

Norma impianti di terra in AT

SCOPO DELLA NORMA

Definire i limiti per le tensioni di contatto e di passo e di fornire prescrizioni per la progettazione, la costruzione, la verifica e la manutenzione di sistemi di messa a terra di impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a., al fine di garantire la sicurezza delle persone e l'integrità dei componenti collegati e in prossimità degli impianti di terra.



Norma impianti di terra in AT

CAMPO DI APPLICAZIONE

Si applica ai seguenti impianti elettrici:

- Stazione elettrica (cabina elettrica), incluse quelle per l'alimentazione delle ferrovie;
- Impianti elettrici su montanti, pali e tralicci.
Apparecchiature e/o trasformatori situati al di fuori di aree elettriche chiuse;
- Uno o più impianti (i) in un unico sito.
L'impianto comprende generatori e unità di trasformazione, con tutte le apparecchiature associate e tutti i sistemi elettrici ausiliari. Sono esclusi i collegamenti tra impianti di generazione ubicati in siti diversi;
- L'impianto elettrico di una fabbrica, di uno stabilimento industriale o di altri fabbricati industriali, agricoli, commerciali o di pubblici servizi.



Norma impianti di terra in AT

PRINCIPALI VARIANTI e/o AGGIUNTE RISPETTO ALLA NORMA CEI 11-1

- Metodo per la determinazione delle tensioni di contatto ammissibili (U_{TP}), in funzione della durata del guasto (t_F);
- Tensioni di passo ammissibili;
- Correnti di guasto e tempo di permanenza del guasto, da considerare con riferimento alle sollecitazioni termiche dei dispersori e dei conduttori;
- Durata del guasto a terra ai fini della determinazione della tensione di contatto ammissibile (U_{TP});
- Dimensionamento dell'impianto di terra in relazione alle tensioni di contatto ammissibili;

segue →



Norma impianti di terra in AT

PRINCIPALI VARIANTI e/o AGGIUNTE RISPETTO ALLA NORMA CEI 11-1

- Requisiti per la connessione degli impianti BT a quelli AT ai fini della tenuta dei componenti (collegamento a terra del neutro BT);
- Impianto di terra dei posti di trasformazione e/o di sezionamento su palo;
- Impianto di terra globale;
- Misura delle tensioni di contatto;
- Verifiche periodiche.



Norma impianti di terra in AT

PRINCIPALI DEFINIZIONI

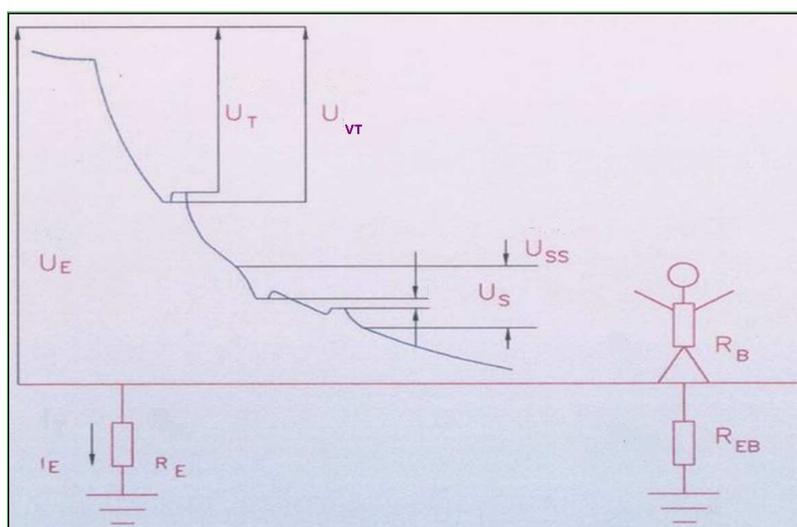
- **tensione totale di terra (EPR), U_E (punto 3.4.12):** “tensione tra un impianto di terra e la terra di riferimento”;
- **tensione di contatto (effettiva), U_T (punto 3.4.14):** “tensione tra le parti conduttrici quando vengono toccate simultaneamente”
 “NOTA Il valore della tensione di contatto effettiva può essere influenzata apprezzabilmente dall'impedenza della persona o dell'animale che viene in contatto con dette parti conduttrici.”;
- **tensione di contatto a vuoto U_{VT} (punto 3.2.15):** “tensione tra parti conduttrici accessibili simultaneamente quando non vengono toccate”;
- **tensione di passo, U_S (punto 3.4.16):** “tensione tra due punti della superficie del terreno a distanza di 1 m tra loro, distanza che si assume come lunghezza del passo d'una persona”;

segue



Norma impianti di terra in AT

TENSIONE DI CONTATTO E DI PASSO



Norma impianti di terra in AT

PRINCIPALI DEFINIZIONI

- **corrente di guasto a terra, I_F (punto 3.4.28):** "corrente che fluisce dal circuito principale verso terra, o verso parti collegate a terra, nel punto di guasto (punto di guasto a terra)..."

Per reti a:

- neutro isolato: la corrente capacitiva di guasto verso terra
- neutro con messa a terra risonante: la corrente residua di guasto a terra.

- **corrente di terra, I_E (punto 3.4.29):** "corrente che fluisce verso terra tramite l'impedenza collegata a terra"

La corrente di terra è la parte della corrente di guasto a terra (I_F) che determina la tensione totale di terra (U_E).

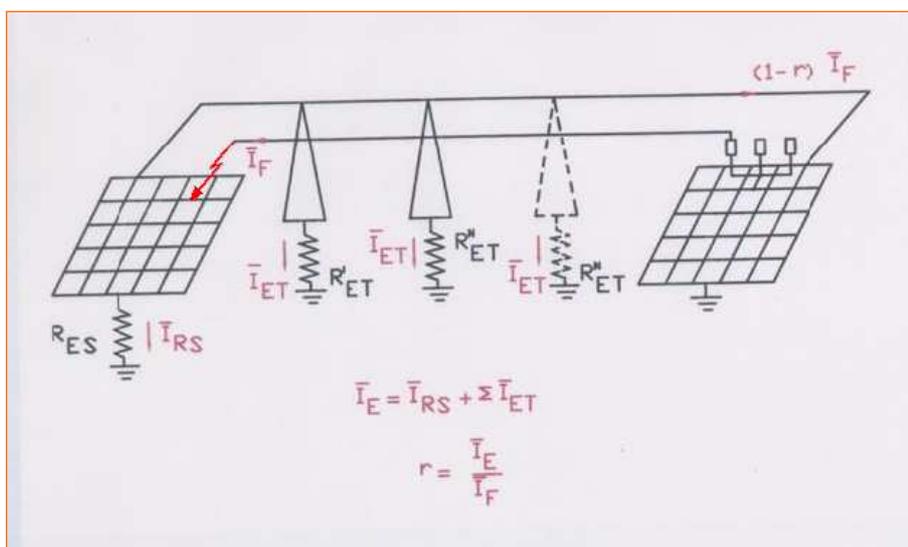
- **fattore di riduzione, r (punto 3.2.30):** "il fattore di riduzione r di una linea è il rapporto tra la corrente di terra e la somma delle correnti di sequenza zero nei conduttori di fase del circuito principale ($r=I_E/3I_0$), in un punto lontano dal cortocircuito e dall'impianto di terra di un impianto elettrico"



segue

Norma impianti di terra in AT

ESEMPIO DELLE CORRENTI E DELLE RESISTENZE PER GUASTO A TERRA IN UN SISTEMA AT



segue

Norma impianti di terra in AT

PRINCIPALI DEFINIZIONI

- **impianto di terra globale (punto 3.4.19):** “Impianto di terra realizzato con l’interconnessione di più impianti singoli che assicura, data la vicinanza degli impianti stessi, l’assenza di tensioni di contatto pericolose”

“NOTA 1: Tali impianti permettono la ripartizione della corrente di terra in modo da ridurre l’aumento di potenziale di terra negli impianti di terra singoli. Si può ritenere che un tale impianto forma una superficie quasi-equipotenziale.”

“NOTA 2: L’esistenza di un impianto di terra globale può essere determinato con misure a campione o con sistemi tipici di calcolo. Esempi tipici di impianti di terra globali si trovano nei centri città, in aree urbane o industriali con diffusi impianti di terra di bassa e alta tensione (vedi Allegato O).”

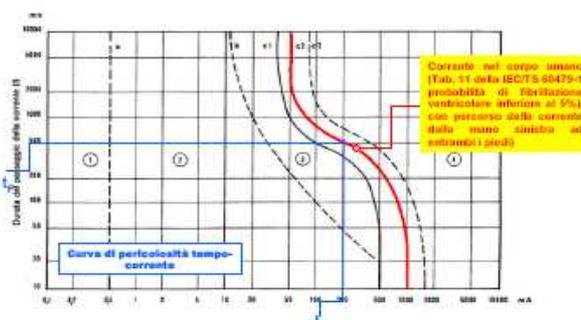


Norma impianti di terra in AT

Costruzione della nuova curva di sicurezza

Ipotesi considerate:

- percorso della corrente da una mano ai piedi;
- 50% di probabilità che il valore dell’impedenza del corpo umano non venga superata;
- <5% di probabilità di fibrillazione ventricolare



Zone tempo/corrente convenzionali degli effetti delle correnti alternate (da 15 Hz a 100 Hz) sulle persone, per un percorso di corrente mano sinistra-piedi



Norma impianti di terra in AT

Costruzione della nuova curva di sicurezza

Tensione di contatto (UT) (V)	Impedenza del corpo umano Z_E (Ω)		Tensione di contatto (UT) (V)	Impedenza del corpo umano Z_E (Ω)	
	Norme CEI 11-1	CEI EN 50522		Norme CEI 11-1	CEI EN 50522
25	3250	3250	200		1275
59	2625	2500	220	1350	
75	2200	2000	225		1225
100	1875	1725	400		950
125	1625	1550	500		850
150		1400	700		775
175		1325	1000		775

Comparazione dei valori della impedenza del corpo umano tra la Norma CEI 11-1 e la CEI EN 50522



Norma impianti di terra in AT

Costruzione della nuova curva di sicurezza

Metodo di calcolo delle tensioni di contatto ammissibili

$$U_{TP} = I_B(t_F) * \frac{1}{HF} * Z_T(U_T) * BF$$

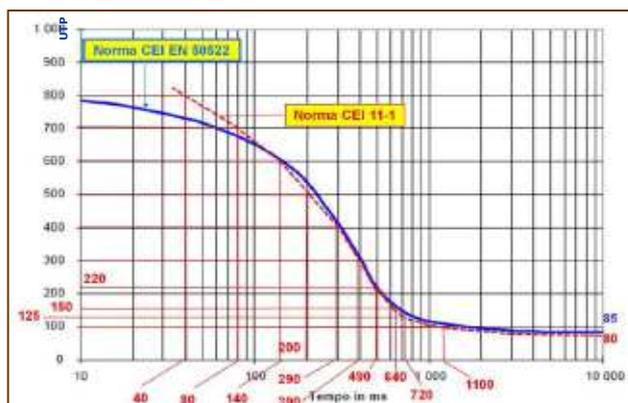
Dove: Fattore cardiaco (HF) è pari a: -1 per contatto mano sinistra e piedi
 - 0,8 per contatto mano destra e piedi
 - 0,4 per contatto mano e mano

Fattore corporeo (BF) è pari a: - 0,75 per contatto mano a entrambi i piedi
 - 0,5 per contatto per entrambe le mani ai piedi



Norma impianti di terra in AT

Tensione di contatto ammissibile (U_{TP}) in funzione del tempo di permanenza del guasto (t_F): comparazione tra le Norme CEI 11-1 e la CEI EN 50522



Norma impianti di terra in AT

Tensione di passo ammissibile

La Norma CEI EN 50522 al punto 4.3 Criteri di sicurezza, riporta:
“E’ regola generale che, osservando le prescrizioni per la tensione di contatto vengano soddisfatte le prescrizioni per le tensioni passo, perché i limiti delle tensioni di passo sono maggiori di quelli di contatto a causa del diverso percorso della corrente attraverso il corpo.”

Le Norme CEI al punto 9.9 Verifica degli impianti di terra, riporta:
“Note 2 Per i valori delle tensioni di passo, si può assumere 3 volte il valore delle tensioni massime ammissibili di contatto riportate nella presente Norma.”



Norma impianti di terra in AT

Durata del guasto ai fini della determinazione della tensione di contatto massima ammissibile (U_{TP})

La Norma CEI EN 50522 non fa alcun riferimento sulla determinazione della durata del guasto. A terzo capoverso del punto 5.4.1 Valori ammissibili:

“Tutti i guasti a terra devono essere sconnessi automaticamente o manualmente. Per questo motivo, a seguito ai guasti a terra non si manifestano tensioni di contatto di durata molto lunga o infinita.”

Le Norme CEI al punto 9.2.4.1 Valori ammissibili:

“Nota Se non vi è il dispositivo di richiusura automatica, il tempo di eliminazione del guasto è il tempo che intercorre tra l’inizio del guasto a terra e l’interruzione della corrente di guasto.

Se sono installati dispositivi di richiusura automatica, il tempo di eliminazione del guasto a terra è la somma dei tempi di permanenza della corrente di guasto durante un ciclo di richiusura (O-C-O) (purchè la durata del guasto non sia superiore a 5 s).

Se vi sono dispositivi che effettuano successive richiusure automatiche, agli effetti della determinazione del tempo di eliminazione del guasto a terra, gli eventuali guasti successivi devono essere considerati come indipendenti dal primo.”



Norma impianti di terra in AT

Prescrizioni da considerare per la progettazione di un impianto di terra



- ✚ avere sufficienti resistenza meccanica e alla corrosione;
- ✚ essere in grado di sopportare, da un punto di vista termico, le piu' elevate correnti di guasto prevedibili;
- ✚ evitare danni a componenti elettrici ed a beni;
- ✚ garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni che si manifestano sugli impianti di terra per effetto delle correnti di guasto a terra



Norma impianti di terra in AT

Parametri da considerare per il dimensionamento



- ✚ valore della corrente di guasto a terra;
- ✚ durata del guasto a terra;
- ✚ caratteristiche del suolo (resistività).

Dimensionamento con riferimento al comportamento termico dei dispersori e dei conduttori



- ✚ corrente di guasto da considerare per sistemi a neutro isolato e con messa a terra risonante: corrente di doppio guasto monofase a terra (I_{kEE}^{II});
- ✚ durata del guasto a terra: tempo di intervento delle protezioni di ricalzo.

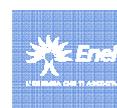


Norma impianti di terra in AT

Dimensionamento con riferimento al comportamento termico dei dispersori e dei conduttori

CONDUTTORE TIPO	SEZIONI MINIME [mm ²] IN FUNZIONE DI t _F		
	120 ms	240 ms	500 ms
ACCIAIO ZINCATO	45,5	66,6	109
RAME STAGNATO	24,4	34,5	50
RAME NUDO	17,2	25,6	35,7

I VALORI DI CUI SOPRA SONO RIFERITI AD UNA CORRENTE DI CORTO CIRCUITO DI 10 kA



Norma impianti di terra in AT

Dimensionamento con riferimento alla corrosione e alle sollecitazioni meccaniche

Sezione minime dei conduttori di terra ed equipotenziali:

TIPO DI CONDUTTORE	SEZIONE MINIMA [mm ²]
Rame	16
Alluminio	35
Acciaio	50
Rame per m.a.t. TA e TV	2,5 se protetto mecc.
	4 se non protetto mecc.

segue



Norma impianti di terra in AT

Dimensioni minime dei dispersori in funzione del tipo di materiale

Materiale	Tipo di dispersore	Dimensione minima				Rivestimento/guaina	
		Diametro [mm]	Sezione trasversale [mm ²]	Spessore [mm]	Valori singoli [µm]	Valori medi [µm]	
Acciaio	zincato a caldo	Piattina ⁽²⁾		90	3	63	70
		Profilato (inclusi i piatti)		90	3	63	70
		Tubo	25		2	47	55
		Barra tonda per picchetto	16			63	70
	Tondo per dispersore orizzontale	10				50	
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Tondo per dispersore orizzontale	8			1000	
	con guaina di rame estrusa	Barra tonda per picchetto	15			2000	
con guaina di rame elettrolitico	Barra tonda per picchetto	14.02			90	100	
Rame	nudo	Piattina		50	2		
		Tondo per dispersore orizzontale		25 ⁽³⁾			
		Corda	1,8 ⁽¹⁾	25			
		Tubo	20		2		
	stagnato	Corda	1,8 ⁽¹⁾	25		1	5
	zincato	Piattina		50	2	20	40
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Corda	1,8 ⁽¹⁾	25		1000	
	Filo tondo		25		1000		

⁽¹⁾ per cavetti singoli

⁽¹⁾ non idoneo per posa diretta in calcestruzzo

⁽²⁾ piattina, arrotondatao tagliata con angoli arrotondati

⁽³⁾ in condizioni eccezionali, dove l'esperienzamosta che il rischio di corrosione e di



Norma impianti di terra in AT

Dimensionamento con riferimento alle tensioni di contatto

Correnti di guasto a terra da considerare:

- neutro isolato: $I_E = r \times I_C$;
- neutro con messa a terra risonante: $I_E = r \times I_{RES}$

Condizioni per soddisfare le condizioni relative alle tensioni di contatto ammissibili; è necessario che sia soddisfatta una delle seguenti condizioni:

- : l'impianto di terra considerato diventa parte di un impianto di terra globale;
- : tensione totale di terra $U_E \leq 2 \times U_{TP}$.

Altrimenti: provvedimenti M oppure misure in sito

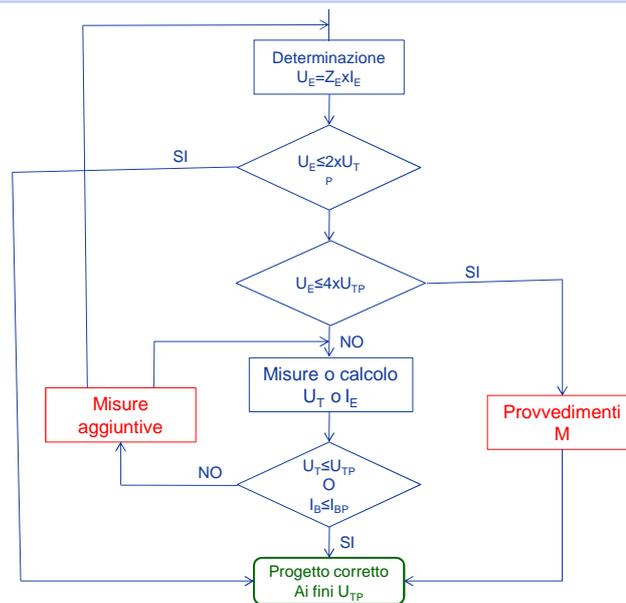
I potenziali trasferiti devono essere sempre verificati



segue

Norma impianti di terra in AT

Dimensionamento con riferimento alle tensioni di contatto: diagramma di flusso per il progetto dell'impianto di terra



Norma impianti di terra in AT

Provvedimenti per evitare potenziali trasferiti

- **Alimentazione BT completamente all'interno di cabine AT:** gli impianti di terra AT e BT devono essere interconnessi;
- **Alimentazioni in BT uscenti o entranti in cabine AT:** se non si è in presenza di un impianto di terra globale, occorre rispettare i requisiti minimi riportati nella Tabella 2 della Norma CEI;
- **Impianti di terra BT nell'area d'influenza dell'impianto di terra di una cabina AT:** occorre fare delle specifiche valutazioni.



segue

Norma impianti di terra in AT

Provvedimenti per evitare potenziali trasferiti

Tipo di sistema BT		Requisiti della tensione di terra U_E		
		Tensione di contatto (V)	Tensione di tenuta (V) ⁽¹⁾	
			durata guasto $t \leq 5$ s	durata guasto $t > 5$ s
TT		non applicabile		
TN		$U_E \leq F \cdot U_{TP}$ ⁽²⁾	$U_E \leq 1200$	$U_E \leq 250$
IT	conduttore di terra di protezione distribuito			
	conduttore di terra di protezione non distribuito	non applicabile		

⁽¹⁾: Se sono installate apparecchiature appropriate, il limite può essere aumentato o la U_E può essere sostituita da differenze di potenziale basati su misure calcoli

⁽²⁾: Se il PEN o il conduttore di neutro da bassa tensione è connesso al solo impianto di terra AT, il valore di F è 1.

NOTA Il valore tipico del valore F è 2. Possono essere applicati valori di F maggiori, quando il conduttore PEN presenta connessioni addizionali a terra. Per certe conformazioni del suolo, il valore di F può arrivare fino a 5. Sono necessarie precauzioni quando questa regola viene applicata a un suolo con alta resistività contrapposto alla sommità dello strato che ha maggiore resistività. la tensione di contatto, in questo caso, può superare del 50% la U_E .

Tabella 2 – Norma CEI EN 50522: 2011-07



Norma impianti di terra in AT

Posti di trasformazione e/o di sezionamento su palo

➤ i **trasformatori MT/BT** devono essere messi a terra, in particolare se sul palo è installato il solo trasformatore, occorre realizzare un impianto di terra semplice “(ad esempio un picchetto, un dispersore ad anello o la stessa base del palo, se metallico) soddisfa le prescrizioni per la messa a terra del trasformatore.”



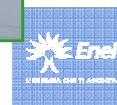
Norma impianti di terra in AT

Posti di trasformazione e/o di sezionamento su palo

➤ le **apparecchiature di manovra e sezionamento** montate su pali in acciaio od in altro materiale conduttore o in cemento armato devono essere collegate a terra.

Sull'area del posto di manovra devono essere soddisfatti i valori delle tensioni di contatto ammissibile (U_{TP}), ciò può essere soddisfatto ad es. da una delle seguenti condizioni:

- progetto impianto di terra
- collegamento equipotenziale per mezzo di un tappetino di terra
- isolamento del posto di manovra
- uso di apparecchiature isolanti (ad. attrezzi isolanti, guanti o tappetini) quando vengono eseguite le manovre



Installazione dei cavi MT interrati

Funzioni dello schermo metallico dei cavi MT

- ✓ ricondurre al potenziale di terra la parte esterna del cavo, al fine sia del corretto funzionamento del cavo stesso che della sicurezza delle persone;
- ✓ contenere il campo elettrico all'interno del cavo;
- ✓ condurre la corrente capacitiva;
- ✓ condurre la corrente di guasto a terra del sistema elettrico.



29

INSTALLAZIONE DEI CAVI MT INTERRATI

Messa a terra dello schermo metallico dei cavi MT

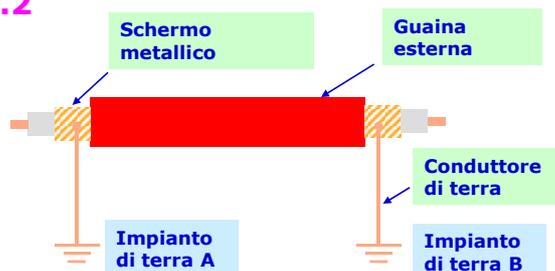
Norma CEI 11-17 punto 5.3.2

"Tutti i rivestimenti metallici dei cavi devono essere messi a terra almeno alle estremità di ogni collegamento, per collegamenti di grande lunghezza è pure raccomandabile la messa a terra del rivestimento metallico in corrispondenza dei giunti a distanze non superiori ai 5 km.

Per collegamenti corti, in genere non superiori al km, è pure consentita la messa a terra del rivestimento metallico in un sol punto purché vengano adottate le seguenti precauzioni:

- in corrispondenza delle terminazioni e delle interruzioni dei rivestimenti metallici, se accessibili, devono essere applicate opportune protezioni atte ad evitare tensioni di contatto superiori ai valori ammessi dalla Norma CEI 11-1; in caso di lavori valgono le precauzioni di cui al successivo 5.3.3;
- la guaina non metallica di protezione del cavo deve essere in grado di sopportare la massima tensione totale di terra dell'impianto di terra al quale il rivestimento metallico è collegato.

NOTA Un esempio di messa a terra in un sol punto si verifica quando i rivestimenti metallici dei cavi di media tensione devono essere interrotti, per es. al fine di evitare il trasferimento di tensioni di terra."



30

Installazione dei cavi MT interrati

► Messa a terra dello schermo metallico dei cavi MT

Norma CEI 0-16, punto 8.5.5 Impianto di terra sotteso all'impianto di consegna

“... Nelle connessioni realizzate in cavo con almeno 3 (tre) cabine utente/cabine secondarie i cui schermi risultino collegati tra di loro, il Distributore deve collegare gli schermi dei cavi all'impianto di terra della cabina Utente, salvo diversa e motivata comunicazione del Distributore stesso.

A tale impianto devono essere collegate anche le masse delle apparecchiature funzionalmente di pertinenza del Distributore.

A tale scopo nel locale adibito all'impianto di rete per la consegna deve essere previsto un apposito morsetto per il collegamento delle masse delle apparecchiature del Distributore....”



Installazione dei cavi MT interrati

► Messa a terra dello schermo metallico dei cavi MT

Norma CEI 11-17, punto 4.2.3 Dimensionamento degli schermi, delle guaine e delle armature metalliche

Condizioni da considerare:

- ✓ la corrente di corto circuito da considerare è quella di tipo doppio monofase a terra, pari all'85% della corrente iniziale simmetrica di corto circuito trifase;
- ✓ per durate del guasto inferiori/uguali a 5 secondi il fenomeno è da considerarsi del tipo adiabatico;
- ✓ cavo funzionante alle condizioni nominali.

Determinazione della sezione degli schermi (sovracorrente praticamente costante):

$$S \geq \sqrt{\frac{I^2 t}{K^2}}$$

- dove: - I: corrente di corto circuito doppio monofase a terra;
 - t: tempo di permanenza del guasto a terra;
 - K: coefficiente che dipende dalle caratteristiche del cavo.



Installazione dei cavi MT interrati

► Messa a terra dello schermo metallico dei cavi MT

Norma CEI 11-17, punto 4.2.3 Dimensionamento degli schermi, delle guaine e delle armature metalliche

Esempio di determinazione della corrente di guasto ammissibile:

Condizioni considerate:

- cavo tipo RG7H1E 12/20 kV;
- schermo in rame, sezione 16 mm²;
- temperatura del conduttore: 90 °C;
- temperatura finale di corto circuito: 250 °C;
- tempo di permanenza del guasto: 120 ms;
- coefficiente K: 149.

$$I = \sqrt{\frac{(K^2 s^2)}{t}} \quad \Rightarrow \quad I = \sqrt{\frac{(149^2 \times 16^2)}{0,12}} = 6882 \text{ A}$$



Norma impianti di terra in AT

Impianto di terra globale

- Sono "intrinsecamente sicuri"
- Non si misurano resistenze di terra e tensioni di contatto e passo
- Le verifiche consistono al solo controllo dell'efficienza delle connessioni (non di continuità)
- Esclusivamente negli impianti di terra esposti a corrosione: controllare in particolare le giunzioni

CONDIZIONI NECESSARIE:

- Impianti di terra interconnessi elettricamente
- Alta densità di cabine
- Assenza di tensioni di contatto pericolose

L'impianto di terra globale non è piu' "limitata alle reti di trasmissione e di distribuzione del distributore pubblico,", (vedasi punto 2.7.14.5 della Norma CEI 11-1).



Norma impianti di terra in AT

Misura delle tensioni di contatto

Per la misura delle tensioni di contatto, nel caso in cui non vengano considerate le resistenze aggiuntive, la Norma CEI 11-1, prevedeva che anziché utilizzare un elettrodo si poteva utilizzare una sonda infissa nel terreno.

La Norma CEI EN 50522, precisa che tale sonda deve essere inserita nel terreno per almeno 20 cm.

Verifiche periodiche

La Norma CEI EN 50522, non fa alcun riferimento alla periodicità delle verifiche previste per soddisfare al rispetto della regola dell'arte.

