

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA  
*Dipartimento di Ingegneria*  
*Contrada Di Dio I, 98166 – Villaggio S. Agata Messina*

## ***Appunti Corso di Sistemi Elettrici***

***Capitolo 12. La cabina di trasformazione d'utente MT/BT***

*Anno Accademico 2015-2016*

*prof. ing. Bruno Azzerboni*

**Fonti:**

*Manuali, guide e cataloghi*  
*ABB, bTicino, Gewiss, Merlin Gerin*  
*Schneider, Siemens*

**Web:**

[www.elektro.it](http://www.elektro.it),  
[www.voltimum.it](http://www.voltimum.it)  
[www.electroyou.it](http://www.electroyou.it)

## **Sommario**

<i>12. La cabina di trasformazione d'utente MT/BT</i>	3
12.1 Generalità	3
12.2 Struttura e dimensioni minime di una cabina	3
12.3 Lato media tensione	4
12.4. Dimensionamento dei componenti MT	5
12.4.1 Conduttori	5
12.4.2 Apparecchi di manovra	6
12.4.3 Fusibili	7
12.5 Scelta delle protezioni	8
12.5.1 Protezione dalle sovratensioni	8
12.6 Trasformatore MT/BT	10
12.7 Lato bassa tensione	11
12.8 Impianto di terra	12
12.8.1 Considerazioni generali	12
12.9 Protezione dai contatti diretti e indiretti per guasti in media tensione	12
12.9.1 Corrente di guasto a terra ( $I_G$ ) e tensione totale di terra ( $U_T$ )	12
12.9.2 Tensioni di passo ( $U_P$ ) e di contatto ( $U_C$ )	15
12.9.3 Tipo di dispersore	16
12.9.4 Calcolo della resistenza di terra ammissibile	17
12.9.5 Accorgimenti atti a ridurre le tensioni di passo e di contatto e ad evitare il trasferimento di tensioni totali di terra pericolose	18
12.9.6 L'impianto di terra all'interno della cabina	18
12.9.7 Dimensionamento dei conduttori di protezione	19
12.10 Protezione dai contatti indiretti per guasti in bassa tensione	22

## 12. La cabina di trasformazione d'utente MT/BT

### 12.1 Generalità

La cabina elettrica di trasformazione è costituita dall'insieme dei conduttori, apparecchiature e macchine atte alla trasformazione della tensione, fornita dalla rete di distribuzione a media tensione (es. 15 kV in MT), ai valori di tensione per l'alimentazione delle linee in bassa tensione (230 V, 400 V in BT). Le cabine elettriche possono essere classificate in cabine pubbliche e cabine private:

- **Cabine pubbliche** – sono di pertinenza della società di distribuzione dell'energia elettrica e alimentano le utenze private in corrente alternata monofase a 230V o trifase a 400V. Si dividono a loro volta in cabine di tipo urbano o rurale costituite da un solo trasformatore di potenza contenuta. Le cabine urbane si distinguono perché sono generalmente costruite in muratura mentre quelle rurali sono spesso installate all'esterno direttamente sul traliccio della MT.
- **Cabine d'utente** – sono di proprietà dell'utente e possono alimentare sia utenze civili come scuole, ospedali ecc., sia utenze di tipo industriale con fornitura dalla rete pubblica in MT. L'utente deve mettere a disposizione della società distributrice un apposito locale, accessibile al personale della società, in cui saranno installati i gruppi di misura con i relativi TA e TV e le apparecchiature di manovra di competenza della società di distribuzione. Le soluzioni costruttive possono essere varie, anche se negli ultimi tempi si va sempre più diffondendo l'impiego di cabine contenute in armadi metallici di tipo prefabbricato.

Spesso, al di sotto dei 30 kW, la fornitura è effettuata in BT (anche se sono frequenti forniture fino a 100 kW e oltre). La decisione di fornire l'energia in BT o in MT spetta normalmente alla società di distribuzione ed è legata a diversi fattori, quali le condizioni della rete locale, la distanza dell'utenza dalla cabina primaria, ecc.. L'utente da parte sua, quando è possibile scegliere tra fornitura in BT e fornitura in MT, in base ad un'analisi dei costi può decidere se scegliere l'una oppure l'altra soluzione. L'energia fornita in MT ha un costo al kWh inferiore rispetto a quella fornita in BT. Anche se bisogna valutare il tempo di ammortamento della cabina di trasformazione, quantificabile in circa uno o due anni, il costo è comunque ampiamente compensato dal basso prezzo per kWh dell'energia fornita in MT.

### 12.2 Struttura e dimensioni minime di una cabina

Le cabine sono nella maggioranza dei casi ubicate nei locali stessi dello stabilimento da esse servito e sono costituite fondamentalmente da tre locali distinti. Per consentire l'allaccio alla rete di MT due locali devono essere destinati alla società di distribuzione: il primo per le apparecchiature di sezionamento, il secondo per i gruppi di misura dell'energia. Il terzo locale è destinato a contenere il trasformatore e le apparecchiature di BT di pertinenza dell'utente. Le dimensioni minime dei locali (fig. 17.1) e i canali di accesso per i cavi di media tensione e per i cavi degli ausiliari devono essere concordati con la società di distribuzione. Le soluzioni costruttive possono essere molteplici, anche se fondamentalmente si possono distinguere due situazioni:

- **Disposizione a giorno:** l'alimentazione dalla MT, che può essere ottenuta in cavo o con linea aerea, accede alle apparecchiature in vista fino a raggiungere il trasformatore. Il quadro di BT può essere realizzato con elementi singoli, in caso di pochi dispositivi, o racchiusi in quadro metallico. Ovviamente, per motivi di sicurezza, i locali devono essere accessibili solo al personale autorizzato.
- **Disposizione in celle (cabine prefabbricate):** ogni elemento del circuito è sistemato all'interno di una cella unificata e la combinazione di più celle costituisce la cabina.

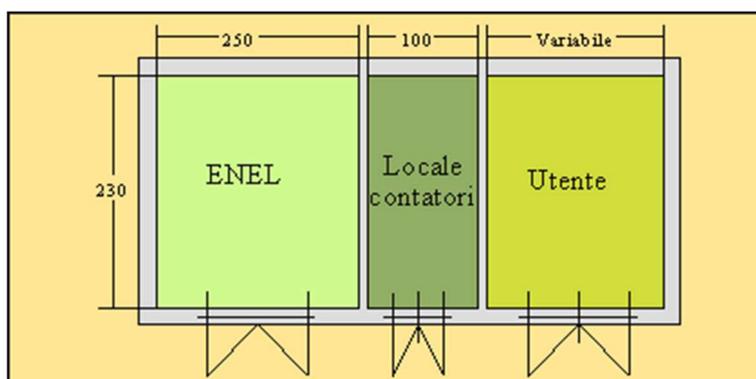


Fig. 12.1 – Dimensioni minime (in cm) più comuni dei locali di una cabina – Altezza minima per alimentazione in cavo 230 cm, per alimentazione aerea 800 cm

### 12.3 Lato media tensione

Una cabina vista dal lato MT può avere sostanzialmente due configurazioni:

**Cabina terminale** – la linea in MT si ferma nel punto d’installazione della cabina. Nella fig. 12.2 è rappresentata una cabina dotata di un unico trasformatore alimentata, come normalmente accade, da una sola linea. Si può notare il sezionatore  $S_1$  munito di coltelli di terra interbloccati con quelli di linea che servono, in occasione di lavori, per mettere a terra automaticamente la linea a monte quando si ha l’apertura dei coltelli di linea. Il sezionatore  $S_2$ , anch’esso munito di coltelli di terra, e l’interruttore I (l’interruttore serve anche come protezione dalle sovracorrenti) sono di pertinenza dell’utente per le manovre sul lato MT.

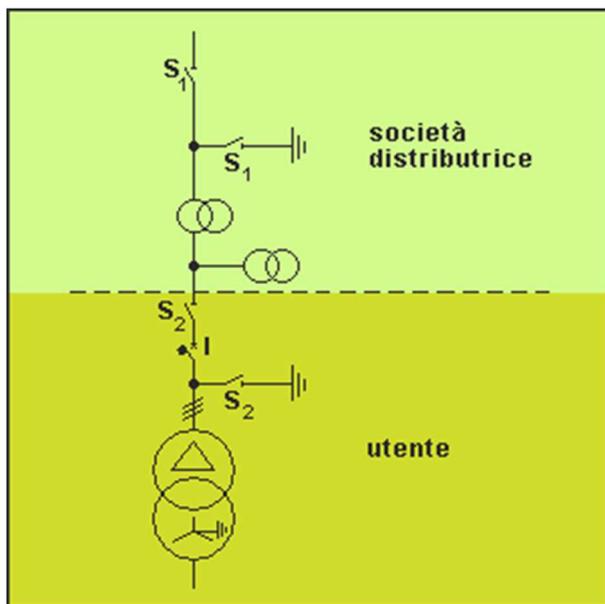


Fig. 12.2 – Lato media tensione di una cabina utente MT/BT

Sovente per potenze installate non molto elevate il gruppo sezionatore-interruttore è sostituito, perché più economico, da un interruttore di manovra-sezionatore sotto carico dotato di una terna di fusibili MT per la protezione dalle sovracorrenti (fig. 12.3).

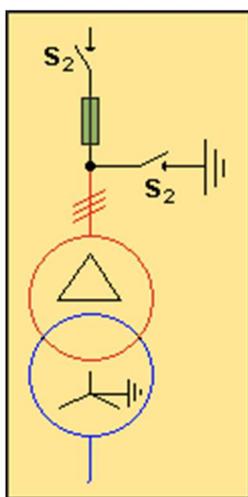
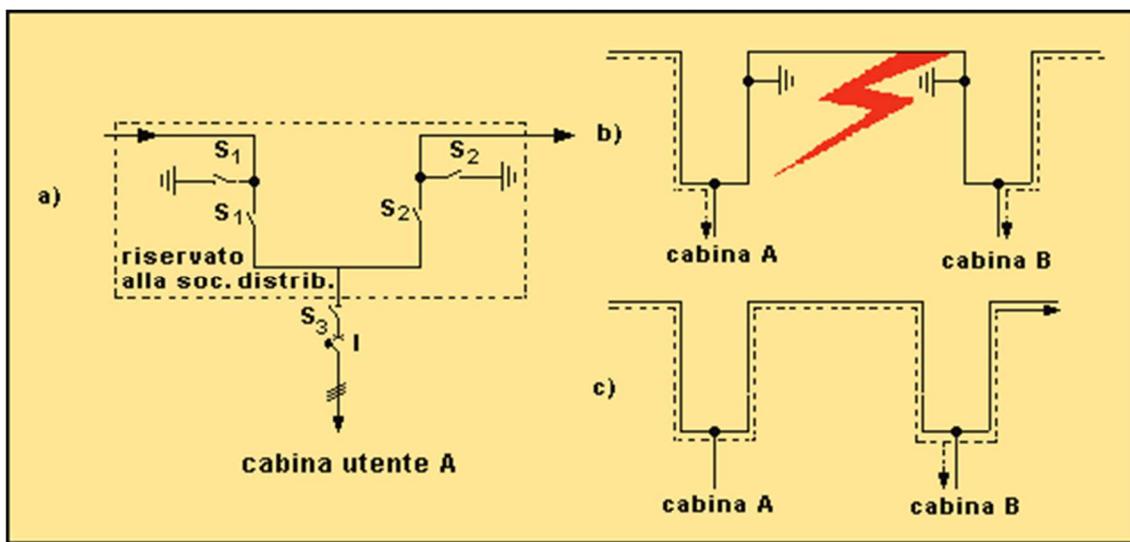


Fig. 12.3 - Lato MT con gruppo sezionatore sotto carico-fusibili

**Cabina alimentata in derivazione o inserita in linea ad anello** – deve essere previsto un entra ed esci, ubicato nel locale MT della società distributrice, che permetta alla linea di proseguire per l'alimentazione delle altre cabine, anche in caso di guasto in un punto qualsiasi dell'anello (fig. 12.4).



S1, S2: sezionatori sotto carico dell'entra-esci

S3: sezionatore di cabina

I: interruttore generale di cabina

Fig. 12.4 – a) Alimentazione di cabina tramite entra-esci  
b) In caso di guasto sul tratto di linea c) In caso di esclusione della cabina A

## 12.4 Dimensionamento dei componenti MT

### 12.4.1 Conduttori

I conduttori del lato media tensione sono costituiti normalmente da tondini nudi di rame (o alluminio) installati a giorno. La corrente del lato MT è di valore piuttosto modesto perciò si adottano sovente tondini del diametro di 8 mm (un tondino di rame nudo installato a giorno può sopportare un'intensità di corrente di circa 140 A) dimensionati per ottenere una buona resistenza meccanica nei confronti delle sollecitazioni elettrodinamiche e quindi di sezione superiore alle reali esigenze di portata. I tondini sono montati su isolatori rigidi distanziati di 1, 1,2 m e l'isolamento è ottenuto tramite il distanziamento in aria. Le distanze minime, funzione della tensione massima di riferimento per l'isolamento, possono essere calcolate tramite le seguenti:

Distanza minima fra i conduttori	$D_1(cm) = 8cm + 0,8xU_M(kV)$
Distanza minima tra i conduttori e massa (mensole, muri ecc.) Dove $U_M$ è la tensione massima di riferimento per l'isolamento – ad esempio per una cabina con $U_n=20\text{ kV}$ $V_M=24\text{ kV}$	$D_2(cm) = 6cm + 0,6xU_M(kV)$
Altezza dei conduttori dal pavimento	$h = 300cm + U_M(kV)$

Queste distanze minime si riferiscono all'aria come isolante. Usando un isolante diverso, come ad esempio esafluoruro di zolfo ( $SF_6$ ) nelle esecuzioni blindate, le distanze minime cambiano, diminuendo all'aumentare della rigidità dielettrica dell'isolante.

### 12.4.2 Apparecchi di manovra

Sono scelti principalmente in base alla tensione d'esercizio, al livello d'isolamento corrispondente a  $U_M$ , alla portata, e al potere d'interruzione. Oltre a questo, nella scelta delle apparecchiature di manovra, l'utente deve rispettare le condizioni poste dalla società distributrice per evitare possibili interventi intempestivi che potrebbero influire sulla continuità del servizio elettrico; in altre parole è necessario garantire la selettività tra le apparecchiature dell'utente e quelle della società distributrice installate in cabina primaria. A tal fine per potenze fino a 400 kVA si possono impiegare interruttori di manovra-sezionatori con fusibili, per potenze superiori a 400 kVA interruttori automatici con due o tre relè di massima corrente a tempo indipendente con corrente d'intervento istantaneo non superiore a 600 A. Il motivo per cui si considera come livello massimo 400 kVA per l'impiego dell'interruttore di manovra-sezionatore con fusibili è dovuto al fatto che nel caso di impianti a 20 kV la curva di intervento del fusibile da 40 A (protezione per un trasformatore di 400 kVA) non interferisce ancora con le curve di intervento dei relè dell'interruttore di cabina primaria della società distributrice (vale anche per il fusibile da 63 A che protegge il trasformatore da 400 kVA a 15 kV (ovviamente non è impedito l'impiego di un interruttore automatico). Per ripartenze di linee di MT superiori ai venti metri, l'interruttore deve essere equipaggiato anche con relè di terra con intervento istantaneo a corrente di intervento non superiore a 5 A.

In particolare la corrente totale sul lato media tensione è data da:

$$I_1 = \frac{A_n}{\sqrt{3}xU_1}$$

dove:  $A_n$  è la potenza apparente in kVA e  $U_1$  è la tensione nominale lato MT in kV.

La scelta della portata sarà effettuata tra apparecchiature con valori non inferiori a quelli così calcolati, scelta che comunque non è mai un problema poiché gli interruttori e i sezionatori MT sono solitamente costruiti con portate minime di 200, 400A. Per quanto riguarda la scelta del potere d'interruzione si deve far riferimento alla potenza di corto circuito della rete nel punto d'installazione della cabina. Questo dato è fornito dalla società distributrice ed è generalmente dell'ordine dei 500,1000 MVA. Indicando con  $A_{cc}$  tale potenza, con  $I_{cn}$  il potere d'interruzione simmetrico e con  $U_M$  il valore massimo della tensione di riferimento dell'isolamento, si ottiene:

$$A_{cc} = \sqrt{3}xU_MxI_{cn}$$

da cui:

$$I_{cn} = \frac{A_{cc}}{\sqrt{3}xU_M}$$

L'interruttore generale all'ingresso della cabina e quelli posti sui montanti dei trasformatori dovranno avere un potere d'interruzione uguale o superiore a tale valore. Teoricamente gli interruttori posti sui montanti dei trasformatori potrebbero essere scelti con una  $I_{cn}$  inferiore a causa delle impedenze dei collegamenti a monte che dovrebbero limitare il valore della corrente di corto circuito. In pratica, essendo le impedenze di tali collegamenti di valore modesto, il valore della corrente di corto circuito non varia significativamente e gli interruttori sono generalmente scelti tutti con lo stesso potere d'interruzione. Quando la cabina è accessibile anche a persone non addestrate, è consigliabile l'uso di sezionatori sotto carico per evitare manovre errate come l'apertura del sezionatore quando vi è corrente nel circuito. Questo problema non esiste nelle cabine prefabbricate perché esistono dei dispositivi di blocco che impediscono le manovre errate. Il quadro di MT può essere protetto e fondamentalmente di due tipi:

#### **Quadro protetto con isolamento in aria**

Sono di dimensioni unificate fino alla tensione di esercizio di 24 kV e sono caratterizzati dal sezionatore o interruttore di manovra-sezionatore di tipo rotativo che determina, quando è aperto, la segregazione dello scomparto sbarre e lo scomparto linea. Fino a 400 kVA è generalmente dotato d'interruttore di manovra-sezionatore con fusibili. L'intervento anche di un solo fusibile determina l'apertura automatica dell'interruttore di manovra-sezionatore. I principali dati elettrici di questo tipo di quadro sono: tensione nominale di esercizio 24 kV, corrente nominale 400-630-800 A, corrente di corto circuito simmetrica 12,5, 16 kA. Per potenze superiori a 400 kVA il quadro è invece equipaggiato con sezionatore e interruttore automatico a volume d'olio ridotto o in gas SF<sub>6</sub>.

### Quadro protetto con isolamento in SF<sub>6</sub>

È costituito da un involucro di acciaio inox a perfetta tenuta di gas all'interno del quale sono montate le apparecchiature. L'isolamento è fornito dalla presenza dell'SF<sub>6</sub> alla pressione di 120 kPa. Le principali caratteristiche sono: tensione nominale 24 kV corrente nominale 400-630 A, corrente di corto circuito simmetrica di 16-25 kA. Rispetto a un quadro con isolamento in aria presenta il vantaggio di avere dimensioni ridotte e di non risentire l'influenza delle condizioni ambientali. È quindi particolarmente adatto all'installazione in ambienti umidi o inquinati.

#### 12.4.3 Fusibili

Spesso la protezione da corto circuito è fornita da fusibili di forma cilindrica montati su isolatori con attacchi a baionetta ed eventualmente manovrabili per mezzo di fioretto (attrezzo ad asta isolato che permette l'apertura manuale in sicurezza). La portata, il potere d'interruzione e la tensione sono scelti con gli stessi criteri visti per gli interruttori. La portata dovrà essere scelta in base alla corrente nominale primaria I<sub>1</sub> risultante dalla nota relazione:

$$I_1 = \frac{A_n}{\sqrt{3}xU_1}$$

La scelta della terna di fusibili a media tensione dovrà essere fatta con una corrente nominale non inferiore alla I<sub>1</sub> e tale da non provocare un intervento intempestivo (come ad esempio durante l'inserzione del trasformatore con correnti che assumono anche valori dieci volte superiori alla I<sub>1</sub>) e da garantire la selettività con il resto dell'impianto (normalmente sono scelti con corrente nominale superiore di due o tre volte rispetto alla corrente primaria).

Tensione di riferimento per l'isolamento (kV)	Corrente nominale (A)	Potere d'interruzione simmetrico	
		(kA eff.)	(MVA)
12	2-4-6-3-10-16-25-30-40	50	1000
	63-80	40	800
	100-125-160	31,5	600
17,5	2-4-6-3-10-16-20-25	31,5	1000
	30-40-63-80-100 30-40-63-80-100	25	800
24	2-4-6-3-10-16-20-25-30-40-63-80-100	25	1000
36	2-4-6-3-10-16-20-25-30-40	12,5	750

Tab. 12.1 – Caratteristiche elettriche di fusibili MT

## 12.5 Scelta delle protezioni

### 12.5.1 Protezione dalle sovratensioni

Le sovratensioni che possono interessare le cabine possono essere di origine sia interna (ad esempio a causa di un'apertura molto rapida di un circuito induttivo), sia atmosferica (dovuta a fulminazioni dirette o indirette delle linee). Una sovratensione si manifesta con un anormale innalzamento della tensione verso terra e/o tra le fasi rispetto al normale valore di funzionamento. La protezione delle sovratensioni di origine interna si ottiene con il coordinamento dell'isolamento o mediante dispositivi adatti per lo scopo, la protezione dalle sovratensioni di origine atmosferica, solo per le cabine ad alimentazione per via aerea (le linee aeree fungono da guida d'onda per le sovratensioni), mediante i cosiddetti scaricatori di sovratensioni installati sul lato MT.

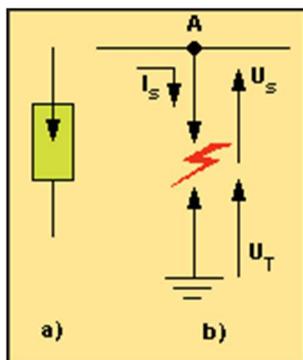


Fig. 12.5 – a) Simbolo grafico dello scaricatore di sovratensioni; b) Principio di funzionamento

Lo scaricatore (fig. 12.5) è sostanzialmente costituito da due elettrodi, di cui uno collegato alla linea e l'altro collegato a terra. In condizioni normali di esercizio, anche quando si verifica una sovratensione compatibile con il livello di isolamento del sistema, lo scaricatore, comportandosi come un isolatore, mantiene la linea isolata da terra. Quando la sovratensione tra il punto A e la terra supera il livello d'innescò del dispositivo, tra gli elettrodi si manifesta una scarica che convoglia verso terra l'onda di sovratensione, proteggendo le apparecchiature installate a valle finché, quando la tensione ritorna ai valori normali, lo scaricatore interrompe l'arco elettrico ripristinando le condizioni di normale funzionamento. La tensione verso terra durante la scarica vale:

$$V_{A0} = V_S + V_T$$

dove  $V_S$  e  $V_T$  sono rispettivamente la tensione applicata allo scaricatore e alla presa di terra quando sono attraversati dalla corrente di scarica  $I_S$ .  $V_{A0}$  è la tensione che sollecita le apparecchiature a valle (che dovranno per questo essere dimensionate con un isolamento adeguato) nel momento del guasto. Gli scaricatori devono essere installati il più vicino possibile alle apparecchiature da proteggere. Normalmente se ne installa uno all'ingresso della cabina e uno direttamente sul trasformatore (fig. 12.6).

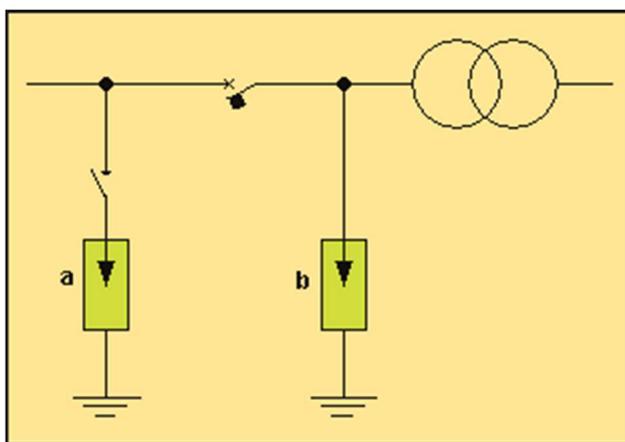


Fig. 12.6 – Scaricatori installati all'ingresso della cabina (a) e direttamente sul trasformatore (b)

Di seguito sono descritti, dal punto di vista costruttivo, i diversi tipi di scaricatori per la MT che si trovano in commercio:

**Scaricatori spinterometrici**, sono costituiti da un isolatore su cui sono montate due aste metalliche regolate a una distanza che dipende dalla tensione d'innescò (fig. 12.7). Sono montati direttamente sulle apparecchiature da proteggere come ad esempio i trasformatori.

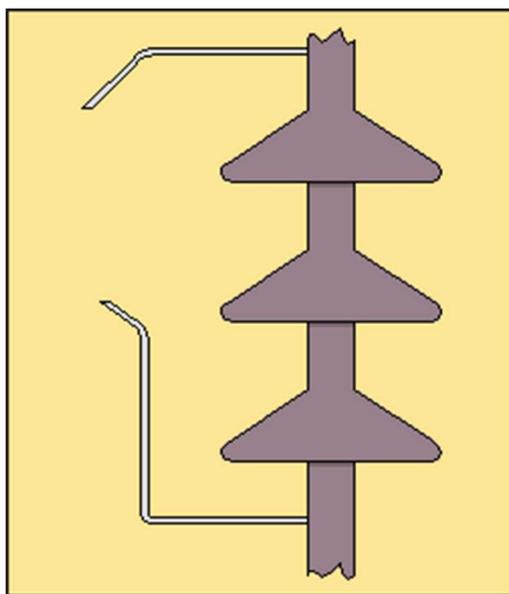


Fig. – 12.7 – Scaricatore spinterometrico

**Scaricatore a espulsione**, è costituito dalla serie di uno spinterometro esterno e uno interno posto in un tubo isolante rivestito da una particolare sostanza organica. L'arco elettrico sviluppa calore che, agendo su questo rivestimento, produce una notevole quantità di gas che, scaricandosi all'esterno, allunga l'arco, lo raffredda e lo estingue.

**Scaricatori a resistenza non lineare**, sono impiegati prevalentemente in sistemi ad alta tensione. Sono costruiti connettendo in serie uno spinterometro ( $S_p$ ) e una resistenza  $R$  con caratteristica volt-amperometrica non lineare (fig. 12.8 a). Durante la fase di scarica la corrente aumenta ma la tensione rimane pressoché costante dal momento che la resistenza  $R$ , costituita da un particolare materiale ceramico, nonostante l'aumento della temperatura a cui è sottoposta per effetto Joule, diminuisce di valore. Durante la fase di annullamento della corrente la tensione è minore (curva a linea continua) dei valori rappresentati dalla curva a linea tratteggiata (fig. 12.8 b).

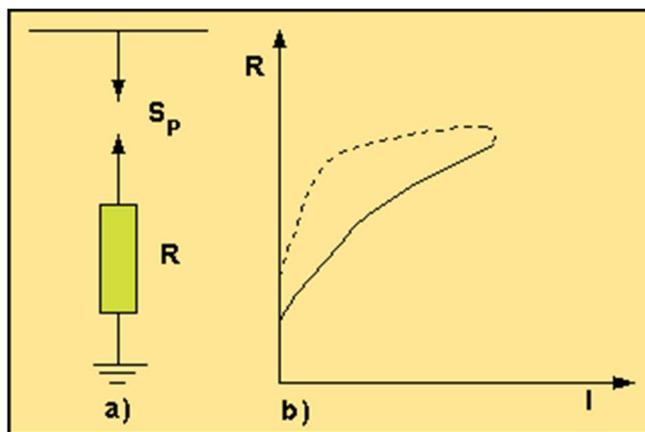


Fig. 12.8 – a) Rappresentazione di uno scaricatore a resistenza non lineare; b) Caratteristica volt-amperometrica

### 12.6 Trasformatore MT/BT

Il trasformatore è la parte più importante della cabina di trasformazione. La sua scelta condiziona la configurazione della cabina ed è effettuata sulla base di diversi fattori. Non essendo argomento specifico di questa trattazione e volendo dare alcune indicazioni di carattere generale si può affermare che per piccole potenze, fino a 100,200 kVA, si può installare un solo trasformatore, mentre per potenze superiori 1000,1500 kVA si suddivide la potenza su più unità, considerando le singole potenze dei trasformatori che danno i costi più bassi. Nella fascia intermedia se è richiesta una continuità nel servizio si sceglierà la soluzione con più trasformatori, altrimenti si potrà scegliere la soluzione più economica di un solo trasformatore. Un'altra caratteristica da considerare nella scelta è il *tipo di raffreddamento* che può essere in aria o in olio. Nel caso di trasformatori raffreddati in olio con quantitativi superiori ai 500 kg è necessario prendere provvedimenti contro la fuoriuscita dell'olio prevedendo un pozzetto per la raccolta mentre per quantitativi superiori a 25 kg ma inferiori a 500 kg è sufficiente che sia impedito il propagarsi dell'olio all'esterno, che la cabina abbia una resistenza al fuoco minima di 60 minuti (REI 60) e che sia ventilata solo verso l'esterno. In funzione del tipo di raffreddamento i trasformatori sono siglati come segue:

AN= raffreddamento a circolazione naturale d'aria;

AF= raffreddamento a circolazione forzata d'aria;

ONAN= raffreddamento a circolazione naturale di olio e di aria;

ONAF= raffreddamento a circolazione forzata di olio e naturale di aria;

OFAF= raffreddamento a circolazione forzata di olio e di aria.

La scelta più frequente cade sui tipi AN e ONAN perché, non essendo quasi mai possibile presidiare le cabine, è sconsigliabile utilizzare macchine che impieghino ventilatori o circolatori di olio. Altre importanti caratteristiche che devono essere considerate sono:

- *potenza nominale*, che è il prodotto della massima corrente prelevabile al secondario per la tensione a vuoto sul secondario stesso;
- *tensione nominale secondaria a vuoto*, che può essere sia quella di fase  $V_f$  sia quella concatenata  $V_c$
- *rapporto di trasformazione*, che indica il rapporto tra la tensione nominale primaria e quella secondaria a vuoto;
- *collegamenti degli avvolgimenti*, per i trasformatori di cabina quello più usato è il triangolo stella;
- *gruppo CEI di collegamento*, è indicato convenzionalmente con un numero che, moltiplicato per 30, dà il valore dell'angolo di ritardo della tensione di fase lato BT rispetto a quella del lato MT (importante per trasformatori in parallelo che per funzionare correttamente devono avere uguale tensione primaria, uguale valore del rapporto di trasformazione a vuoto e devono appartenere allo stesso gruppo CEI di collegamento);
- *tensione di corto circuito percentuale  $U_{cc}\%$* , è la tensione, rapportata in percentuale alla nominale, che con i morsetti del secondario in corto circuito fa circolare la corrente nominale;
- *Corrente a vuoto percentuale  $I_0\%$* , corrente a vuoto percentuale rapportata in percentuale alla corrente nominale (utile per definire il rifasamento del trasformatore);
- *perdite*, i trasformatori sono caratterizzati da perdite nel rame alla corrente nominale  $P_{cu}$  e perdite nel ferro alla tensione nominale  $P_{fe}$ ;
- *corrente a vuoto*, è la corrente assorbita dal lato MT col lato BT a vuoto;
- *tipo di servizio*, dipende dal diagramma di carico delle utenze alimentate. Normalmente si impiegano trasformatori a servizio continuo.

### 12.7 Lato bassa tensione

Le soluzioni circuitali del lato BT di una cabina possono assumere diverse configurazioni dipendenti da vari fattori tra i quali: numero di trasformatori, numero e disposizione dei carichi, tipo di distribuzione a tre o a quattro fili e valori delle correnti di cortocircuito. Gli schemi che seguono sono un esempio di alcuni casi tipici.

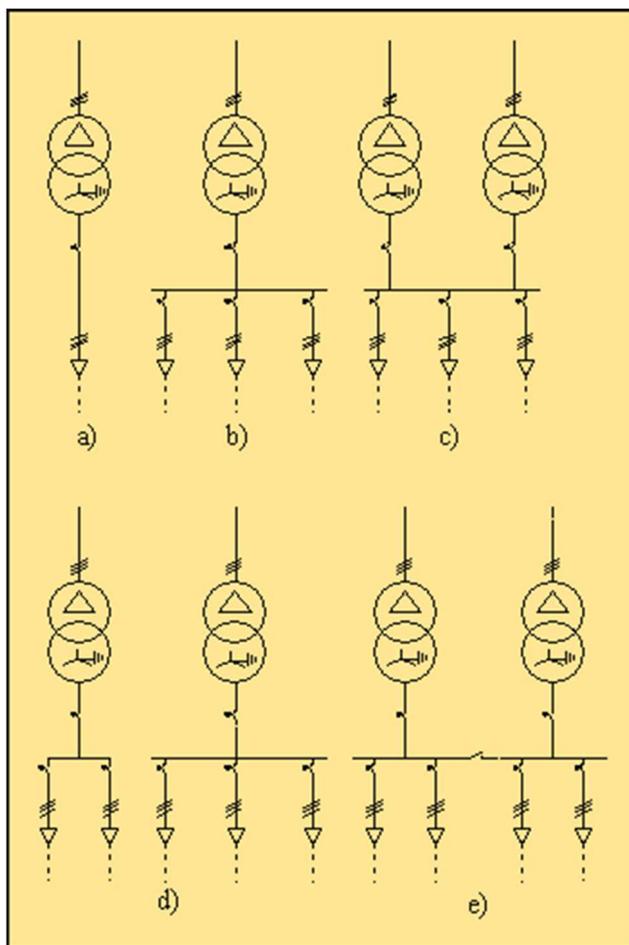


Fig. 12.9 – Schemi unifilari lato BT di alcuni casi tipici di cabine di trasformazione e distribuzione: a) un solo trasformatore con una sola linea in partenza; b) un solo trasformatore con più linee in partenza; c) due trasformatori con più linee in partenza; d) due trasformatori con sbarre BT separate; e) sbarre sezionate con possibilità di parallelo dei trasformatori.

Sul lato bassa tensione non sono generalmente impiegati sezionatori in quanto il sezionamento è svolto dagli stessi interruttori automatici. Il quadro bassa tensione sarà quindi costituito da un interruttore generale magnetotermico (eventualmente differenziale anche se un guasto sul quadro BT di cabina generalmente non risulta pericoloso) la cui funzione è di proteggere il trasformatore dai sovraccarichi.

Per la scelta occorre calcolare la corrente ( $I_2$ ) sul secondario del trasformatore per mezzo della seguente espressione:

$$I_2 = \frac{A_n}{\sqrt{3}xU_2}$$

dove:

$A_n$  è la potenza nominale del trasformatore in kVA

$U_2$  è la tensione nominale secondaria del trasformatore in V

L'interruttore dovrà possedere una corrente nominale non inferiore a questo valore e un potere d'interruzione non inferiore alla presunta corrente di corto circuito nel punto d'installazione. Oltre all'interruttore generale, nel quadro BT saranno installati gli interruttori magnetotermici (eventualmente differenziali) scelti in base alla corrente d'impiego e coordinati per la protezione dai sovraccarichi delle linee di distribuzione dimensionate in base alla potenza da distribuire e tenendo conto che la corrente trasportata è notevolmente superiore rispetto al lato MT.

## 12.8 Impianto di terra

### 12.8.1 Considerazioni generali

L'impianto di terra delle cabine d'utente assolve normalmente la duplice funzione di messa a terra di protezione, a cui collegare le masse delle apparecchiature, e di funzionamento, a cui collegare il neutro del secondario del trasformatore nel caso di distribuzione di tipo TN o, anche se più raramente, di tipo TT. La Norma non vieta l'impiego del sistema TT negli impianti con cabina privata (il sistema TT tra l'altro è più semplice e più sicuro del sistema TN), ma, essendo richiesti due o più dispersori separati tra loro di almeno venti metri, difficilmente si dispone di aree sufficientemente ampie per installare l'impianto di dispersione. In alcuni casi, anche se piuttosto raramente, si impiega il sistema IT. Dal punto di vista della sicurezza, per quanto concerne il trasferimento della tensione totale di terra dalla MT, è senz'altro più sicuro del sistema TT ma negli impianti di normale distribuzione, quando l'estensione dell'impianto è notevole, è difficoltoso garantire sufficienti livelli di isolamento. La trattazione seguente prenderà quindi in considerazione solo le cabine che presentano sia la parte a MT sia la parte in BT collegate a un unico impianto di terra (sistema TN). L'impianto di terra dovrà essere coordinato in modo opportuno per evitare, in caso di guasto sulle apparecchiature in MT, il trasferimento di elevate tensioni totali di terra che, attraverso il PE, si potrebbero propagare alle masse e alle masse estranee dell'impianto utilizzatore. Un buon livello di sicurezza sia all'interno sia all'esterno dell'impianto lo si può ottenere contenendo le tensioni di passo e di contatto con particolari accorgimenti atti a ridurre i gradienti di potenziale nel terreno e a garantire una efficiente equipotenzialità tra le masse e le masse estranee. Queste tecniche, a volte, possono essere estremamente costose (quando il terreno non permette di ottenere valori di resistenza del dispersore sufficientemente bassi) e può rendersi necessario l'intervento di tecnici specializzati in grado di compiere complicate misure strumentali.

## 12.9 Protezione dai contatti diretti e indiretti per guasti in media tensione

### 12.9.1 Corrente di guasto a terra ( $I_G$ ) e tensione totale di terra ( $U_T$ )

I sistemi a media tensione in uso in Italia sono isolati da terra e la corrente di guasto si chiude prevalentemente attraverso la capacità verso terra delle linee. Le reattanze capacitive sono largamente prevalenti (qualche centinaio di ohm) rispetto alla resistenza del dispersore (qualche decimo di ohm) per cui la corrente  $I_G$ , *corrente massima di guasto a terra*, che si richiude attraverso l'anello di guasto può essere ritenuta costante, indipendentemente dal valore della resistenza del dispersore e dal numero dei dispersori in parallelo. La corrente  $I_G$  nelle reti isolate da terra è generalmente di valore piuttosto modesto (qualche decina di ampere per reti costituite prevalentemente da linee aeree, e superiori al centinaio di ampere per reti distribuite in cavo). Si tenga presente che, specialmente nei centri abitati, si tende a sostituire le linee aeree con quelle in cavo) e, nella maggioranza dei casi (la sola componente simmetrica), viene fornita dalla società distributrice.

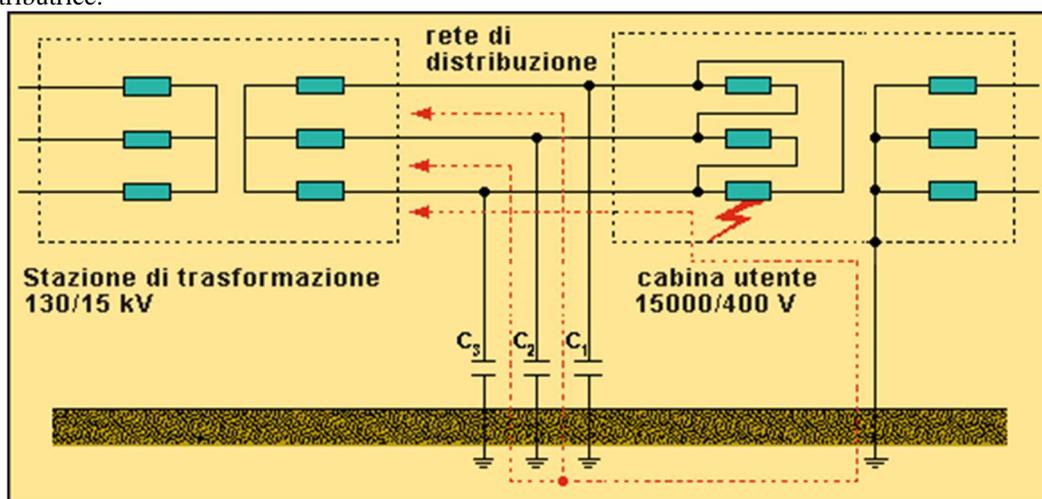


Fig. 12.10 - Guasto in MT in un sistema TN.

In tutti gli altri casi può essere determinata con la formula approssimata fornita dalle Norme CEI 11-8 (fig. 12.11):

$$I_G = U(0,003L_1 + 0,2L_2)$$

dove:

$I_G$  = corrente convenzionale di terra

$U$  = tensione nominale in kV

$L_1$  = somma delle lunghezze delle linee aeree in km

$L_2$  = somma delle lunghezze delle linee in cavo in km

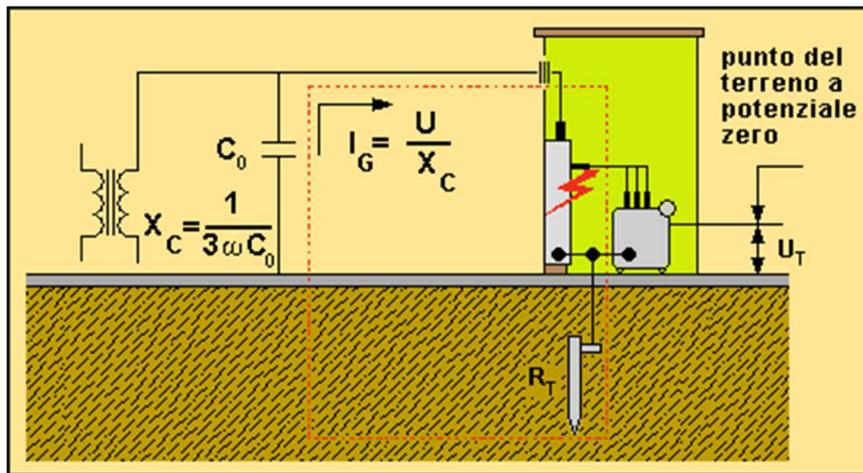


Fig. 12.11 – Tensione totale di terra ( $U_T$ ) nei guasti in MT

Circuito equivalente	Formula approssimata per il calcolo di $I_G$
	$I_G = U(0,003L_1 + 0,2L_2)$ <p> <math>I_G</math> = corrente convenzionale di terra  <math>U</math> = tensione nominale in kV  <math>L_1</math> = somma delle lunghezze delle linee aeree in km  <math>L_2</math> = somma delle lunghezze delle linee in cavo in km         </p>

Fig. 12.12 – Cabine alimentate in cavo con armature collegate ai dispersori di altre cabine. La  $I_G$  si divide fra più dispersori.

Nota la  $I_G$  è possibile ricavare la tensione totale di terra  $U_T$  (si ricorda che la tensione totale di terra  $U_T$  di un sistema elettrico rispetto ad un dispersore è il valore di tensione che si stabilisce in caso di contatto fase-terra tra il dispersore stesso e i punti del terreno sufficientemente lontani da potersi considerare a potenziale zero) con la nota relazione:

$$U_T = I_G \times R_T$$

La relazione è valida quando tutta la corrente transita sul dispersore dell'utente come nel caso delle cabine alimentate con linee aeree senza fune di guardia collegata a terra. Quando la cabina è alimentata da cavi con armatura collegata ai dispersori di altre cabine, nel dispersore dell'utente transita solo una quota parte della corrente di guasto, la corrente di terra  $I_T$  (fig. 12.12). La corrente si suddivide infatti in ragione inversa alle rispettive resistenze e la tensione totale di terra  $U_T$  è data dalla relazione:

$$U_T = I_G \times R_{Teq}$$

$R_{Teq}$  è la resistenza equivalente del parallelo di più dispersori ed è, in sede di progetto, difficilmente quantificabile ragion per cui non resta che utilizzare il solo valore della resistenza del proprio dispersore  $R_T$ . Non va dimenticato, inoltre, che difficilmente l'utente ha il controllo della rete di distribuzione per cui il valore di  $R_{Teq}$  potrebbe, a causa di guasti o modifiche, subire delle variazioni non facilmente quantificabili con conseguente pericoloso aumento di  $U_T$ . Nel calcolo della  $U_T$  si dovrebbe quindi utilizzare la  $I_T$  ma, viste le difficoltà di valutazione di questo valore, a favore della sicurezza, si utilizza normalmente la corrente  $I_G$ .

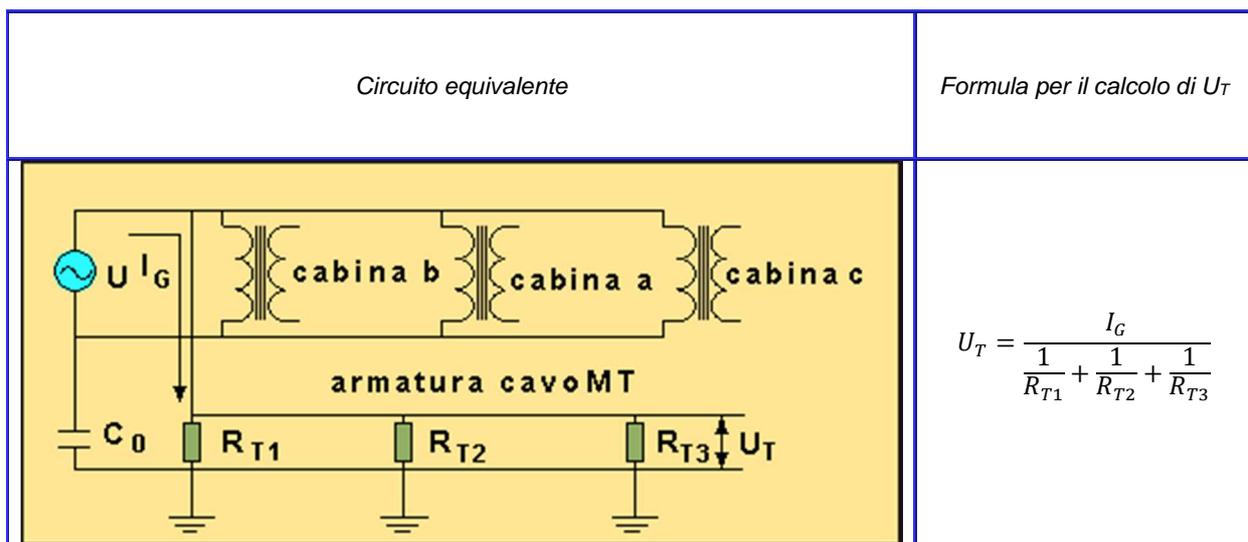
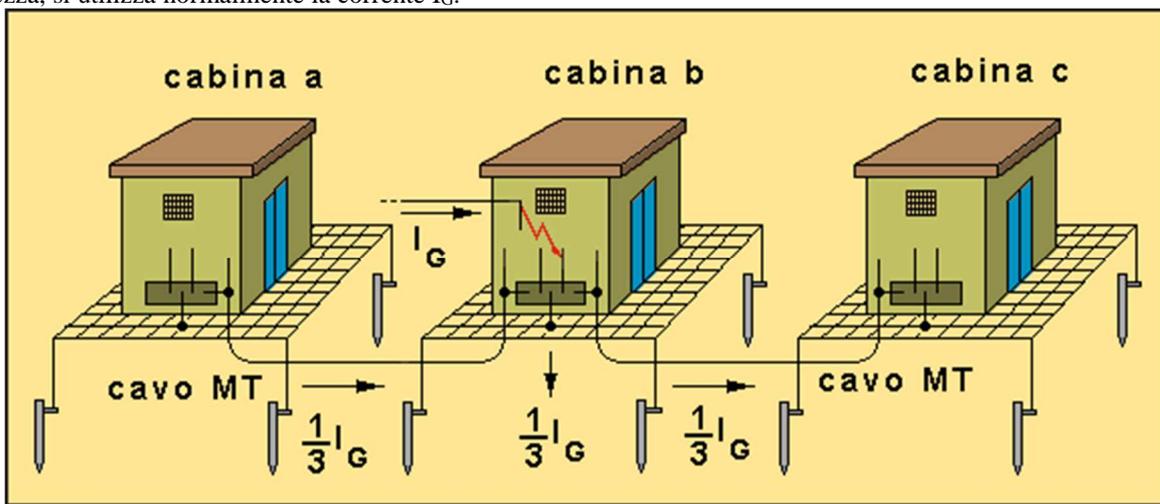


Fig. 12.12 – Cabine alimentate in cavo con armature collegate ai dispersori di altre cabine. La  $I_G$  si divide fra più dispersori.

### 12.9.2 Tensioni di passo ( $U_P$ ) e di contatto ( $U_C$ )

Le correnti di guasto a terra ( $I_G$ ) sulla MT sono interrotte in un tempo che dipende dalle caratteristiche del guasto e dal sistema di protezione previsto. In ogni caso il tempo totale di interruzione generalmente non supera 1 s (i tempi di intervento delle protezioni devono essere richiesti alla società distributrice). L'impianto di terra deve essere dimensionato, in relazione ai tempi di intervento delle protezioni in MT, in modo che il valore della sua resistenza e la geometria del dispersore sia tale da permettere di contenere le tensioni di passo ( $U_P$ ) e di contatto ( $U_C$ ), sia all'interno sia all'esterno della cabina. L'andamento dei valori delle tensioni di contatto ammessi  $U_C$  (V) ( $U_{TP}$  secondo la nuova norma CEI 11-1) in funzione della durata del guasto  $t_F$  (s) sono riportati nella curva di fig. 12.13 e riassunti nella tabella 12.2. La curva rappresenta il valore della tensione che può essere applicata al corpo umano da mano nuda a piedi nudi, con un valore dell'impedenza del corpo umano avente una probabilità pari al 50 % di non essere superata dalla popolazione, con una curva corrente tempo che presenta la probabilità del 5% di provocare fibrillazione ventricolare e con nessuna resistenza addizionale.

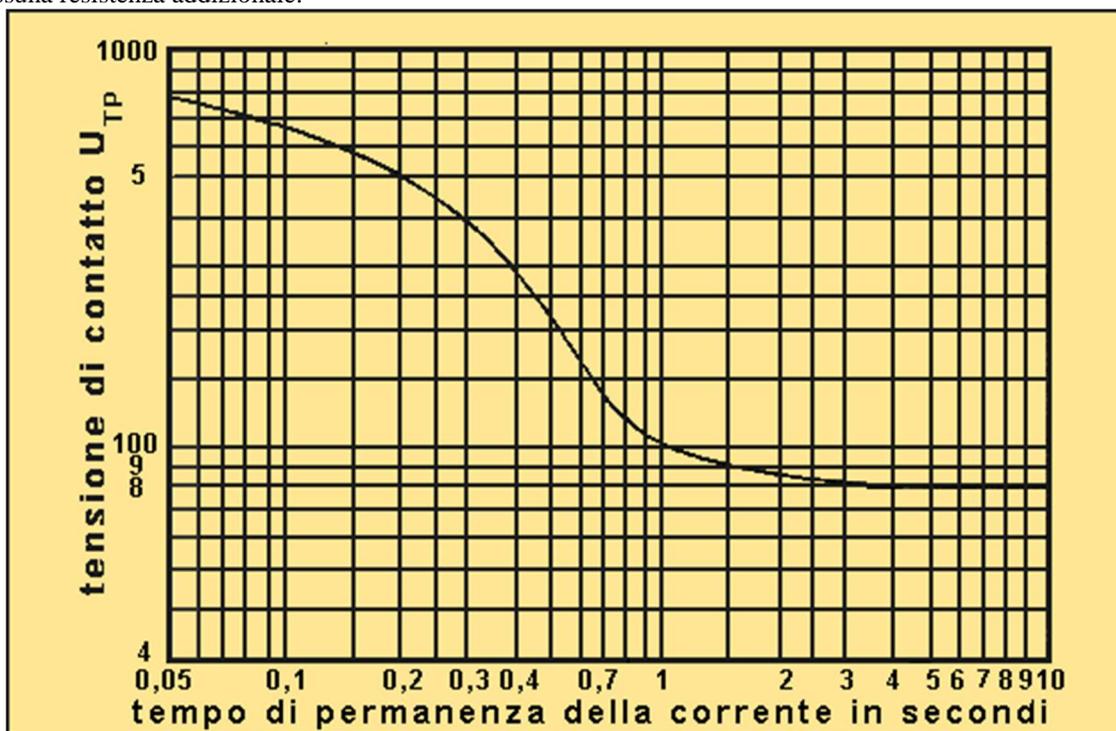


Fig.12.13 – Tensioni di contatto ammissibili  $U_{TP}$  ( $U_C$  per la vecchia norma) per correnti di durata limitata.

Note:

1) La curva rappresenta il valore della tensione che può essere applicata al corpo umano da mano nuda a piedi nudi, con un valore dell'impedenza del corpo umano avente una probabilità pari al 50 % di non essere superata dalla popolazione, con una curva corrente tempo che presenta la probabilità del 5% di provocare fibrillazione ventricolare e con nessuna resistenza addizionale.

2) La curva è relativa a guasti a terra in impianti di alta tensione

3) Se la durata della corrente è molto più lunga di quanto mostrato nel grafico, si può usare per  $U_{TP}$  un valore di 75 V

Durata del guasto (s)	Tensione di contatto ammissibile $U_C$ (V) ( $U_{TP}$ secondo CEI 11-1)	
	Nuova norma CEI 11-1	Vecchia norma CEI 11-8
10	80	50
2	85	50
1	103	70
0,8	120	80
0,7	130	85
0,6	155	125
0,5	220	160
0,2	500	160
0,14	600	160
0,08	700	160
0,04	800	160

Tab.12. 2 - Tensioni di contatto ammissibili  $U_{TP}$  per correnti di durata limitata

Quando non è possibile limitare la tensione totale di terra entro i limiti fissati dalla Norma, soprattutto in caso di elevate correnti di guasto, la geometria del dispersore assume un'importanza fondamentale nel limitare le tensioni di passo e contatto. Un impianto di terra è tanto più efficiente quanto minore è la sua resistenza di terra e quanto più esso realizza un'elevata equipotenzialità sulla superficie del terreno. Le tensioni di passo e di contatto dipendono, infatti, come abbiamo visto, dalla tensione totale di terra e dall'andamento dei potenziali che si stabiliscono sulla superficie calpestabile.

### 12.9.3 Tipo di dispersore

Le caratteristiche dell'area di cui si dispone per l'installazione della cabina possono imporre il tipo d'impianto da realizzare. In particolare la resistività del terreno può assumere nel tempo valori anche molto diversi. Essendo la resistività del terreno molto influenzata dall'umidità, i rilievi dell'area interessata devono essere eseguiti, con uno dei metodi prescelti, possibilmente nelle condizioni più sfavorevoli (condizioni di terreno secco). Il dispersore può assumere diverse forme in funzione della pianta della cabina, dell'area disponibile e del valore della resistenza di terra che si vuole ottenere. Le figure mostrano alcune tra le soluzioni più diffuse con dispersori ad anello, integrati eventualmente con picchetti.

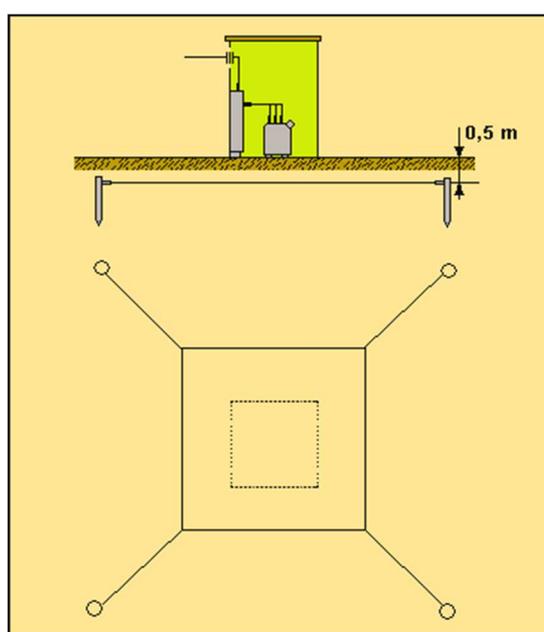


Fig. 12.14 – Impianto di terra per cabina con dispersore ad anello con quattro picchetti agli angoli

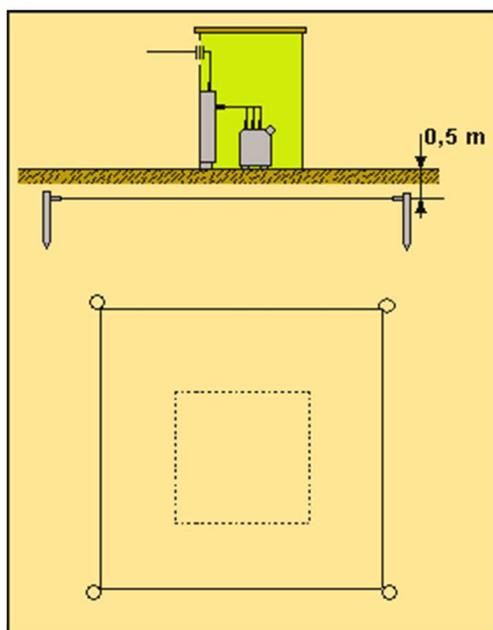


Fig. 12.15 – Impianto di terra per cabina con dispersore ad anello integrato con quattro picchetti periferici

Tali configurazioni risultano, con le normali correnti di guasto, più che sufficienti. Quando le correnti di guasto o la caratteristica del terreno non permettono di raggiungere risultati sufficienti si può adottare un dispersore del tipo a maglia. La distribuzione del potenziale sulla superficie del terreno è tanto più uniforme quanto più fitta è la magliatura. Si riducono in tal modo le tensioni di passo e contatto limitando generalmente i punti critici alla periferia del dispersore. Per questo motivo, allo scopo di uniformare meglio il potenziale sulla superficie del terreno e ridurre le tensioni di passo e di contatto, è bene intensificare l'orditura della maglia nelle zone periferiche. Nel caso di reti magliate, inoltre, un altro punto critico può essere la direzione diagonale dell'area del dispersore.

Le dimensioni minime dei componenti del dispersore, rilevabili da tabelle, (vedi il capitolo "impianti di terra") andrebbero verificate con la nota relazione:

$$S \geq \frac{1}{K} \sqrt{I_G^2 t}$$

ma con i valori minimi prescritti si ottengono sempre risultati largamente sufficienti.

#### 12.9.4 Calcolo della resistenza di terra ammissibile

Conoscendo la massima tensione totale di terra ammissibile e conoscendo il valore della corrente di guasto si può calcolare la resistenza di terra con la seguente relazione:

$$R_T = \frac{U_T}{U_G}$$

Se dalla misura della resistenza di terra, effettuata ad impianto ultimato, il valore risulta superiore a quello calcolato si devono effettuare le misure di passo e di contatto. Individuate le zone critiche occorre procedere alla modifica dell'impianto di terra oppure approntare idonei accorgimenti sostitutivi.

### 12.9.5 Accorgimenti atti a ridurre le tensioni di passo e di contatto e ad evitare il trasferimento di tensioni totali di terra pericolose

Ove possibile si può intervenire sul dispersore utilizzando dispersori a maglia con lato della maglia non superiore al metro e affondati il più possibile nel terreno e comunque a una profondità non inferiore a 0,5 m. Un'altra soluzione consiste nel creare una soletta di calcestruzzo con armatura metallica costituita da una rete elettrosaldata che, in particolare per ridurre le tensioni di contatto, può essere collegata al dispersore in alcuni punti. Per limitare il gradiente di potenziale sulle linee perimetrali del dispersore a maglia è possibile, oltre che rendere più fitta la magliatura, infiggere dei picchetti perimetrali ed eventualmente, nei casi più difficili, rivestire il suolo con almeno 5 cm di bitume. Quando la tensione totale di terra originata da guasti in MT non può essere contenuta entro i limiti pericolosi è necessario evitare il passaggio di tubazioni metalliche o di altri elementi metallici (reti metalliche di recinzione, rotaie, ecc.) nell'area d'influenza del dispersore. Le tensioni pericolose possono, infatti, essere trasferite anche a lunghe distanze, creando situazioni particolarmente pericolose in luoghi in cui non sono stati presi provvedimenti contro le tensioni di passo e contatto. Queste situazioni vanno assolutamente evitate distanziando le parti metalliche che transitano di almeno trenta o quaranta metri dall'area del dispersore. Se una tale soluzione non fosse praticabile, occorre interrompere la tubazione metallica con un tratto di tubo isolante sia in ingresso sia in uscita dal campo d'influenza del dispersore. Anche per le recinzioni metalliche che escono dall'area del dispersore devono essere prese opportune contromisure come ad esempio interrare ad una distanza di 60-70 cm una corda metallica collegata, ogni 3 metri circa, alla recinzione stessa. Il suolo che si trova in prossimità della recinzione viene così ad assumere potenziali con valori che si avvicinano alla  $U_T$  riducendo le tensioni di contatto a valori non pericolosi. E' interessante notare che la tensione totale di terra, oltre che dalle masse estranee, può essere trasferita a distanza anche dal PE. Un caso tipico è quello di una cabina recintata e con l'ingresso chiuso da cancello elettrico. Collegando il conduttore di protezione al cancello si crea una situazione pericolosa perché il terreno in prossimità dell'ingresso è a potenziale zero. Per raggiungere un sufficiente grado di sicurezza occorre estendere l'area del dispersore anche oltre il cancello elettrico oppure, ove questo non fosse possibile, isolare il suolo con uno strato di bitume.

### 12.9.6 L'impianto di terra all'interno della cabina

All'interno della cabina, tutti i collegamenti fino al dispersore sono denominati "conduttore di terra" (contrariamente a quello che avviene nei sistemi di prima categoria in cui si parla di CT, PE, EQP ed EQS) e devono avere una sezione minima non inferiore a 16 mm<sup>2</sup> se in rame, a 35 mm<sup>2</sup> se in alluminio e a 50 mm<sup>2</sup> se in ferro. Deve in ogni caso essere soddisfatta anche la nota relazione:

$$S \geq \frac{1}{K} \sqrt{I_G^2 t}$$

dove:

$K$  è un coefficiente che tiene conto del materiale (tab. 12.3);

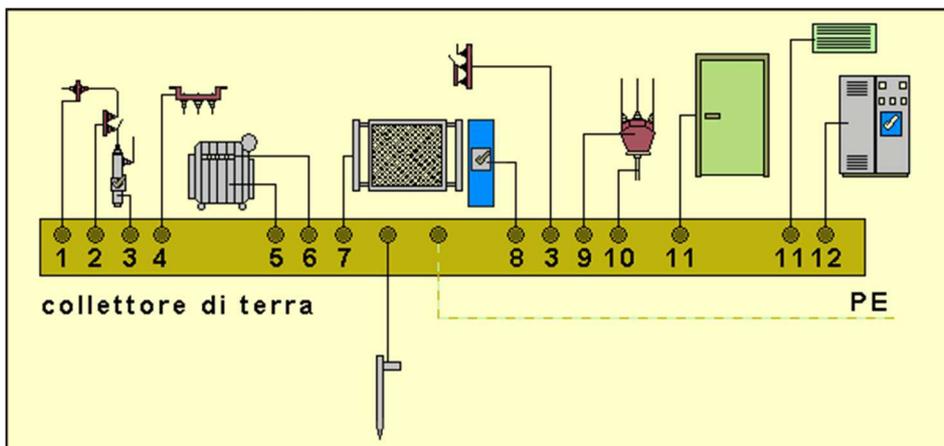
$I_G$  è la corrente convenzionale di guasto a terra;

$t$  è il tempo d'interruzione del guasto in MT.

<b>Tipo di materiale</b>	<b>Rame nudo</b>	<b>Alluminio</b>	<b>Ferro</b>
Valore di $K$	159	105	58

Tab. 12.3 – Valori del coefficiente  $K$  per la verifica del conduttore di terra

Da notare che, per tempi di interruzione del guasto non superiori a 1 s e con correnti di guasto non superiori a 2500 A, è sufficiente la sezione minima in rame di 16 mm<sup>2</sup> prescritta dalle Norme. Tutto ciò porta a concludere che nel caso di cabine alimentate con linee in MT isolate è sufficiente utilizzare per i conduttori di terra le sezioni minime prescritte dalle Norme, con la sola eccezione per il conduttore che collega il trasformatore al PE che può essere percorso da correnti  $I_g$  che dipendono dalla  $U_0$  e dall'impedenza dell'anello di guasto ( $I_g=U_0/Z_S$ ). Tutte le parti metalliche accessibili delle macchine, delle apparecchiature e della struttura suscettibili di entrare in contatto con elementi in tensione in seguito a guasti o di introdurre il potenziale di terra devono essere collegate al dispersore normalmente per mezzo di una sbarra che funge da collettore (fig. 12.16).



- 1) Cornici, telai e flange degli isolatori passanti
- 2) Intelaiature e supporti di ogni tipo di isolatore
- 3) Intelaiature dei sezionatori, dei portafusibili e degli interruttori
- 4) Involucri e supporti metallici dell'interruttore automatico MT e di ogni altro apparecchio di controllo e misura
- 5) La massa del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
- 6) Il morsetto del neutro del lato BT del trasformatore (da dimensionare in funzione della corrente di guasto sul lato BT)
- 7) I ripari metallici e le relative incastellature
- 8) Gli organi di comando manuale di interruttori e sezionatori
- 9) Le muffole metalliche
- 10) L'armatura metallica dei cavi MT
- 11) Le intelaiature metalliche di porte, finestre e griglie di areazione
- 12) Gli armadi metallici delle cabine prefabbricate o altri involucri contenenti apparecchiature MT o BT (per gli armadi contenenti apparecchiature in BT dimensionare in funzione della corrente di guasto in BT)

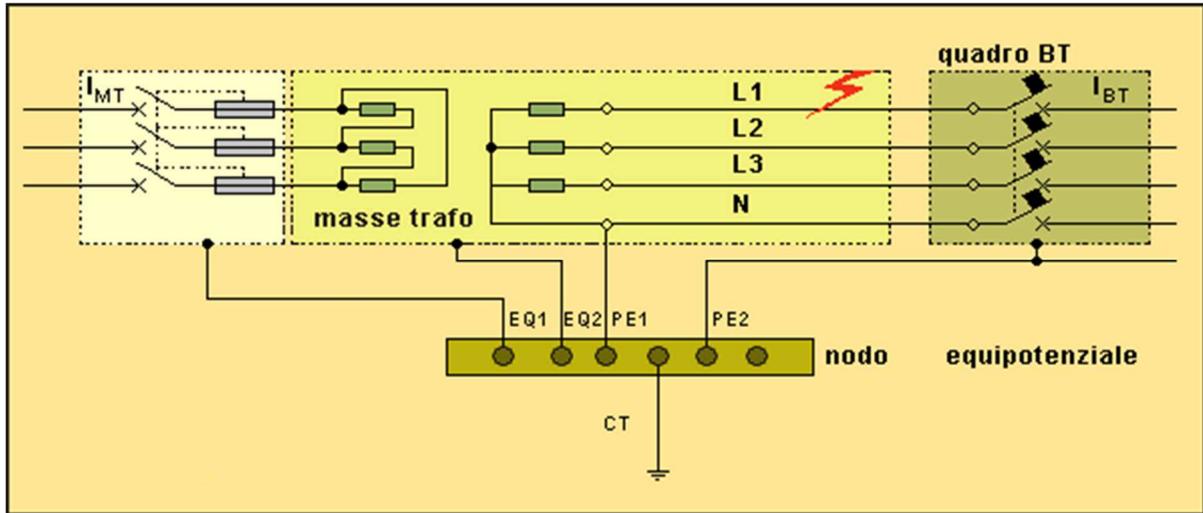
Fig. 12.16 – Tutte le parti della cabina suscettibili di entrare in contatto con elementi in tensione devono essere collegate al dispersore.

### 12.9.7 Dimensionamento dei conduttori di protezione

Con riferimento alla fig. 12.17, in cui è schematizzato il circuito MT/BT della cabina, si possono definire i seguenti elementi:

- $I_{MT}$  = protezione media tensione;
- $I_{BT}$  = protezione bassa tensione;
- $EQ1$  = collegamento alle masse di media tensione;
- $EQ2$  = collegamento alle masse di media o bassa tensione;
- $PE1$  = collegamento al centro stella del trasformatore;
- $PE2$  = collegamento al conduttore di protezione;
- $CT$  = collegamento al dispersore.

La corrente di guasto in media tensione attraversa sicuramente i conduttori EQ1 e CT (per dispersori con più nodi il conduttore CT può essere percorso da correnti di ritorno ma la sua corrente sarà comunque di basso valore) e in alcuni casi anche i conduttori EQ2 e PE1. Le correnti in gioco sono però di valore modesto quindi è sufficiente il rispetto delle sezioni minime stabilite dalle Norme. Più interessanti sono i guasti sul lato bassa tensione. Il guasto in BT può avvenire a valle della protezione di BT perciò, in questo caso, sarà questo interruttore ad intervenire. L'interruttore è tarato per la corrente nominale del trasformatore quindi il cavo andrà dimensionato in funzione dell' $I^2t$  dell'interruttore. Se invece il guasto avviene a monte dell'interruttore BT (per la verità, un guasto di questo tipo accade piuttosto raramente) l'interruzione del circuito può avvenire solo per mezzo della protezione di media tensione e la verifica dell' $I^2t$  deve essere eseguita secondo la sequenza indicata in figura 12.17.



1. Determinare la  $I_{CC(BT)}$  sul lato bassa tensione:

$$I_{CC(BT)} = \frac{U}{\sqrt{3}xZ_{TR}}$$

2. Riferire la  $I_{CC(BT)}$  di bassa tensione al lato media tensione dividendola per il rapporto di trasformazione  $k$ :

$$I_{CC(MT)} = \frac{I_{CC(BT)}}{k}$$

3. Determinare il tempo d'intervento  $t$  della protezione lato media tensione relativo alla corrente di corto circuito  $I_{CC(MT)}$  ora riferita al lato media tensione;

3. Disponendo ora del tempo d'intervento della protezione e conoscendo la corrente di corto circuito massima lato bassa tensione  $I_{CC(BT)}$  è possibile calcolare  $I^2t$  e quindi anche la sezione  $S$  del cavo:

$$S \geq \frac{\sqrt{I^2t}}{k} = \frac{\sqrt{I_{CC(BT)}^2t}}{k}$$

Fig. 12.17 – Dimensionamento al corto circuito dei conduttori di protezione

La protezione di media tensione può essere un fusibile oppure un interruttore automatico. Com'è noto tale protezione è generalmente dimensionata con abbondanza (due o tre volte la corrente nominale primaria). Supponendo di avere come protezione un fusibile con corrente nominale 3 volte la corrente nominale primaria del trasformatore  $I_{n(MT)}$  si vuole determinare, come esempio, il tempo d'intervento in caso di corto circuito. Dalla tabella 12.4 si può notare che la  $I_{CC(BT)}$  varia, a seconda che  $U_{CC\%}$  sia 4% o 6%, da 16 a 25 volte la corrente nominale secondaria del trasformatore  $I_{n(BT)}$ . Se si assume, per semplicità e cautelativamente, una  $I_{CC(BT)}$  uguale a 15 volte la  $I_{n(BT)}$  si avrà sul primario del trasformatore una massima corrente di corto circuito corrispondente a 5 volte la corrente nominale del fusibile (15/3) alla quale corrisponde (valore indicativo) sulla curva di fusione del fusibile (fig. 12.18) un tempo di intervento di circa 1 secondo. Disponendo ora del tempo d'intervento della protezione sul lato media tensione e conoscendo la  $I_{CC(BT)}$  è possibile calcolare la sezione del cavo con la nota formula:

$$S \geq \frac{\sqrt{I^2t}}{k} = \frac{\sqrt{I_{CC(BT)}^2t}}{k}$$

Dove  $k$  è il noto coefficiente.

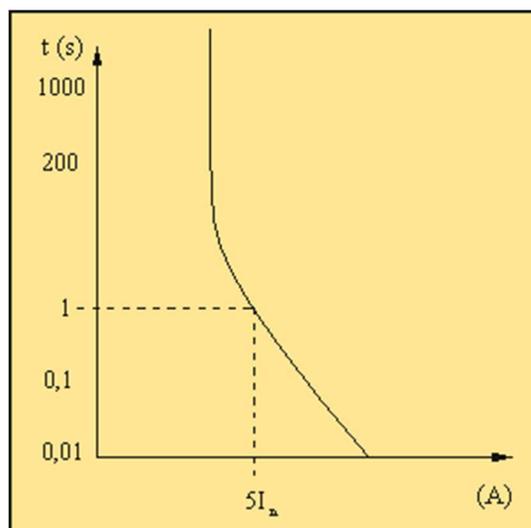


Fig. 12.18 – Curve di fusione di un fusibile MT riferite alla temperatura ambiente di 25°C

Nella tabella 12.4 sono indicate le sezioni dei conduttori di protezione isolati in PVC calcolati in base alle considerazioni di cui sopra, supponendo il tempo d'intervento delle protezioni di media tensione non superiore a 1s (anche per gli interruttori automatici il tempo d'intervento di un secondo è generalmente associato a  $3I_n$  e quindi si può ritenere il dimensionamento circa uguale al precedente).

Potenza (kVA)	$U_{cc}\%$	$Z_{TR}$ (mW)	$I_{n(BT)}$ (A)	$I_{CC(BT)}$ (A)	$I_{CC(BT)}/I_{n(BT)}$	$I_n$ fusibile MT (A)	$S$ (G2) $K=166$	$S$ (EPR) $K=176$	$S$ (PVC) $K=143$
100	4	64,99	145	3613	25	10	25	25	25
125	4	51,20	181	4516	25	10	35	35	35
160	4	40,00	231	5780	25	16	35	35	50
200	4	32,00	289	7225	25	25	50	50	50
250	4	25,60	361	9032	25	25	70	70	70
315	4	20,32	455	11380	25	40	70	70	95
400	4	16,00	578	14441	25	40	95	95	120
500	4	12,80	723	18064	25	63	120	120	150
630	4	10,16	910	22760	25	63	150	150	185
1000	6	9,60	1445	24085	16	100	150	150	185
1250	6	7,68	1806	30106	16	125	185	185	240
1600	6	6,00	2312	38536	16	160	240	240	300
2000	6	4,80	2890	48170	16	200	300	300	360
2500	6	3,84	3613	60212	16	250	360	360	480

Tab. 12.4 – Sezione minima dei conduttori di protezione di cabina isolati in G2, PVC e EPR (validi per tempi di intervento delle protezioni inferiori ad un secondo)

Per concludere si può dire che i conduttori EQ2, PE1, ed PE2 devono essere dimensionati per la massima corrente di corto circuito in bassa tensione e devono avere sezione almeno uguale (accettabili nella maggioranza dei casi) a quelle riportate in tabella 12.4 oppure a quella calcolata in base all'energia passante dalla protezione di media tensione.

### 12.10 Protezione dai contatti indiretti per guasti in bassa tensione

Per la protezione dai contatti indiretti è ormai invalso l'uso degli interruttori differenziali anche nei sistemi TN, con i quali è possibile risolvere la maggior parte dei problemi legati all'impianto di terra, anche se non risulta sempre gradito a causa dei possibili disservizi per interventi intempestivi. A questo proposito può essere interessante fare alcune considerazioni su un guasto che accada immediatamente a valle del trasformatore dove è possibile, adottando opportuni accorgimenti nella progettazione, garantire una tensione di contatto verso terra abbondantemente inferiore ai 50 V ammessi dalla Norma per guasti che permangono per tempi indefiniti.

Per meglio comprendere il problema, nella figura 12.18 è mostrato lo schema di un impianto composto da un trasformatore e da un quadro con interruttore di bassa tensione collegato, mediante una linea, ad un quadro di distribuzione.

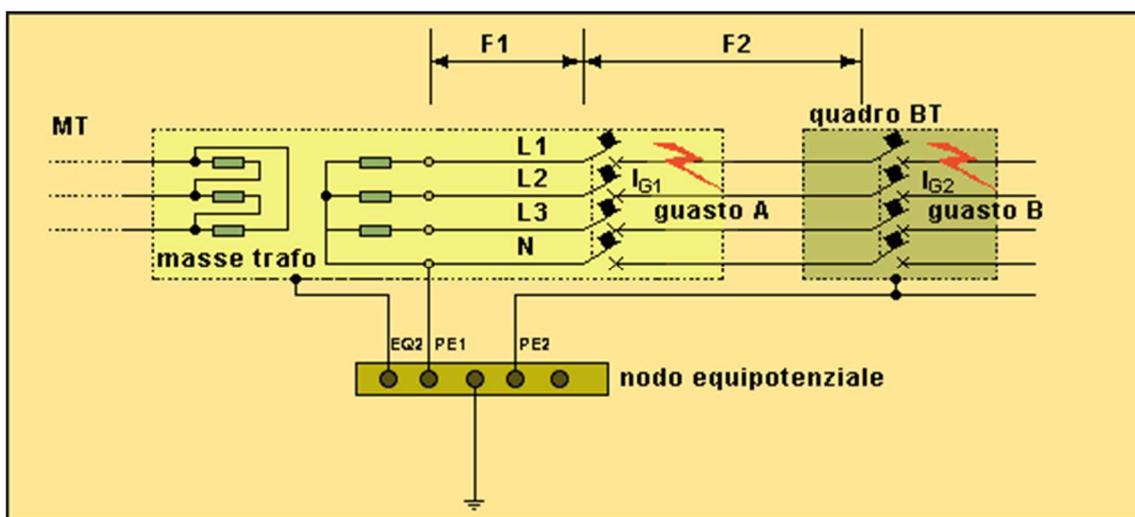


Fig. 12.18 – Guasti in cabina immediatamente a valle del trasformatore

Analizziamo dapprima il guasto A che avviene sulle masse di cabina riferendoci allo schema equivalente di fig.12.19 dove:

$Z_{MT}$  = impedenza lato MT trasferita al secondario del trasformatore;

$Z_{TR}$  = impedenza del trasformatore;

$Z_{F1}$  = impedenza conduttori di fase dal trasformatore al primo interruttore;

$Z_{EQ}$  = impedenza conduttore equipotenziale delle masse di cabina;

$Z_{PE1}$  = impedenza collegamento del centro stella col nodo equipotenziale;

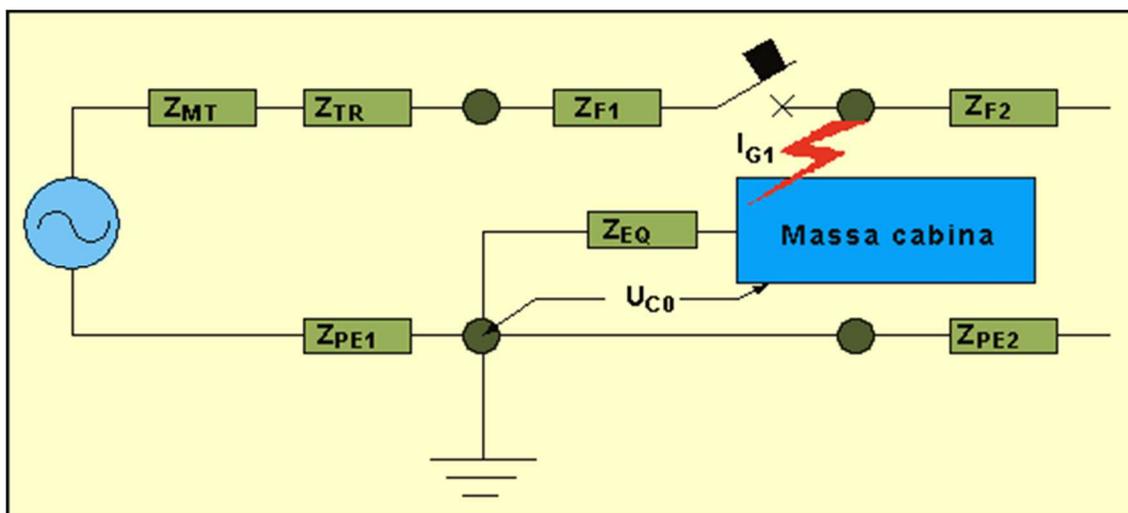


Fig. 12.19 – Schema equivalente per un guasto sulle masse di cabina

Trascurando l'impedenza della massa attraversata dalla corrente di guasto si ha:

$$U_{C0} = I_{G1} \times Z_{EQ}$$

$I_{G1}$ , come sappiamo, è funzione dell'impedenza dell'anello di guasto per cui si ha:

$$U_{C0} = \frac{U}{\sqrt{3}} \times \frac{\overline{Z_{EQ}}}{\overline{Z_{MT}} + \overline{Z_{TR}} + \overline{Z_{F1}} + \overline{Z_{PE1}} + \overline{Z_{EQ}}}$$

È evidente che per mantenere bassa la tensione di contatto occorre abbassare il valore di  $Z_{EQ}$  intervenendo sulla lunghezza e sulla sezione del conduttore equipotenziale (la lunghezza non è normalmente modificabile mentre può essere aumentata senza grossi problemi la sezione; si ricorda che la reattanza è legata anche al tipo di cavo, unipolare o multipolare, e al tipo di posa, ravvicinata o distanziata rispetto al conduttore di fase), anche la distanza del conduttore equipotenziale rispetto a quello di fase incide sul valore della  $Z_{EQ}$  perché con la distanza aumenta il valore della reattanza).

Un guasto che si verificasse sul quadro generale di distribuzione (guasto B) può essere rappresentato dal circuito equivalente di figura 12.20 dove:

$Z_{MT}$  = impedenza lato MT trasferita al secondario del trasformatore;

$Z_{TR}$  = impedenza del trasformatore;

$Z_{F1}$  = impedenza conduttori di fase dal trasformatore al primo interruttore;

$Z_{PE1}$  = impedenza collegamento del centro stella col nodo equipotenziale;

$Z_{F20}$  = impedenza conduttori di fase dal primo interruttore al secondo interruttore (quadro generale BT);

$Z_{PE2}$  = impedenza conduttore di protezione dal nodo equipotenziale al quadro generale BT;

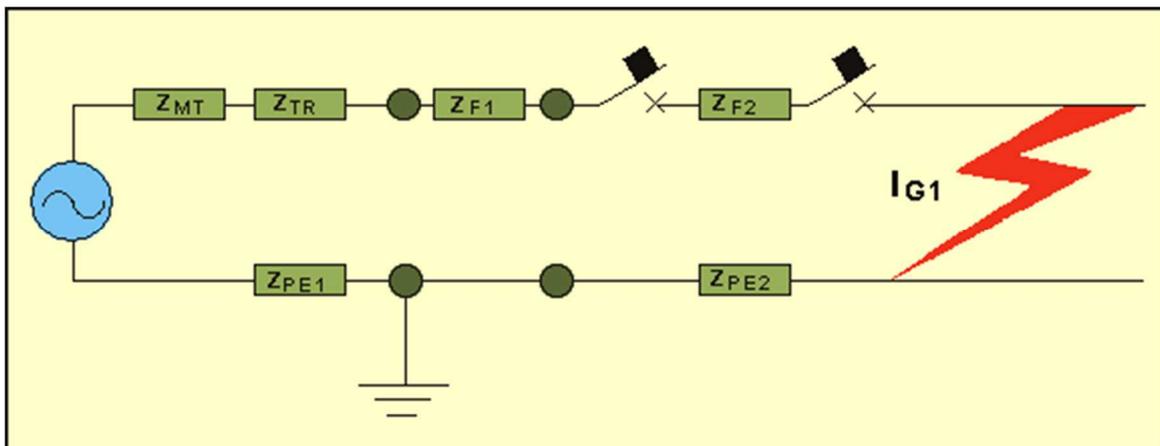


Fig. 12.20 – Schema equivalente per un guasto sul quadro generale BT di cabina

In questo caso la tensione di guasto  $U_{C0}$  sulle masse sarà data da:

$$U_{C0} = \frac{U}{\sqrt{3}} \times \frac{\overline{Z_{EQ}}}{\overline{Z_{MT}} + \overline{Z_{TR}} + \overline{Z_{F1}} + \overline{Z_{PE1}} + \overline{Z_{PE2}}}$$

Rispetto al caso precedente nel circuito equivalente è scomparsa  $Z_{EQ}$ , non più interessata dal guasto, ed è entrata in gioco  $Z_{PE2}$ . Dalla relazione suesposta si può notare che limitando questo valore d'impedenza, corrispondente al tratto di conduttore di protezione che collega il nodo equipotenziale col quadro di distribuzione, è possibile contenere le tensioni sulle masse. Gli altri conduttori invece si comportano in modo opposto, più è bassa la loro impedenza più è alta la tensione sulle masse.