sequenza diretta;

$$V_i = \frac{V_1 + \alpha^2 V_2 + \alpha V_3}{3}$$

(b) tensione di sequenza inversa

A partire dalla terna di tensioni concatenate calcolate:

$$U_d = \frac{U_{12} + \alpha U_{23} + \alpha^2 U_{31}}{3}$$

(c) tensione di sequenza diretta

$$U_i = \frac{U_{12} + \alpha^2 U_{23} + \alpha U_{31}}{3}$$

(d) tensione di sequenza inversa

La misura della tensione residua (funzione 59 Vo, utilizzata sia per lo scatto, con ritardo intenzionale, che come avviamento, per la funzione 81 V), deve avvenire ricostruendo la stessa all'interno della PI a partire dalle 3 tensioni di fase.

Caso C: misura diretta delle tensioni concatenate in BT e 3 TV-NI fase-terra o 3 TV-I stella-triangolo aperto in MT per misura di tensione residua

La frequenza (funzioni 81) deve essere misurata a partire dalle tensioni BT concatenate.

Qualora si utilizzino più grandezze di misura (almeno una concatenata), lo scatto deve essere previsto:

■ in caso di minima frequenza considerando il valore minore di frequenza misurato;

■ in caso di massima frequenza considerando il valore maggiore di frequenza misurato.

La soluzione per la misura della frequenza è a scelta del costruttore.

La misura delle tensioni per le funzioni 27.S1, 27.S2, 59.S1 e 59.S2 deve avvenire utilizzando le tensioni concatenate e lo scatto deve essere previsto:

■ in caso di minima tensione considerando il valore minore di tensione misurato;

■ in caso di massima tensione considerando il valore maggiore di tensione misurato.

La misura delle tensioni al fine di ricavare le tensioni di sequenza diretta (27 Vd) ed inversa (59 Vi) può avvenire secondo uno dei metodi riportati nel seguito.

A partire dalla terna di tensioni di fase, espressa in funzione di due tensioni concatenate misurate direttamente:

$$V_d = \frac{U_{12} - \alpha^2 U_{23}}{3}$$

(a") tensione di sequenza diretta;

$$V_i = \frac{U_{12} - \alpha U_{23}}{3}$$

(b') tensione di sequenza inversa

■ A partire dalla terna di tensioni concatenate misurate direttamente:

$$U_d = \frac{U_{12} + \alpha U_{23} + \alpha^2 U_{31}}{3}$$

(c) tensione di sequenza diretta

$$U_i = \frac{U_{12} + \alpha^2 U_{23} + \alpha U_{31}}{3}$$

(d) tensione di sequenza inversa

La misura della tensione residua (funzione 59 Vo, utilizzata sia per lo scatto, con ritardo intenzionale, che come avviamento, per la fun-

zione 81 V), deve avvenire direttamente tramite 3 TV induttivi stella-triangolo aperto ed opportuna resistenza antiferrisonanza, oppure ricostruendo la stessa all'interno della PI nel caso si faccia uso di trasduttori voltmetrici fase-terra.

La tensione residua deve essere derivata sulla media tensione; essa deve avere in ingresso la tensione residua MT ricavata da una terna di TV collegati tra le fasi MT e la terra con un secondario dedicato allo scopo, oppure facendo uso di TV-NI (con ricostruzione delle tensione residua all'interno del relè) posti a monte del DDI sulla rete MT.

In relazione alle caratteristiche della protezione si può ricorrere ad una delle seguenti alternative:

■ tensione ai capi dei secondari dei TV collegati a triangolo aperto;

■ tre tensioni secondarie (nel caso in cui la protezione ricavi la tensione residua dalle tre tensioni di fase).

I TV devono avere rapporto di trasformazione tale da fornire, in caso di guasto franco monofase a terra, al massimo la tensione nominale all'ingresso delle rispettive protezioni.

CONSIDERAZIONI FINALI

La stesura della terza edizione della norma CEI 0-16 è avvenuta in tempi rapidi in quanto occorreva un documento che fornisse il necessario inquadramento normativo principalmente a quanto contenuto nell'Allegato A.70 del Codice di Rete di Terna.

Questa attività ha comportato un notevole sforzo da parte del CEI che, se da un lato ha permesso di raggiungere l'obiettivo di disporre della norma nei tempi richiesti, dall'altro non ha permesso forse di verificare sufficientemente tale documento, il quale contiene ancora un certo numero di imprecisioni e punti di non facile interpretazione.

La norma è quindi attualmente in fase di revisione, soprattutto per quanto riguarda gli allegati che maggiormente fanno riferimento agli aspetti applicativi.

E' quindi auspicabile che il contributo congiunto dei vari attori coinvolti all'interno del Comitato Tecnico di riferimento (produttori, distributori, laboratori, ecc.) possa portare entro tempi accettabili all'emissione di un nuovo testo emendato da errori e frutto del contributo congiunto di tutte le parti.