

CAPITOLO VI

CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE

1. Generalità

Dopo aver esaminato separatamente i vari componenti degli impianti elettrici di media e bassa tensione (linee elettriche, apparecchi di manovra, relè, sistemi di protezione) si affronta lo studio delle cabine elettriche di trasformazione, dove tutti i suddetti componenti sono presenti.

Viene innanzitutto fornita la definizione di cabina elettrica di trasformazione; si passa poi ad illustrarne i vari tipi.

Dai suddetti argomenti scaturiscono anche i quadri elettrici di bassa tensione e gli impianti di terra, per cui il capitolo passa brevemente in rassegna anche i suddetti componenti.

2. Definizione di cabina elettrica di trasformazione

Normalmente le cabine elettriche sono destinate ad una o più delle seguenti funzioni: trasformazione, conversione, regolazione, smistamento dell'energia elettrica. Ci si sofferma solo sulle cabine elettriche di trasformazione, la cui funzione è quella di permettere normalmente il passaggio dalla media alla bassa tensione.

La cabina elettrica di trasformazione è riportata nella figura VI.1.

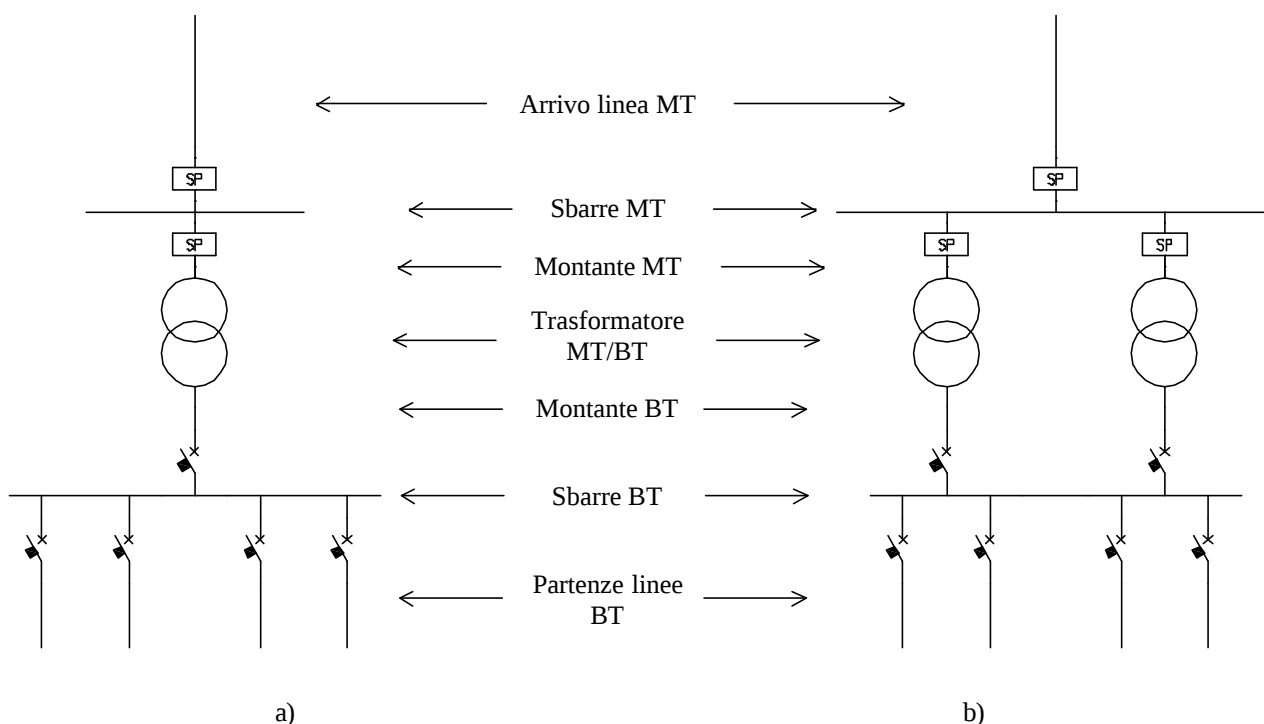


Figura VI.1 Schema elettrico di una cabina elettrica di trasformazione a) con un trasformatore b) con due trasformatori

Nella Figura VI.1 i principali componenti sono:

- arrivo linea in MT
- sbarre MT
- montanti MT

- trasformatori
- montanti BT
- sbarre BT
- partenze linee in BT.

Relativamente alla BT, i montanti con i relativi sistemi di protezione, le sbarre, le partenze linee con i relativi sistemi di protezione prendono posto in un unico involucro denominato nel caso particolare “quadro elettrico generale di bassa tensione (QGBT)”, e nel caso più generale quadro elettrico di bassa tensione.

Nel seguito, nel paragrafo 4, si analizzeranno in modo più specifico i quadri elettrici di bassa tensione.

3. Tipi di cabina elettrica di trasformazione

Nel caso in cui l'ente distributore consegna all'utilizzatore l'energia elettrica in BT o con una linea tripolare più neutro o una linea monofase costituita da una fase e dal neutro, generalmente in cavo (si ricorda che il neutro è a terra perché in BT), l'ente distributore stesso si trova a dover gestire una propria cabina di trasformazione¹, detta cabina del distributore, e l'utilizzatore il proprio impianto elettrico in bassa tensione (fig. VI.2).

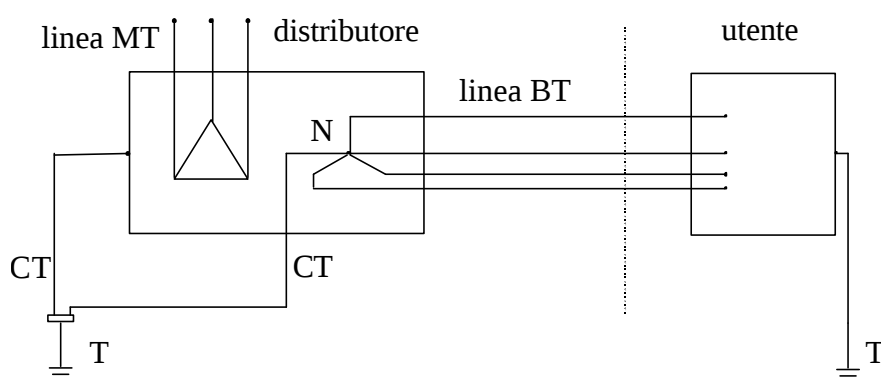


Fig. VI.2 Consegna dell'energia elettrica in BT: cabina del distributore e impianto elettrico in bassa tensione dell'utilizzatore di tipo TT.

Nel caso in cui l'ente distributore consegna all'utilizzatore l'energia elettrica in MT, con una linea tripolare, generalmente in cavo (si ricorda che il neutro è isolato o a terra tramite una induttanza perché in MT), l'utilizzatore si trova a dover gestire una propria cabina di trasformazione, detta cabina di utilizzatore, e un proprio impianto elettrico in bassa tensione (fig. VI.3).

¹ La norma CEI 11-1, n.5025 precisa che per stazione elettrica (o cabina elettrica) si intende un'area elettrica chiusa con apparecchiature e/o trasformatori in reti di trasmissione o di distribuzione.

Con il termine stazione elettrica si comprendono anche le cabine elettriche MT/BT.

Per cabina elettrica si intende un'area elettrica chiusa connessa soltanto a sistemi di I e II categoria.

Le stazioni elettriche di trasformazione AT/MT sono comunemente denominate anche “Cabine Primarie”.

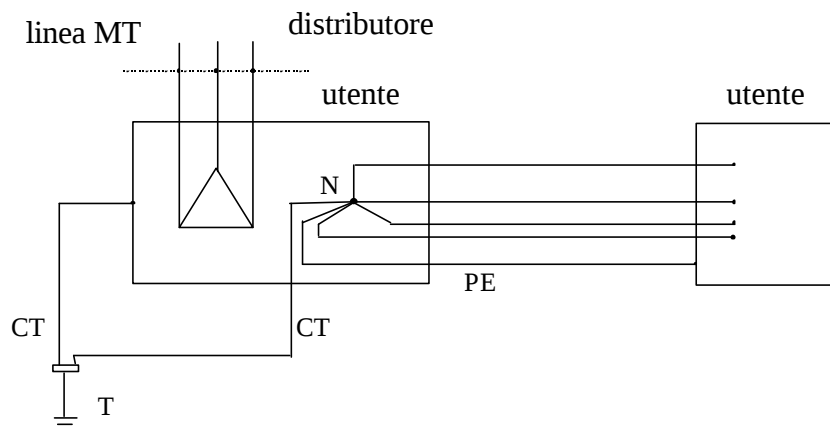


Fig. VI.3 Consegna dell'energia elettrica in MT: cabina dell'utilizzatore e impianto elettrico in bassa tensione sempre dell'utilizzatore di tipo TN-S.

Nel caso in cui l'ente distributore consegna all'utilizzatore l'energia elettrica in BT si pone il problema della messa a terra delle masse, sia lato MT sia lato BT, del neutro lato BT da parte dell'ente distributore e della messa a terra delle masse dell'impianto elettrico in bassa tensione da parte dell'utilizzatore: risulta pertanto necessaria l'esecuzione dell'impianto di terra di cabina da parte dell'ente distributore e dell'impianto di terra dell'impianto elettrico in bassa tensione da parte dell'utilizzatore (fig. VI.2), per cui l'impianto elettrico in bassa tensione dell'utilizzatore è del tipo TT.

Nel caso in cui l'ente distributore consegna all'utilizzatore l'energia elettrica in MT, si pone il problema della messa a terra delle masse, sia lato MT sia lato BT, del neutro lato BT da parte dell'utilizzatore e della messa a terra delle masse dell'impianto elettrico in bassa tensione sempre da parte dell'utilizzatore: risulta pertanto necessaria l'esecuzione di un impianto di terra unico da parte dell'utilizzatore, a servizio della cabina e dell'impianto elettrico in bassa tensione (fig. VI.3), per cui l'impianto elettrico in bassa tensione dell'utilizzatore è del tipo TN-S.

Nel seguito, nel paragrafo 5, si analizzeranno in modo più specifico gli impianti di terra.

4. Quadri elettrici di bassa tensione

In precedenza è stato introdotto il quadro generale di bassa tensione, in generale si parla di quadri elettrici di bassa tensione, denominati per brevità quadri elettrici.

Al fine di migliorare la sicurezza e l'affidabilità, le norme spingono verso una maggiore industrializzazione del componente quadro elettrico, inteso come insieme di carpenteria, interruttori, barre/cavi, ecc. Pertanto un quadro elettrico è da considerare un componente dell'impianto alla stregua di un cavo.

Un quadro elettrico deve essere conforme alle norme CEI 17-13 oppure alla norma sperimentale CEI 23-51 per i quadri ad uso domestico e similare (nel termine "similare" rientra ad esempio la piccola industria, il terziario ed in particolare gli uffici).

Per individuare il campo di applicazione delle due norme occorre innanzitutto definire la corrente nominale del quadro I_{nq} .

La corrente nominale del quadro I_{nq} è il valore più basso tra la corrente nominale in entrata I_{ne} e la corrente nominale in uscita I_{nu} .

Per corrente nominale in entrata I_{ne} del quadro si intende l'85 % della corrente nominale del sistema di protezione e/o dell'apparecchio di manovra di ingresso del quadro.

La corrente nominale in uscita I_{nu} del quadro è la somma delle correnti nominali di tutti i sistemi di protezione in uscita destinati ad essere utilizzati contemporaneamente. Se, come spesso

accade, non è noto a priori quali circuiti siano destinati ad essere utilizzati in modo contemporaneo, quale corrente in uscita I_{nu} si considera la somma delle correnti nominali di tutti i sistemi di protezione in uscita.

Nella fig. VI.4 sono indicate, a titolo d'esempio, le correnti nominali I_{ne} , I_{nu} e I_{nq} di tre quadri. Come si può notare, nel primo quadro la I_{nq} coincide con I_{ne} , mentre nel secondo e nel terzo quadro la I_{nq} coincide con I_{nu} .

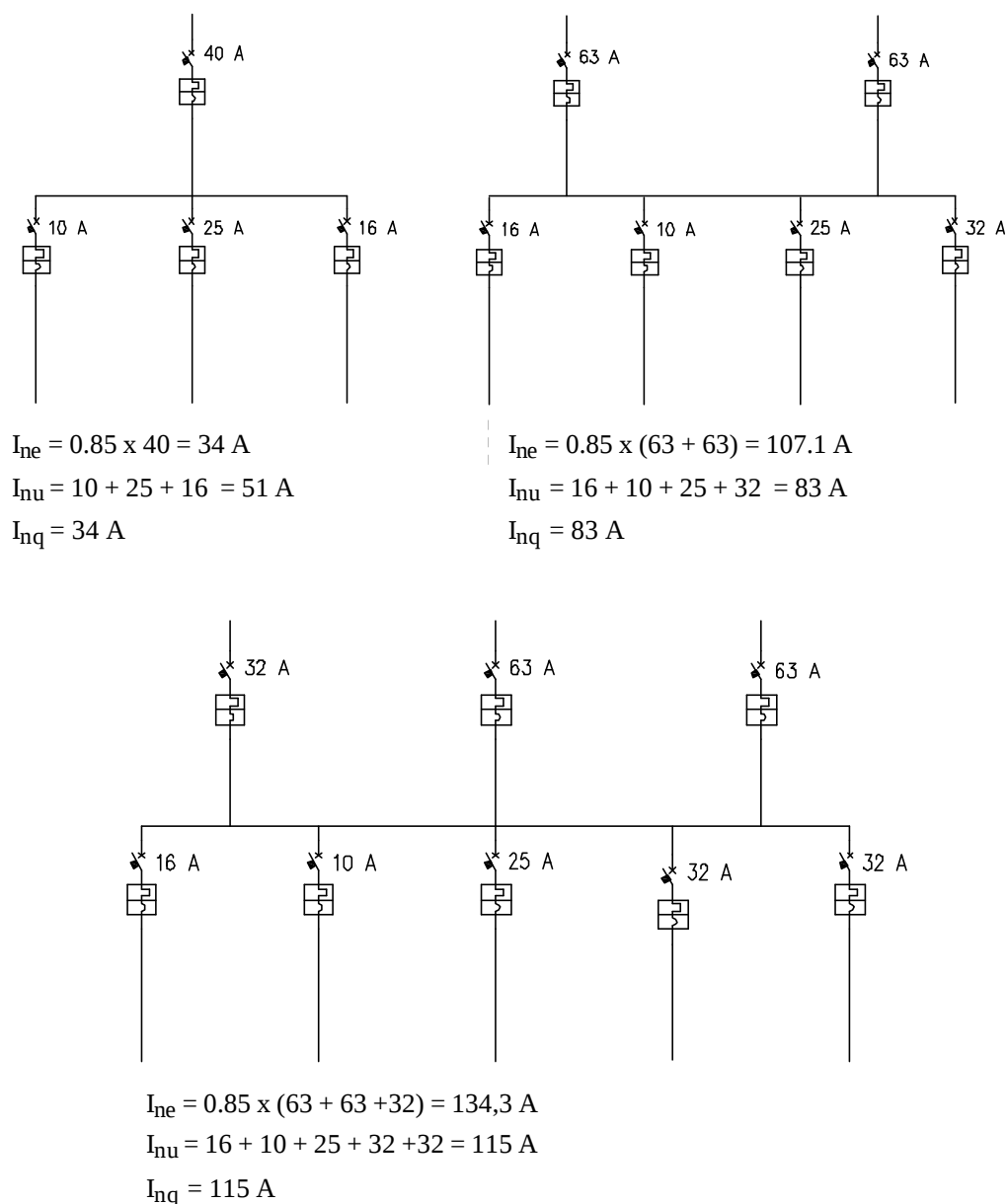


Fig VI.4 - Esempi di individuazione delle correnti nominali I_{ne} , I_{nu} e I_{nq} di un quadro.

Agli involucri (vuoti) dei quadri fissi per uso domestico e similare si applica la norma sperimentale CEI 23-49. Sulla base di questa norma, il costruttore dell'involucro può stabilire qual'è la potenza massima dissipabile dall'involucro, nelle condizioni d'installazione previste, senza che la sovratemperatura superi in nessun punto della superficie esterna 30 °C. Il costruttore fornisce

quindi all'installatore il valore della massima potenza dissipabile dall'involucro e le istruzioni per il corretto montaggio.

Si è ora in grado di precisare il campo di applicazione della norma CEI 23-51, e, quindi, anche quello della norma CEI 17-13.

La norma CEI 23-51 si applica ai quadri di distribuzione per installazione fissa, per uso domestico e similare, realizzati assemblando involucri vuoti, conformi alla norma sperimentale CEI 23-49, con sistemi di protezione ed apparecchi che nell'uso ordinario dissipano una potenza non trascurabile, ad esempio interruttori automatici e differenziali, trasformatori, lampade, ecc.

Tali quadri devono essere:

- adatti ad essere utilizzati a temperatura ambiente normalmente non superiore a 25 °C, ma che occasionalmente può raggiungere 35 °C;
- destinati all'uso in corrente alternata con tensione nominale non superiore a 440 V;
- destinati ad incorporare sistemi di protezione ed apparecchi di manovra per uso domestico e similare con corrente nominale (I_n) non superiore a 125 A;
- con corrente nominale in entrata (I_{ne}) non superiore a 125 A;
- con corrente presunta di cortocircuito (I_{cp}) nel punto d'installazione non superiore a 10 kA (valore efficace della componente simmetrica) o protetti da dispositivi limitatori di corrente aventi corrente limitata (I_p) non eccedente 15 kA (valore di picco) in corrispondenza del loro potere d'interruzione nominale.

Se il quadro non è con le caratteristiche suindicate esce dal campo di applicazione della norma CEI 23-51 e si applicano le norme CEI 17-13.

Ad esempio, ritornando alla figura VI.4, il primo ed il secondo quadro rientrano nel campo di applicazione della prima norma, mentre il terzo quadro rientra nel campo di applicazione della seconda norma, perché anche se ogni sistema di protezione di ingresso del quadro ha una corrente nominale minore di 125 A, la I_{ne} supera il valore di 125 A.

Il diagramma di flusso della figura VI.5 sintetizza il campo di applicazione delle norme per i quadri di bassa tensione.

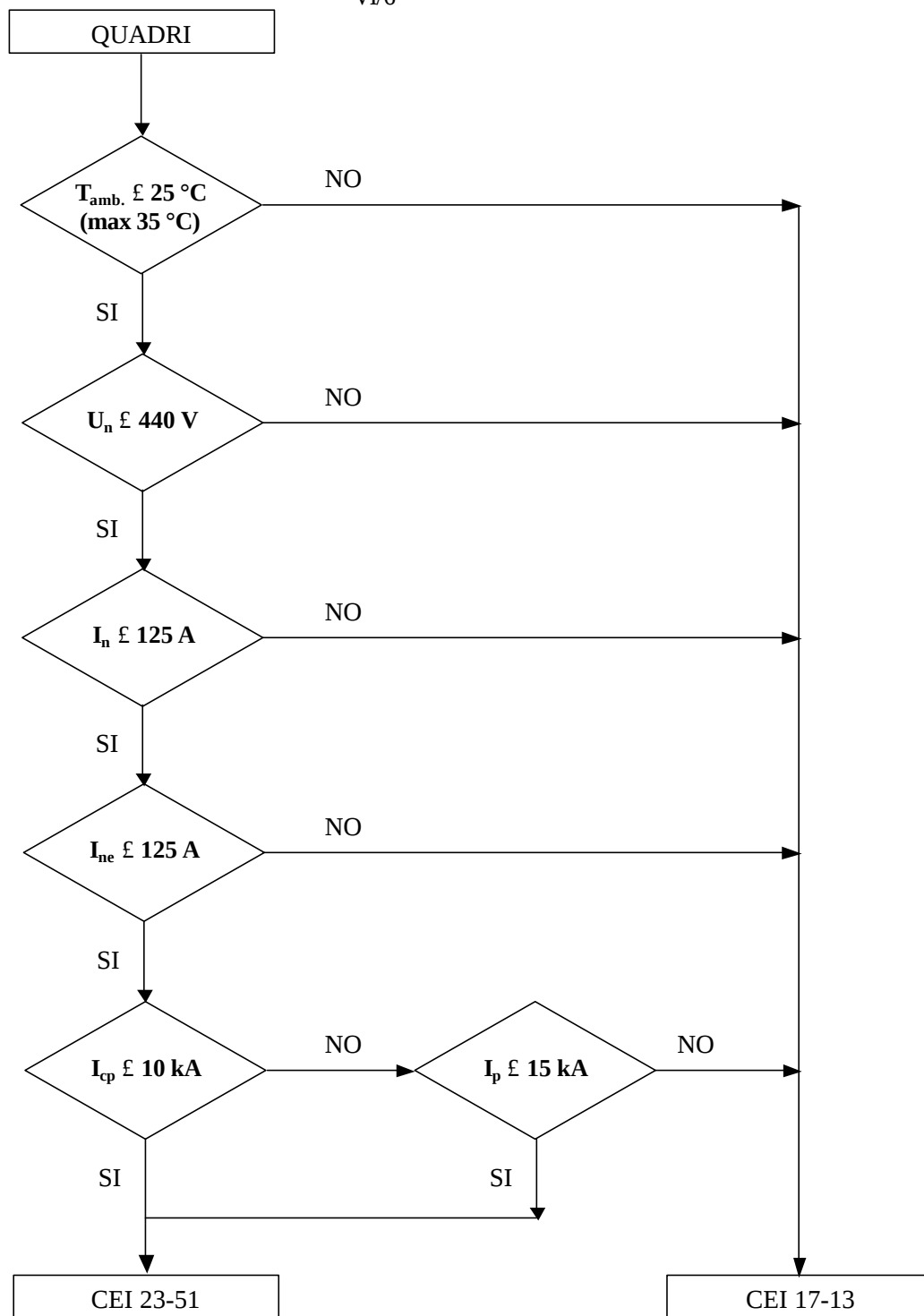


Fig VI.5 – Schema per l’individuazione delle norme di riferimento per i quadri di bassa tensione.

5. Impianti di terra

Come detto bisogna analizzare sia l’impianto di terra di cabina (Norma CEI 11-1) sia l’impianto di terra dell’impianto elettrico in bassa tensione dell’utilizzatore (Norma CEI 64-8/5).

5.1. Impianto di terra di cabina

Conviene distinguere l’impianto di terra relativo alla parte MT (impianti di seconda categoria) da quello relativo alla parte BT (impianti di prima categoria).

5.1.1 Impianto di terra negli impianti di II categoria

La norma 11-1 chiarisce che l'impianto risulta composto dai seguenti componenti:

- dispersori,
- conduttori di terra,
- conduttori equipotenziali.

I primi due componenti sono riportati nelle figure VI.2 e VI.3 con i simboli CT e T, rispettivamente.

Il suddetto impianto deve avere le seguenti caratteristiche:

- a) avere sufficiente resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- b) essere in grado di sopportare, da un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- c) garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni che si manifestano per effetto delle correnti di guasto a terra (tensioni di contatto e tensioni di passo).

Nei riguardi della sicurezza delle persone la causa di pericolo è il passaggio di corrente attraverso il corpo umano. La pubblicazione IEC 60479-1 fornisce le linee guida sugli effetti della corrente che fluisce attraverso il corpo umano, in funzione del suo valore e della sua durata (fig. VI.6)

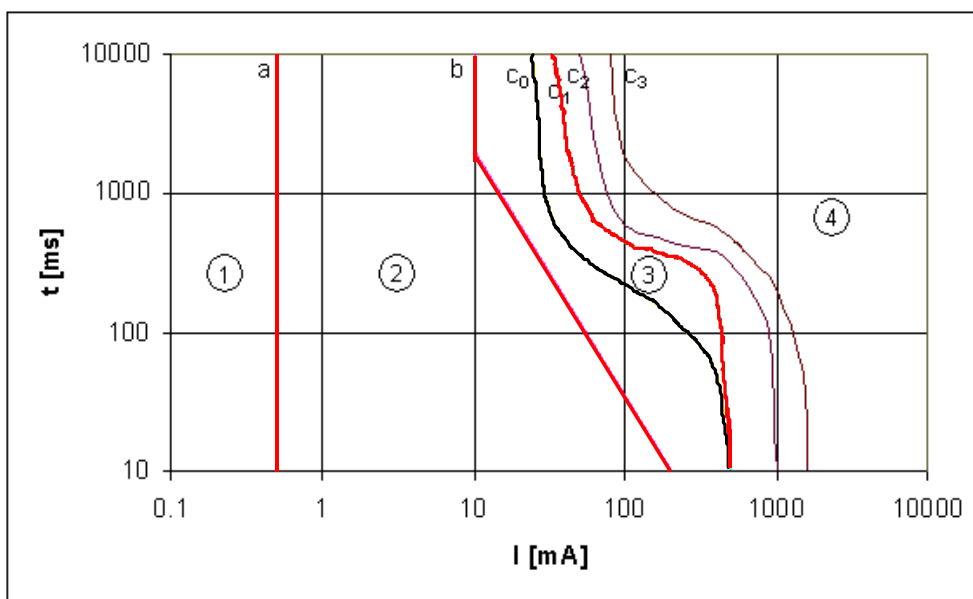


Fig. VI.6 - Linee di pericolosità della corrente nel corpo umano.

Nella zona 1 non si avverte percezione del passaggio di corrente; nella zona 2 non si hanno quasi mai effetti fisiologici pericolosi; nella zona 3 si hanno effetti patofisiologici di solito reversibili, come contrazioni muscolari, difficoltà di respirazione, etc., inclusi la fibrillazione striale ed arresti temporanei del cuore; nella zona 4 è probabile l'innescò della fibrillazione ventricolare (5 % curva c2, 50 % curva c3).

La curva c₁ rappresenta la soglia di fibrillazione ventricolare, mentre la curva c₀ assume importanza particolare ai fini della sicurezza elettrica in bassa tensione, come si vedrà appresso.

In pratica, è più conveniente far riferimento alle tensioni di contatto.

Per il calcolo dei valori ammissibili della tensione di contatto per impianti di elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata sono state fatte le seguenti assunzioni:

- percorso della corrente da una mano ai piedi;
- valore di resistenza del corpo umano avente una probabilità pari al 50 % di non essere superata dalla popolazione;

- curva corrente-tempo c_2 che presenta la probabilità del 5 % di provocare fibrillazione ventricolare;
- nessuna resistenza addizionale tra i piedi e il suolo.

Considerando la curva c_2 della fig. VI.6 come limite ammissibile di corrente (probabilità di fibrillazione ventricolare inferiore al 5 %, con percorso della corrente dalla mano sinistra ad entrambi i piedi), ne risultano i valori riportati nella tabella 1.

Tabella. 1. Corrente I_B ammissibile nel corpo rispetto alla durata t_F del guasto.

Durata del guasto [s]	Corrente nel corpo [mA]
0,05	900
0,1	750
0,2	600
0,5	200
1	80
2	60
5	51
10	50

Per ottenere la relativa tensione ammissibile di contatto, è necessario determinare la resistenza totale del corpo umano. Tale resistenza dipende dalle tensioni di contatto e dal percorso della corrente; i valori per il percorso della corrente da mano a mano e da mano a piede sono indicati nella IEC 60479-1, dalla quale è estratta la tabella 2 (probabilità che il 50 e il 5 % della popolazione non superi le impedenze indicate).

Tabella. 2. Resistenza totale del corpo umano Z_B riferita alla tensione di contatto U_T per un percorso della corrente da mano a mano o da mano a piede.

Tensione di contatto [V]	Resistenza totale del corpo umano [W]	
	50 %	5 %
25	3250	875
50	2625	725
75	2200	625
100	1875	600
125	1625	562
220	1350	500
700	1100	375
1000	1050	350

Considerando un percorso della corrente da una mano ai piedi, si deve applicare un fattore di correzione di 0,75 per l'impedenza del corpo (Tab. 2 della IEC 60479-1). Unendo le due tabelle e considerando il fattore di correzione, è possibile, per mezzo di un procedimento iterativo, calcolare il limite di tensione di contatto per ogni valore della durata del guasto. Il risultato è indicato nella fig. VI.7.

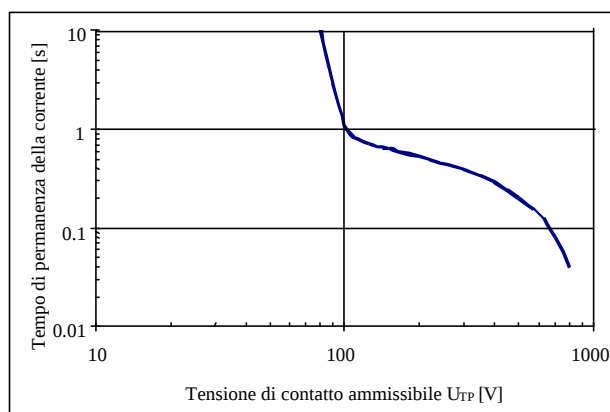


Fig. VI.7 - Curve di sicurezza in impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata.

Il generico punto della fig. VI.7 rappresenta il valore della tensione, in V, che può essere applicata al corpo umano, tra mano nuda e piedi nudi, per il tempo corrispondente in s, senza prendere in considerazione resistenze addizionali tra i piedi e il suolo.

Nella tabella 3 sono mostrati i valori di alcuni punti della curva della fig. VI.7.

Tabella. 3. Valori calcolati della tensione di contatto U_{Tp} ammissibile in funzione della durata t_F del guasto.

Durata del guasto t_F [s]	Tensione di contatto ammissibile U_{Tp} [V]
10	80
1,1	100
0,72	125
0,64	150
0,49	220
0,39	300
0,29	400
0,20	500
0,14	600
0,08	700
0,04	800

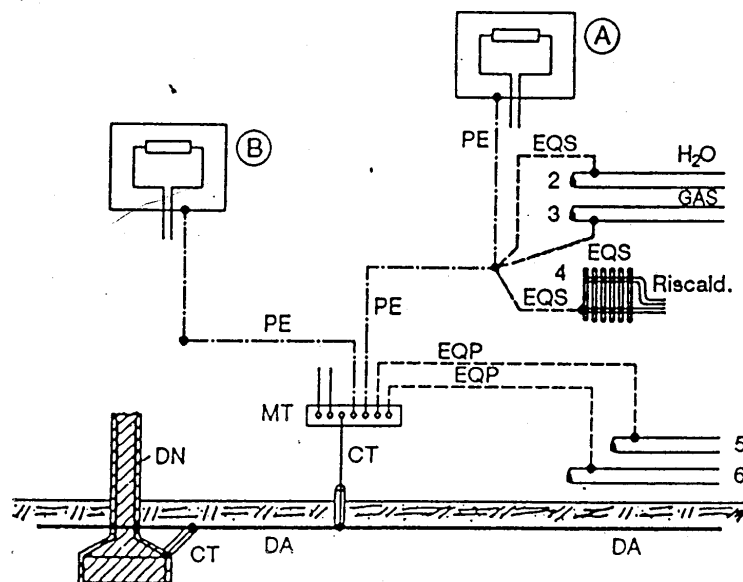
Poiché le tensioni di contatto sono in generale più elevate delle tensioni di passo e poiché queste hanno anche valori ammissibili più alti (da piede a piede), si può supporre che, se è soddisfatta la curva della fig. VI.7, generalmente non si manifestano tensioni di passo pericolose.

5.1.2 Impianto di terra negli impianti di I categoria

Il suddetto impianto può essere comune con quello per impianti di II categoria (questo è il caso più frequente di cui si hanno esempi nelle figure VI.2 e VI.3) oppure, in casi particolari, da esso separato.

5.2. Impianto di terra dell'impianto elettrico in bassa tensione dell'utilizzatore

La norma 64-8/5 chiarisce che l'impianto risulta composto dai componenti riportati nella fig.VI.8.



Legenda

DA: Dispersore (intenzionale)

DN: Dispersore (di fatto)

CT: Conduttore di terra

Nota - Tratto di conduttore non in contatto elettrico con il terreno

MT: Collettore (o nodo) principale di terra

PE: Conduttore di protezione

EQP: Conduttori equipotenziali principali

EQS: Conduttori equipotenziali supplementari (per es. in locale da bagno)

A - B: Masse

2, 3, 4, 5, 6: Masse estranee

Fig. VI.8 – Esempio di collegamento dei componenti dell'impianto di terra

Anche il suddetto impianto deve avere le seguenti caratteristiche:

- avere sufficiente resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- essere in grado di sopportare, da un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni che si manifestano per effetto delle correnti di guasto a terra.

Nei riguardi della sicurezza delle persone la causa di pericolo, come già precisato, è il passaggio di corrente attraverso il corpo umano. La pubblicazione IEC 60479-1 fornisce le linee guida sugli effetti della corrente che fluisce attraverso il corpo umano, in funzione del suo valore e della sua durata (fig. VI.6). In pratica, è più conveniente far riferimento alle tensioni di contatto. I

limiti della tensione di contatto dovuta a guasti a terra sono indicati nella fig.VI.9, in cui le due curve di sicurezza si riferiscono alle due condizioni specificate in figura. Su ciascuna curva il generico punto rappresenta il valore della tensione, in V, che può essere applicata al corpo umano, tra mani nude e piedi nudi, per il tempo corrispondente in s, prendendo in considerazione resistenze addizionali tra i piedi e il suolo pari a $1000\ \Omega$ in condizioni ordinarie e $200\ \Omega$ in condizioni particolari.

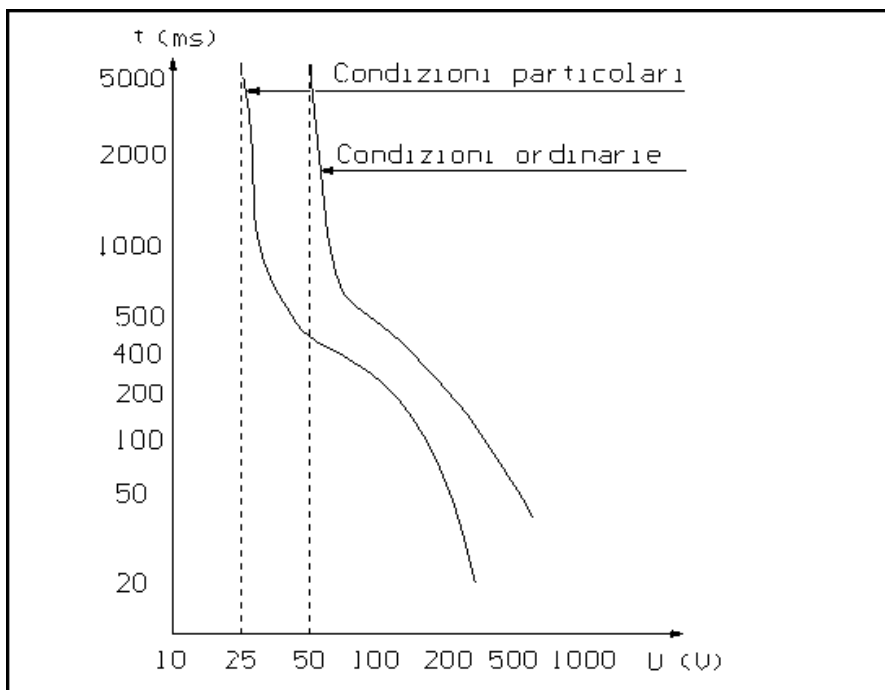


Fig. VI.9 - Curve di sicurezza in bassa tensione (DA SOSTITUIRE)

La norma CEI 64-8 definisce la tensione di contatto limite convenzionale U_L come il massimo valore della tensione di contatto che è possibile mantenere per un tempo indefinito, in condizioni ambientali specificate. I valori di tale tensione si deducono dalle curve di sicurezza e sono pari a 50 V per i contatti in condizioni ordinarie e di 25 V per i contatti in condizioni particolari.

Nel caso di corrente continua, i valori della tensione di contatto limite convenzionale sono rispettivamente pari a 120 V per le condizioni ordinarie e 60 V per quelle particolari.

Per il calcolo dei valori ammissibili della tensione di contatto per impianti di bassa tensione, che può essere svolto con la stessa procedura riportata in precedenza, vengono fatte le seguenti assunzioni:

- percorso della corrente dalle mani ai piedi;
- valore di resistenza del corpo umano avente una probabilità pari al 5 % di non essere superata dalla popolazione;
- curva corrente-tempo c_0 ;
- resistenza addizionale tra i piedi e il suolo (pari a $1000\ \Omega$ in condizioni ordinarie e $200\ \Omega$ in condizioni particolari).

Si fa notare che il valore di resistenza del corpo umano da prendere in considerazione è quello avente una probabilità pari al 5 % di non essere superata dalla popolazione e che si considera la curva c_0 perché in bassa tensione può essere sottoposto a contatti indiretti un numero di persone maggiore rispetto al caso dell'alta tensione e perché si tratta di persone non addestrate.

5.2.1 Impianto di terra dell'impianto elettrico in bassa tensione dell'utilizzatore di tipo TT

In questo caso le masse dell'utilizzatore sono collegate ad un impianto di terra indipendente dall'impianto di terra dell'impianto elettrico di alimentazione. Come ben evidenziato nella figura VI.10, il circuito di guasto comprende la resistenza dell'impianto di terra dell'impianto elettrico dell'alimentazione con in serie quella dell'impianto di terra dell'utilizzatore.

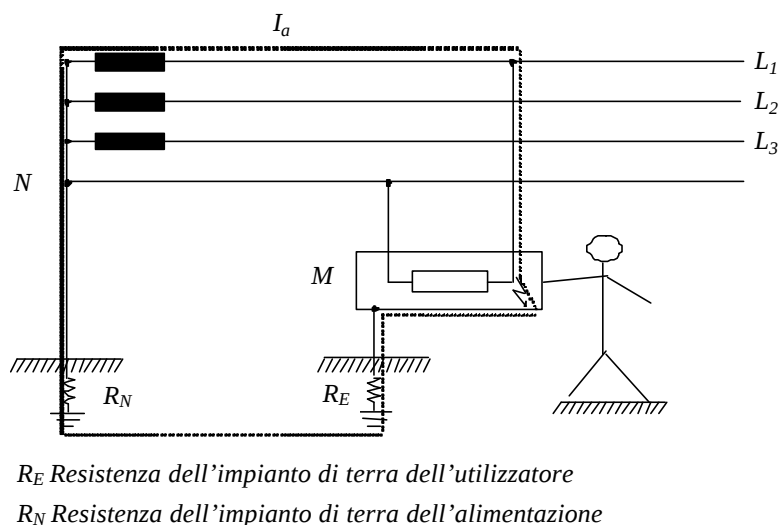


Fig. VI.10- Circuito di guasto

Queste resistenze possono limitare sensibilmente il valore della corrente di guasto che si richiude nel terreno. Pertanto i sistemi di protezione normalmente impiegati contro le sovracorrenti risultano in genere inefficaci perché la corrente di guasto non raggiunge il valore sufficiente a farli intervenire nei tempi richiesti dalla Norma CEI, se non riducendo i valori delle resistenze di terra dei due impianti di terra (in particolare di quella dell'impianto di terra dell'utilizzatore).

La soluzione del problema consiste nell'impiego di sistemi di protezione a corrente differenziale, con soglie di intervento differenziale $I_{\Delta N}$ dell'ordine della decina di mA, che consentono la soluzione del problema anche con valori elevati della resistenza di terra dell'impianto di terra dell'utilizzatore. In tal modo, con costi contenuti degli impianti di terra (in particolare dell'impianto di terra dell'utilizzatore), si riescono ad ottenere per essi notevoli affidabilità e durate piuttosto che valori bassi di resistenza di terra.

La Norma CEI 64-8 nella nuova edizione impone l'impiego dei suddetti sistemi di protezione a corrente differenziale in considerazione soprattutto del fatto che, richiedendosi in questo caso valori della resistenza dell'impianto di terra dell'utilizzatore molto bassi, non si poteva più trascurare l'influenza, sul valore della corrente di guasto, della resistenza dell'impianto di terra dell'alimentazione, tenendo anche presente che il valore di questa resistenza non è nella responsabilità di chi gestisce l'impianto utilizzatore.

In particolare, deve essere rispettata la condizione

$$U = R_E I_a \leq U_L, \quad (1)$$

in cui:

- U è la tensione di contatto;
- U_L è la tensione di contatto limite convenzionale, essa rappresenta la massima tensione, in Volt, che può essere applicata tra le mani unite di una persona e la terra di riferimento per un tempo indefinito;
- R_E è la resistenza di terra dell'impianto di terra dell'utilizzatore;
- I_a , a secondo del sistema di protezione adottato, è la corrente corrispondente al tempo di intervento di 5 s del sistema di protezione contro le sovracorrenti² oppure la corrente di intervento differenziale $I_{\Delta N}$ del sistema di protezione a corrente differenziale.

Con particolare riferimento alle due curve di sicurezza in bassa tensione la [1] può essere riscritta nella duplice forma:

$$R_E I_a \leq 50, \text{ in condizioni ordinarie,} \quad \text{e} \quad R_E I_a \leq 25, \text{ in condizioni particolari.}$$

Il seguente esempio consente di far vedere come l'impiego di un sistema di protezione a corrente differenziale permette, a parità di ogni altra condizione, di proteggere dai contatti indiretti, cioè dalle masse dell'impianto elettrico utilizzatore, con un impianto di terra di resistenza R_E di valore maggiore di quello necessario se si impiegasse un sistema di protezione contro le sovracorrenti³.

Nell'ipotesi di trovarsi in condizioni ambientali ordinarie, si calcola:

- protezione differenziale con $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$: $R_E \leq \frac{50}{30} \cdot 10^3 \cong 1666 \text{ } \Omega$;
- protezione con interruttore automatico con corrente nominale $I_n = 16 \text{ A}$ e $I_a (t = 5 \text{ s}) = 90 \text{ A}$:
 $R_E \leq \frac{50}{90} \cong 0.56 \text{ } \Omega$.

In condizioni ambientali particolari, si calcolerebbe:

- protezione differenziale con $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$: $R_E \leq \frac{25}{30} \cdot 10^3 \cong 833 \text{ } \Omega$;
- protezione con interruttore automatico con corrente nominale $I_n = 16 \text{ A}$ e $I_a (t = 5 \text{ s}) = 90 \text{ A}$:
 $R_E \leq \frac{25}{90} \cong 0.28 \text{ } \Omega$.

Negli impianti TT, in conclusione, si può affermare che la protezione dai contatti indiretti è assicurata da un corretto coordinamento tra l'impianto di terra ed il sistema di protezione.

² Si soddisfa in tal modo il punto U_L , 5 s sulle curve di sicurezza in bassa tensione: per correnti superiori si ammette che le caratteristiche di intervento siano tali da soddisfare le curve di sicurezza; per correnti inferiori, indipendentemente dall'intervento o meno del sistema di protezione, la tensione sulle masse assume valori minori di U_L .

³ Per contro il sistema di protezione a corrente differenziale necessita di verifiche periodiche (non necessarie per il sistema di protezione contro le sovracorrenti) consistenti nell'assicurarsi, a mezzo di un apposito pulsante di prova, che il sistema di sgancio si mantenga efficiente nel tempo e nel misurarne i tempi d'interruzione con periodicità stabilita dalla Norma.

5.2.2 Impianto di terra dell'impianto elettrico in bassa tensione dell'utilizzatore di tipo TN-S

In questo caso le masse dell'utilizzatore sono collegate all'impianto di terra del neutro dell'impianto elettrico d'alimentazione, configurandosi pertanto un unico impianto di terra. Come ben evidenziato nella figura VI.11, si configura una condizione di corto circuito franco tra fase e conduttore di protezione.

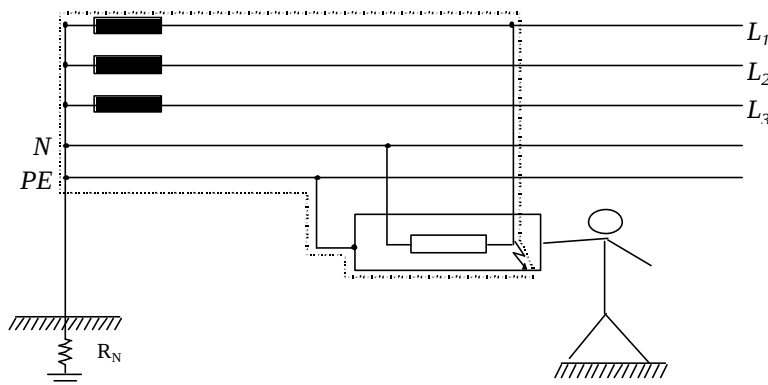


Fig. VI.11- Circuito di guasto

La corrente di guasto I_a , limitata dalla sola impedenza del circuito di guasto Z_s , assume valori rilevanti e pertanto si può impiegare un sistema di protezione contro le sovracorrenti.

In particolare deve essere rispettata, con riferimento ai moduli, la condizione:

$$\frac{U_o}{Z_s} \geq I_a \quad \text{ovvero} \quad Z_s \leq \frac{U_o}{I_a} \quad (2)$$

dove

- Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto;
- I_a è la corrente che provoca l'intervento del sistema di protezione nei tempi indicati nella tabella 4¹;
- U_o è la tensione di fase.;
- U_o/Z_s corrente dell'anello di guasto;

Nella tabella 4 sono riportati i tempi massimi di eliminazione del guasto in funzione della tensione di alimentazione del sistema e delle condizioni ambientali.

¹ La tabella si riferisce a circuiti terminali, cioè a circuiti che alimentano direttamente apparecchi utilizzatori o prese a spina. Per i circuiti di distribuzione i tempi possono essere aumentati: ad esempio per un circuito di distribuzione in condizioni ambientali ordinarie, con tensione nominale di 400 V, il tempo può essere spinto fino a 5 s invece del valore di 0,4 s riportato nella tabella.

Tabella 4 - Tempi massimi di interruzione

U_0 (V)	Tempo di eliminazione del guasto (s)	
	Condizioni Ordinarie	Condizioni Particolari
120	0.8	0.4
230	0.4	0.2
400	0.2	0.06
>400	0.1	0.02

Se la (2) è verificata risulta che:

$$U = 92 \text{ V} \leq U^*$$

dove U è la tensione di contatto ed U^* è la tensione di contatto limite corrispondente al tempo di eliminazione del guasto che soddisfa, in tal modo, la curva di sicurezza in bassa tensione.

E' interessante far vedere come in tal modo sono rispettate le curve di sicurezza in bassa tensione.

Si può far riferimento al circuito equivalente di figura VI.12. a).

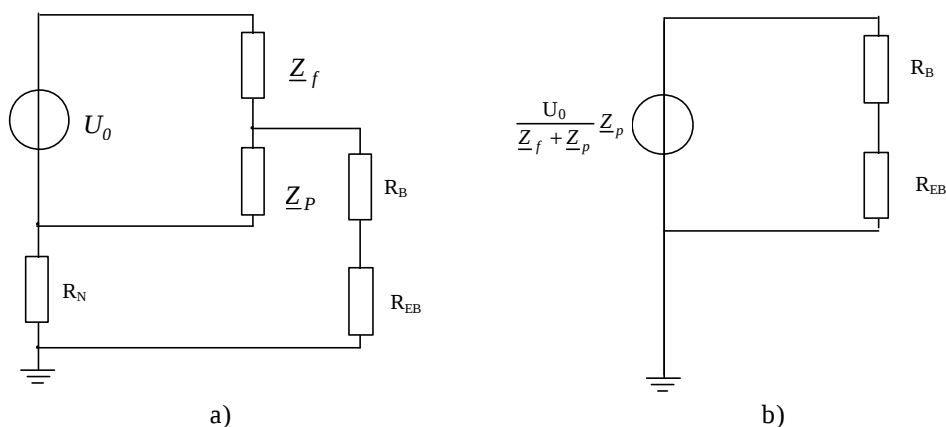


Fig. VI.12- Impianto TN:
a) circuito equivalente, b) circuito equivalente con generatore ideale di tensione.

Nella figura VI. 12:

- R_B è la resistenza del corpo della persona (nelle ipotesi di calcolo assunte nell'articolo 3 del capitolo VI);
- R_{EB} è la resistenza tra i piedi uniti della persona e la terra di riferimento;
- R_N è la resistenza dell'impianto di terra unico;
- $\dot{Z}_f$ e $\dot{Z}_p$ sono le componenti di $\dot{Z}_s$ associate rispettivamente al conduttore di fase ed a quello di protezione

Atteso che la somma di R_B e di R_{EB} è di gran lunga maggiore della somma di $\dot{Z}_p$ e di R_N , il circuito equivalente di figura VI.12 a) si semplifica in quello di figura VI.12 b).

Pertanto, assunta a riferimento la tensione di fase U_0 , la tensione che persiste tra le mani unite di una persona e la terra di riferimento vale:

$$\dot{U}_{ST} = U_0 \cdot \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_f + \dot{Z}_p}. \quad (3)$$

Poiché la Norma assume convenzionalmente che la tensione U_0 si riduca del 20 % in condizioni di corto circuito franco, la (3) si modifica in:

$$\dot{U}_{ST} = 0.8 \cdot U_0 \cdot \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_f + \dot{Z}_p}. \quad (4)$$

Nell'ipotesi che la sezione del conduttore di protezione sia uguale a quella del conduttore di fase, ed ammesso pertanto che $\dot{Z}_f$ e $\dot{Z}_p$ abbiano lo stesso modulo e lo stesso argomento, la (4) si modifica in:

$$U_{ST} = 0.8 \cdot \frac{U_0}{2} = 92 \text{ V}.$$

La tensione di 92 V corrisponde sulle curve di sicurezza a 0,4 ed a 0,2 s, rispettivamente in condizioni ambientali ordinarie e particolari.

Nel caso in cui non sia possibile verificare la (2) si rende necessario sostituire il sistema di protezione con solo relè magnetotermico con un altro costituito da relè magnetotermico, sempre necessario per la protezione del cavo, e dal relè differenziale. In tal caso la (2) risulterà verificata perché il secondo membro della (2) risulterà, in questo caso, di gran lunga minore.

Negli impianti TN-S, in conclusione, si può affermare che la protezione dai contatti in diretti e assicurata da un corretto coordinamento tra l'anello di guasto e il sistema di protezione. In tale coordinamento non entra in gioco l'impianto di terra.

APPENDICE VI

DEFINIZIONI

Terra

Termine per designare il terreno sia come luogo che come materiale conduttore, per esempio humus, terriccio, sabbia, ghiaietto e pietra.

Terra di riferimento (terra lontana)

Zona della superficie del terreno al di fuori dell'area di influenza di un dispersore o di un impianto di terra, dove cioè tra due punti qualsiasi non si hanno percettibili differenze di potenziale dovute alla corrente di terra.

Dispersore

Conduttore appositamente posto in contatto elettrico con il terreno (dispersore intenzionale), o parte metallica in contatto elettrico con il terreno o con l'acqua, direttamente o tramite calcestruzzo, il cui scopo originale non è di mettere a terra, ma di soddisfare tutti i requisiti di un dispersore senza compromettere la sua funzione originale (dispersore di fatto).

I dispersori intenzionali più frequentemente impiegati sono:

Dispersore orizzontale

Dispersore generalmente interrato fino ad una profondità di circa 1 m. Questo può essere costituito di nastri, di tondini o di conduttori cordati che possono essere disposti in modo radiale, ad anello, a maglia o da una loro combinazione.

Picchetto di terra

Dispersore generalmente interrato od infisso per una profondità superiore ad 1 m. Questo può essere costituito da un tubo, da una barra cilindrica o da altri profilati metallici.

Cavo con funzione di dispersore

Cavo le cui guaine, i cui schermi o le cui armature hanno la funzione di un dispersore a nastro.

Dispersore per il controllo del potenziale di terra

Conduttore che per la sua forma e la sua disposizione è principalmente utilizzato per ridurre il gradiente del potenziale sulla superficie del terreno piuttosto che per ottenere un definito valore di resistenza di terra.

Esempi di dispersori di fatto sono:

le tubature, le palificazioni metalliche, le armature del calcestruzzo (dispersore di fondazione: struttura conduttrice annegata nel calcestruzzo a contatto elettrico con il terreno attraverso un'ampia superficie), le strutture in acciaio delle costruzioni, ecc..

Massa

Parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che in condizioni ordinarie non è in tensione, ma che può diventarlo in condizioni di guasto.

Massa estranea

Parte conduttrice che non fa parte dell'impianto elettrico ed è in grado di introdurre un potenziale, generalmente il potenziale di terra.

Conduttore di terra

Conduttore che collega una parte dell'impianto che deve essere messo a terra ad un dispersore o che collega tra loro più dispersori, ubicato al di fuori del terreno od interrato nel terreno e da esso isolato.

Collegamento equipotenziale

Collegamento elettrico tra masse per ridurre al minimo le differenze di potenziale tra queste.

Conduttore equipotenziale

Conduttore che assicura un collegamento equipotenziale, tra masse estranee e dispersore (conduttore equipotenziale principale) e tra masse estranee (conduttore equipotenziale supplementare).

Impianto di terra

Sistema limitato localmente costituito da dispersori o da parti metalliche in contatto con il terreno di efficacia pari a quella dei dispersori (per esempio fondazioni di sostegni, armature, schermi metallici di cavi), da conduttori di terra e da conduttori equipotenziali.

Mettere a terra

Collegare una parte conduttrice al terreno tramite un impianto di terra.

Messa a terra

L'insieme di tutti i mezzi e di tutte le operazioni necessari per realizzare la messa a terra.

Resistività del terreno (ρ_E)

Resistenza elettrica specifica del terreno.

Resistenza di terra (R_E) (di un dispersore)

Resistenza tra il dispersore e la terra di riferimento.

Impedenza di terra (Z_E) (di un impianto di terra)

L'impedenza tra l'impianto di terra e la terra di riferimento.

Tipi di messa a terra

Messa a terra di protezione

Messa a terra di una parte conduttrice, non destinata ad essere attiva, con lo scopo di proteggere le persone dallo shock elettrico.

Messa a terra di funzionamento

Messa a terra di un punto del circuito attivo richiesta per il corretto funzionamento degli impianti e dei suoi componenti elettrici.

Messa a terra per la protezione contro le fulminazioni (scariche atmosferiche)

Messa a terra per la dissipazione di una corrente di fulmine (scarica atmosferica) verso terra.

Tensioni relative agli impianti di terra

Tensione totale di terra (U_E)

Tensione tra un impianto di terra e la terra di riferimento (vedere Fig. A-1).

Potenziale della superficie del terreno (ϕ)

Tensione tra un punto sulla superficie del terreno e la terra di riferimento (vedere Fig. A-1).

Tensione di contatto (U_T)

Parte della tensione totale di terra dovuta ad un guasto a terra a cui può essere sottoposta una persona. Si assume convenzionalmente che la corrente fluisca attraverso il corpo umano da una mano ai piedi (distanza orizzontale di 1 m dalla massa).

Tensione di contatto a vuoto (U_{ST})

Tensione che si manifesta durante un guasto a terra tra le masse ed il terreno quando queste masse non vengano toccate.

Tensione di passo (U_S)

Parte della tensione totale di terra dovuta ad un guasto a terra a cui può essere sottoposta una persona con un passo di ampiezza pari ad 1 m. Si assume che la corrente fluisca attraverso il corpo umano da piede a piede. Tensione di passo a vuoto U_{SS} è la tensione che si manifesta tra due punti del terreno a distanza di 1 m in assenza della persona.

Contatto diretto

Contatto di persone con parti attive.

Contatto indiretto

Contatto di persone con masse durante un cedimento dell'isolamento.

Termini relativi alle differenze di potenziale

Controllo del potenziale

Controllo del gradiente del potenziale di terra, principalmente sulla superficie del terreno, per mezzo di dispersori (vedere Fig. A-1).

Potenziale trasferito

Aumento del potenziale di un impianto di terra, causato da una corrente di terra, trasferito per mezzo di un conduttore collegato (per esempio uno schermo metallico di un cavo, un conduttore PEN, una tubatura, una rotaia) ad aree a basso livello di potenziale o a potenziale nullo rispetto alla terra. Ciò dà luogo a una differenza di potenziale tra il conduttore e ciò che lo circonda (vedere Fig. A-1). La definizione si applica anche quando un conduttore è collegato alla terra di riferimento e transita nell'area soggetta ad un livello di potenziale maggiore.

Isolamento del posto di manovra

Provvedimento per aumentare la resistenza tra il pavimento in un posto di manovra ed il terreno in modo da non sottoporre l'operatore a tensioni non ammissibili.

Impianto di terra globale

Impianto di terra realizzato con l'interconnessione di più impianti di terra che assicura, data la vicinanza degli impianti stessi, l'assenza di tensioni di contatto pericolose. Tale impianto permette la ripartizione della corrente di terra in modo da ridurre l'aumento di potenziale di terra negli impianti di terra singoli. Si può dire che tale impianto forma una superficie quasi equipotenziale. Questa definizione è limitata alle reti di trasmissione e di distribuzione del Distributore pubblico, ad esempio nel caso di aree urbane concentrate, ed agli impianti utilizzatori alimentati in AT o in MT collegati all'impianto di terra globale ed in esso inclusi.

Conduttore di protezione (PE)

Conduttore prescritto per alcune misure di protezione contro i contatti indiretti per il collegamento di alcune delle seguenti parti:

- a. masse;

- b. masse estranee;
- c. collettore (o nodo) principale di terra negli impianti di bassa tensione;
- d. dispersore;
- e. punto di terra della sorgente o neutro artificiale.

Termini relativi alle condizioni di guasto a terra

Guasto a terra

Collegamento conduttivo causato da un guasto tra un conduttore di fase del circuito principale e la terra od una parte collegata a terra. Il collegamento conduttivo può anche avvenire tramite un arco elettrico.

Tempo di eliminazione (di durata) del guasto

Tempo predisposto per eliminare il guasto da parte dei sistemi di protezione della porzione di circuito interessata dal guasto stesso.

Se non vi è 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 del guasto stesso.

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, O-C-O, di richiusura (purché la durata del ciclo 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.

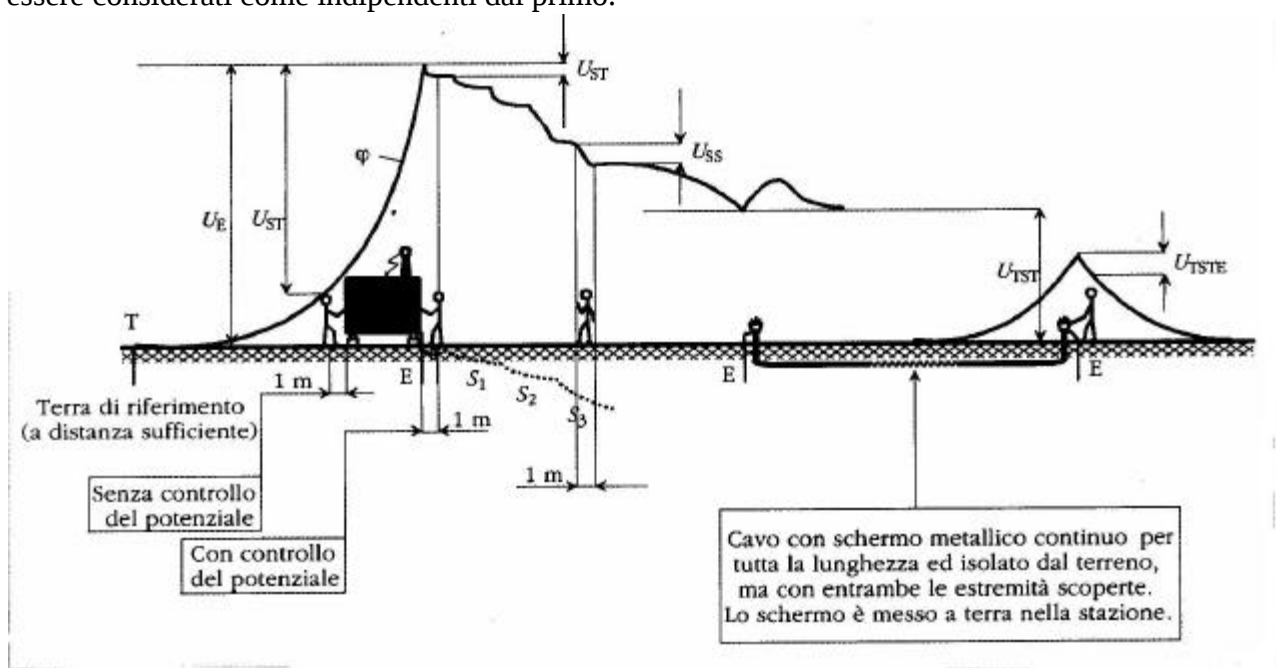


Fig. A-1. Esempio del profilo dei potenziali di superficie e delle tensioni nel caso di dispersori percorsi da corrente.

E	Dispersore
S ₁ , S ₂ , S ₃	Gradiente di potenziale dei dispersori (es. dispersori ad anello), collegati al dispersore E
U _E	Tensione totale di terra
U _{SS}	Tensione di passo a vuoto
U _{ST}	Tensione di contatto a vuoto
U _{TST}	Tensione di contatto a vuoto trasferita, se la guaina non è messa a terra al suo terminale remoto
U _{TSTE}	Tensione di contatto a vuoto trasferita, se la guaina è messa a terra (soluzione consigliata) al suo terminale remoto
φ	Potenziale della superficie del terreno