I.T.I. «Basilio Focaccia» - via Monticelli 4 Salerno

Sezione

ELETTROTECNICA ED AUTOMAZIONE

IMPIANTI ELETTRICI

Classe V

CABINE ELETTRICHE

LEZIONE 10

Prof. Ing. Ferdinando La Rocca

CABINE ELETTRICHE

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. 20 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 ed alimentano le utenze private in corrente alternata monofase a 230V o trifase a 400V. Si dividono a loro volta in cabine di ***tipo urbano***, di solito costruite in muratura (in elevazione o in box) o di **tipo *rurale***, di solito installate all'esterno direttamente sul traliccio della MT.

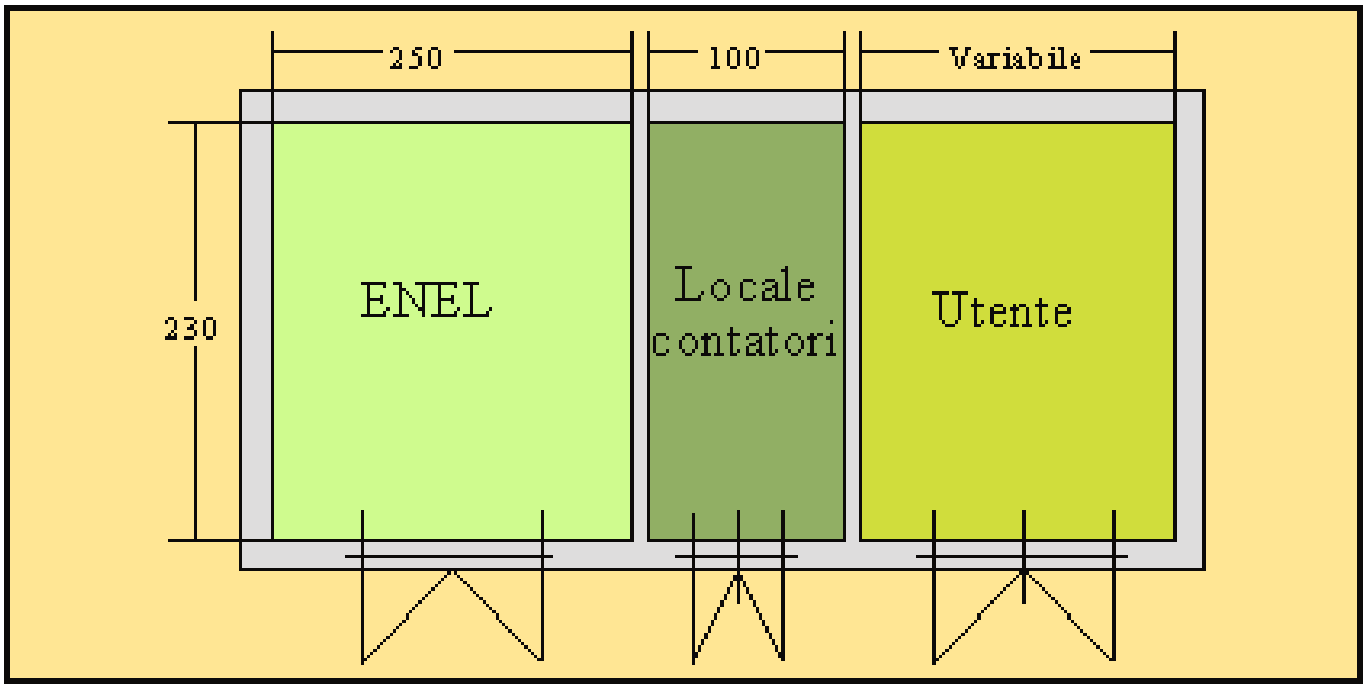
▣ **Cabine d'utente** – sono di proprietà dell'utente e possono alimentare sia utenze civili come scuole, ospedali, ecc. sia utenze di tipo industriale con fornitura dalla rete pubblica in MT. L'utente deve mettere a disposizione della società distributrice un apposito locale, accessibile al personale 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.

CABINE PRIVATE

STRUTTURA E DIMENSIONI MINIME

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 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.



SCHEMA ELETTRICO

Partendo dal lato media tensione si distinguono:

☑ **collegamento con la rete a media tensione**;

☑ **circuiti di misura**;

☑ **punto di consegna dell'energia**;

☑ **circuito a media tensione**;

☑ **trasformatore**;

☑ **circuito a bassa tensione**.

Collegamento con la rete a media tensione

Le apparecchiature sono installate nel locale ente distributore insieme agli strumenti di misura. Il collegamento con la rete a media tensione può essere:

✓ **in cavo in derivazione semplice** in cui sono previsti: a) uno scomparto arrivo cavo, b) uno scomparto misure con trasformatori di misura e sezionatore di terra a monte e a valle degli stessi.

✓ **in cavo entra-esci** in cui sono previsti: a) due scomparti per l'ingresso e l'uscita del cavo provvisti di sezionatore a vuoto e sezionatore di terra, b) uno scomparto misure con sezionatore a vuoto e trasformatori di misura con sezionatori di terra a monte e a valle degli stessi. Tale soluzione si adotta quando la cabina è inserita in un sistema di distribuzione ad anello perché consente di isolare il tratto eventualmente danneggiato aprendo i sezionatori posti ai suoi estremi garantendo l'alimentazione della cabina stessa.

✓ **in linea aerea** in cui sono previsti: a) sezionatore a vuoto e sezionatore di terra montati a parete, b) uno scomparto arrivo cavo, c) uno scomparto misure con sezionatore a vuoto e trasformatori di misura con sezionatori di terra a monte e a valle degli stessi.

Circuiti di misura
I circuiti di misura comprendono tutte quelle apparecchiature necessarie per la misura delle grandezze elettriche e la cui installazione è di competenza dell'ente elettrofornitore.

La misura avviene normalmente in media tensione utilizzando:
✶ **trasformatori di misura** che consentono l'effettuazione di misure indirette e che vengono installati nel locale ente distributore;
✶ **contatori** per la misura dell'energia attiva e reattiva e vengono installati nell'apposito locale contatori.

Punto di consegna dell'energia
Normalmente è realizzato ai morsetti d'ingresso del primo sezionatore dell'utente cui si attesta il cavo di allacciamento dell'ente distributore. Il collegamento tra l'apparecchiatura dell'ente distributore e l'apparecchiatura dell'utente deve essere realizzato con cavo di sezione minima di 50 mm^2.

LATO MEDIA TENSIONE

Il circuito a M.T. comprende tutte quelle apparecchiature che si trovano a monte del trasformatore a partire dal punto di consegna. La scelta dello schema elettrico dipende principalmente dal numero dei trasformatori e dall'entità della potenza in gioco; nel caso più semplice di un unico trasformatore alimentato, come normalmente accade, da una sola linea (figura), 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.

Spesso per **potenze 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.

Dimensionamento dei componenti MT

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 vengono 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, nel caso di aria come isolante possono essere calcolate tramite le seguenti formule:

Distanza minima tra i conduttori	$\mathbf{D_1\,(cm) = 8\,cm + 0{,}8 \cdot V_M\,(KV)}$
Distanza minima tra i conduttori e massa	$\mathbf{D_2\,(cm) = 6\,cm + 0{,}6 \cdot V_M\,(KV)}$
Altezza dei conduttori da terra	$\mathbf{h = 300\,cm + V_M\,(KV)}$
Dove V_M è la tensione massima di riferimento per l'isolamento (per una cabina con V_n=20 kV è V_M=24 kV)	

Usando un isolante diverso, come ad esempio esafluoruro di zolfo (SF6) nelle esecuzioni blindate, le distanze minime cambiano, diminuendo all'aumentare della rigidità dielettrica dell'isolante.

Apparecchi di manovra

Devono essere scelti principalmente in base:

- **alla tensione d'esercizio**;
- **al livello d'isolamento corrispondente a V_M**;
- **alla portata**;
- **al potere d'interruzione**;
- **al rispetto delle condizioni poste dalla società distributrice** onde 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.

L a **scelta della corrente nominale** va fatta in base alla corrente che circola nel dispositivo in condizioni normali di esercizio. La **corrente totale sul lato media tensione** è data da:

$$\mathbf{I_1 = \frac{A_n}{\sqrt{3} \cdot V_n}}$$

dove A_n è la potenza apparente in KVA e V_n 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 in quanto 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; tale dato è fornito dalla società distributrice ed è generalmente dell'ordine dei 500÷1000 MVA. Indicando con A_{cc} tale potenza, con I_{cc} il potere d'interruzione simmetrico e con V_M il valore massimo della tensione di riferimento dell'isolamento, si ottiene:

$$\mathbf{A_{cc} = \sqrt{3} \cdot V_M \cdot I_{cc}} \qquad \Rightarrow \qquad \mathbf{I_{cc} = \frac{A_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V_M}}$$

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_{cc} 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 di 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 SF6.
• **Quadro protetto con isolamento in SF6**
E' 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'SF6 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 ad un quadro con isolamento in aria presenta il vantaggio di avere dimensioni ridotte e di non risentire l'influenza delle condizioni ambientali. Risulta quindi particolarmente adatto all'installazione in ambienti umidi o inquinati.

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_1 risultante dalla nota relazione:

$$\mathbf{I_1 = \frac{A_n}{\sqrt{3} \cdot V_n}}$$

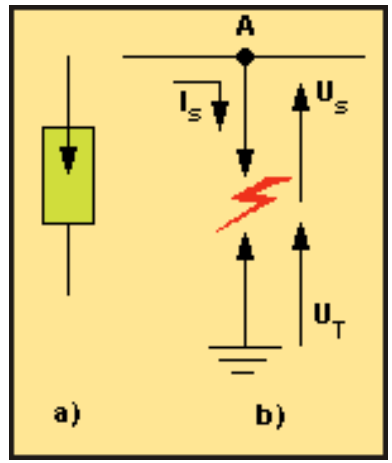
La scelta della terna di fusibili a media tensione dovrà essere effettuata con una corrente nominale non inferiore alla I_1 e tale da non provocare un intervento intempestivo (come ad esempio durante l'inserzione del trasformatore con correnti che assumono anche valori dieci volte superiori alla I_1) 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).

Scelta delle protezioni

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) che 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), si ottiene mediante i cosiddetti **scaricatori** di sovratensioni installati sul lato MT.

Lo **scaricatore** è sostanzialmente costituito da due elettrodi, di cui uno è collegato alla linea e l'altro collegato a terra. In condizioni di normali 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 di innesco 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.

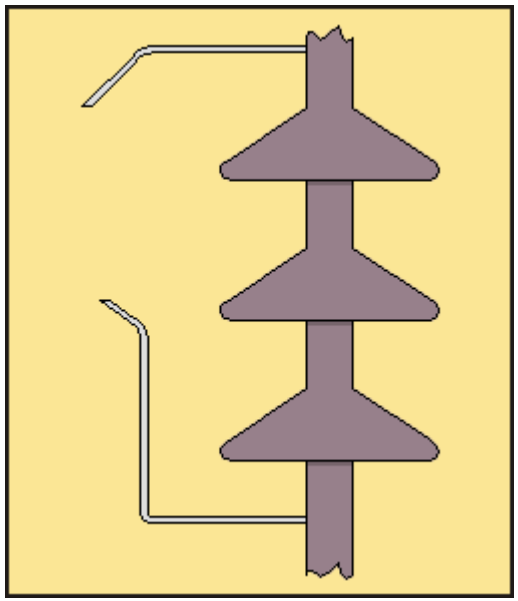


La tensione verso terra durante la scarica vale: $$\mathbf{V_{A0} = V_S + V_T}$$

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.

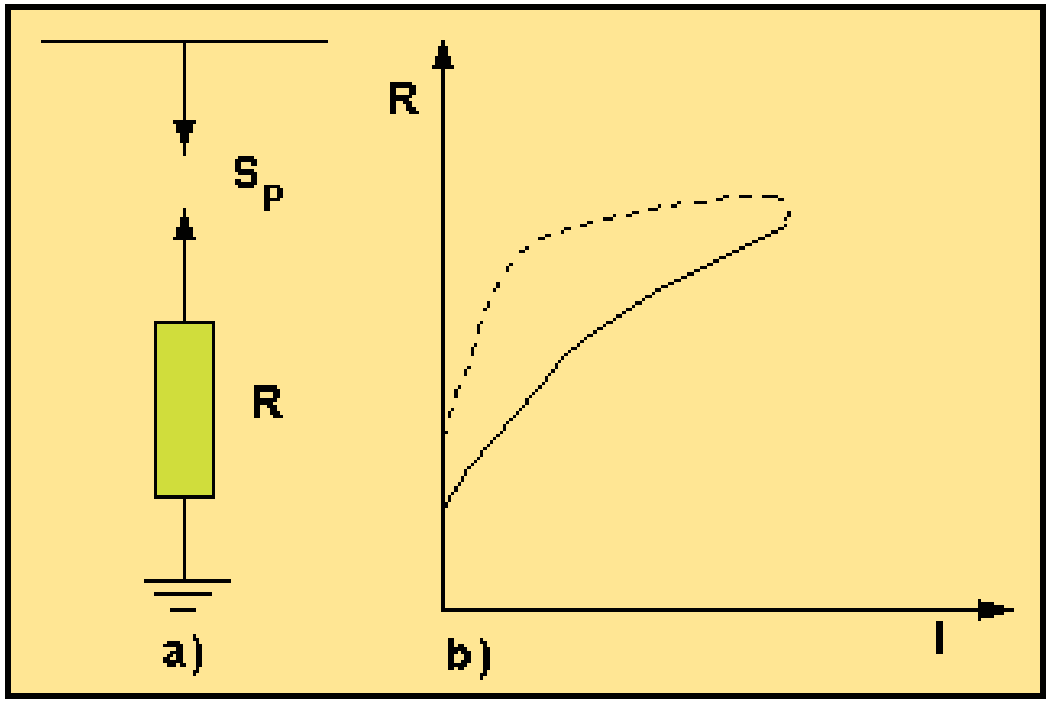
Dal punto di vista costruttivo, i diversi tipi di scaricatori per la MT che si trovano in commercio sono:

• ***Scaricatori spinterometrici***, costituiti da un isolatore su cui sono montate due aste metalliche regolate ad una distanza che dipende dalla tensione d'innesco. Vengono montati direttamente sulle apparecchiature da proteggere come ad esempio i trasformatori.



Scaricatore spinterometrico

• ***Scaricatori a resistenza non lineare***, sono impiegati prevalentemente in sistemi ad alta tensione. Sono costruiti connettendo in serie uno spinterometro (Sp) e una resistenza R con caratteristica volt-amperometrica non lineare. 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 risulta minore (curva a linea continua) dei valori rappresentati dalla curva a linea tratteggiata.



a) Rappresentazione di uno scaricatore a resistenza non lineare
b) Caratteristica volt-amperometrica

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. In generale 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.

E' da tener inoltre presente che:

► nel caso di esigenza di punta solo per poche ore è consigliabile installare un trasformatore principale di grossa potenza e un trasformatore ausiliario di piccola potenza;

► quando è indispensabile avere continuità di servizio è consigliabile suddividere la potenza su più macchine collegate in parallelo di potenza complessiva superiore al valore richiesto.

Si fa inoltre presente che alla potenza apparente di progetto, calcolata tenendo conto degli utilizzatori installati e dei fattori di utilizzazione e di contemporaneità, è necessario aggiungere un margine, sia per eventuali future richieste di potenza, che per far funzionare il trasformatore in condizioni di rendimento massimo e cioè intorno ai ¾ del carico.

LATO BASSA TENSIONE

Le soluzioni circuitali del lato BT di una cabina possono assumere diverse configurazioni dipendenti da diversi 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**. Si riportano in figura alcuni casi tipici di schemi.

Sul lato bassa tensione non vengono 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:

$$\mathbf{I_2 = \frac{A_n}{\sqrt{3}U_2}}$$

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 di interruzione non inferiore alla presunta corrente di corto circuito nel punto di installazione. Oltre all'interruttore generale, nel quadro BT saranno installati gli interruttori magnetotermici (eventualmente differenziali) scelti in base alla corrente di 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.

CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI ELETTRICI

Impianto di terra

L'impianto di terra delle cabine d'utente assolve normalmente alla duplice funzione di
► **messa a terra di protezione**, a cui collegare le masse delle apparecchiature,
► **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.
Prenderemo quindi in considerazione solo le cabine che presentano sia la **parte a MT sia la parte in BT collegate ad un unico impianto di terra (sistema TN)**.
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.

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 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 da linee aere, 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 aere con quelle in cavo) e, nella maggioranza dei casi (la sola componente simmetrica), viene fornita dalla società distributrice.

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

$$\mathbf{U_T = I_G \cdot R_T}$$

Nel calcolo della U_T si dovrebbe utilizzare la I_T ma, viste le difficoltà di valutazione di questo valore, a favore della sicurezza, si utilizza normalmente la corrente I_G.

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 in una curva (vedi figura) e riassunti nella tabella a lato:

Durata del guasto (s)	Tensione di contatto ammissibile U_C (V) U_{TP} (secondo CEI 11-1)	
	Nuova norma	Vecchia norma
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

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 risulta 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.

14.9.3 Tipo di dispersore

Le caratteristiche dell'area di cui si dispone per l'installazione della cabina possono imporre il tipo di impianto da realizzare. In particolare la resistività del terreno può assumere nel tempo valori anche molto diversi. Essendo la resistività del terreno fortemente influenzata dall'umidità, i rilievi dell'area interessata devono essere effettuati, 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,
☐ del valore della resistenza di terra che si vuole ottenere.

Tra le soluzioni più diffuse abbiamo:

☑ Impianto di terra per cabina con dispersore ad anello con quattro picchetti agli angoli.
☑ 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 risulta 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, andrebbero verificate con la relazione:

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

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

SOLUZIONI COSTRUTTIVE

Il manufatto nel quale sono installate le apparecchiature sia dell'ente distributore sia dell'utente deve essere realizzato rispettando le indicazioni dell'ente distributore. Deve in particolare essere appoggiato su un basamento nel quale l'utente deve disporre in modo opportuno i canali per il passaggio dei cavi. Le soluzioni costruttive maggiormente diffuse sono le seguenti.

► La soluzione in **cemento armato vibrato monoblocco** prevede la realizzazione di un manufatto scatolato costruito in un solo pezzo. Essa offre il vantaggio di poter **realizzare in fabbrica la cabina** completa di tutte le apparecchiature elettriche dell'utente. Ciò consente di poter effettuare in fabbrica il collaudo di tutto il complesso. Una cabina di questo tipo può essere installata e messa in servizio in giornata.
► La soluzione **in cemento armato vibrato a pannelli** prevede la realizzazione di pannelli e pilastri prefabbricati che sono assemblati e imbullonati sul posto di installazione. È più facilmente trasportabile della cabina monoblocco, ma il montaggio (anche delle apparecchiature) avviene sul posto di installazione e quindi sono necessari tempi più lunghi.
► La soluzione **in muratura** è realizzata in cemento armato o in mattoni, direttamente sul posto di installazione. È una soluzione generalmente più costosa. Talvolta la realizzazione di questo tipo di manufatto rientra nel contratto che l'impresa edile ha per la realizzazione dell'immobile, che sarà alimentato dalla cabina stessa. In altri casi questa soluzione è scelta per avere uniformità di linea architettonica con l'edificio che la cabina alimenta.
► La soluzione **all'interno dell'edificio** prevede che l'apparecchiatura elettrica sia installata in un locale ricavato all'interno dell'edificio. È una soluzione più costosa di quelle precedentemente descritte, che è adottata quando all'esterno non esiste fisicamente lo spazio per installare una cabina prefabbricata o quando per qualche ragione non è rilasciata dagli organi competenti la licenza edilizia. Casi di questo tipo si presentano in generale all'interno di aree urbane ad elevata concentrazione edilizia.

Ventilazione

Per una buona *ventilazione* è bene prevedere nella parte inferiore della cabina, possibilmente dietro ai trasformatori, delle prese d'aria con il bordo superiore sopraelevato rispetto al pavimento di almeno 20 cm e nella parte superiore camini o finestre rivolte verso zone aperte. I dispositivi di aerazione devono essere adeguatamente protetti se si trovano in prossimità di parti in tensione. Inoltre si deve evitare la penetrazione di acqua o neve e di piccoli animali che possano provocare un cortocircuito.

Aspetto ambientale

Un aspetto di non secondaria importanza da considerare nella realizzazione del manufatto è quello relativo al suo aspetto esterno; da qualche anno è aumentata l'attenzione all'ambiente e quindi si è posto il problema dell'integrazione della cabina nell'ambiente. Per questo motivo non è infrequente che siano realizzate cabine con particolari colori esterni, rivestimenti con mattoni, piastrelle, ecc., tetti spioventi con coppi o tegole. Sono state realizzate anche cabine sotterranee inserite nel verde di giardini e mimetizzate nella parte superiore con vasche contenenti fiori e piantine verdi.

PRATICHE PER L'INSTALLAZIONE

Una cabina di trasformazione è soggetta alle leggi dell'edilizia; pertanto per la sua installazione è necessario:

- presentare il *progetto completo* degli elaborati tecnici firmato dal progettista e dal costruttore presso il Genio Civile della provincia ai sensi delle leggi 1086/71 e 64/74;
- presentare i disegni con le viste in pianta, alzato e prospetto per la concessione della *licenza edilizia* presso il comune;
- nominare un *direttore dei lavori.*

Successivamente all'installazione della cabina il committente deve ricevere una serie di certificati relativi ai materiali impiegati e all'apparecchiatura installata:

- certificato di origine della cabina;
- certificato delle prove a compressione del calcestruzzo utilizzato per la costruzione della cabina;
- certificato delle prove a trazione del ferro e della rete elettrosaldata impiegati nell'arma-tura della cabina;
- certificato di collaudo del quadro BT e degli interruttori installati;
- certificato di collaudo del quadro MT e degli interruttori o interruttori di manovra-sezio-natori installati;
- certificato di collaudo del trasformatore MT/BT;
- dichiarazione che l'olio del trasformatore MT/BT non contiene PCB;
- certificato delle prove di verifica della continuità elettrica degli inserti e delle prove di trazione sugli stessi;
- documento con i risultati delle misure delle resistenze di terra.

L'ente distributore, dopo le opportune verifiche, deve provvedere all'attivazione dell'alimentazione elettrica.

BARICENTRO ELETTRICO

La posizione di una cabina di trasformazione in un sistema di distribuzione non deve essere casuale. Quando possibile, la cabina deve essere disposta in modo razionale in funzione dell'entità e della posizione dei carichi che la cabina deve alimentare.

Da una posizione idonea derivano dei vantaggi economici in termini di costi di installazione e di manutenzione.

È ovvio che, per ragioni pratiche, non è sempre possibile installare la cabina nella posizione ideale e, di conseguenza, le considerazioni che verranno svolte assumono spesso un valore puramente teorico.

Il punto più conveniente per l'installazione della cabina è quello corrispondente al **baricentro elettrico dell'impianto** che si calcola in modo analogo al baricentro di un sistema di masse.

In un sistema di assi cartesiani Oxy siano $G_i(x_i,y_i)$ le coordinate dei punti (baricentri parziali) in cui sono ubicati n carichi di potenza apparente A_i, le coordinate del baricentro sono date da:

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad y_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

ESEMPIO

Dati i carichi di figura che hanno:

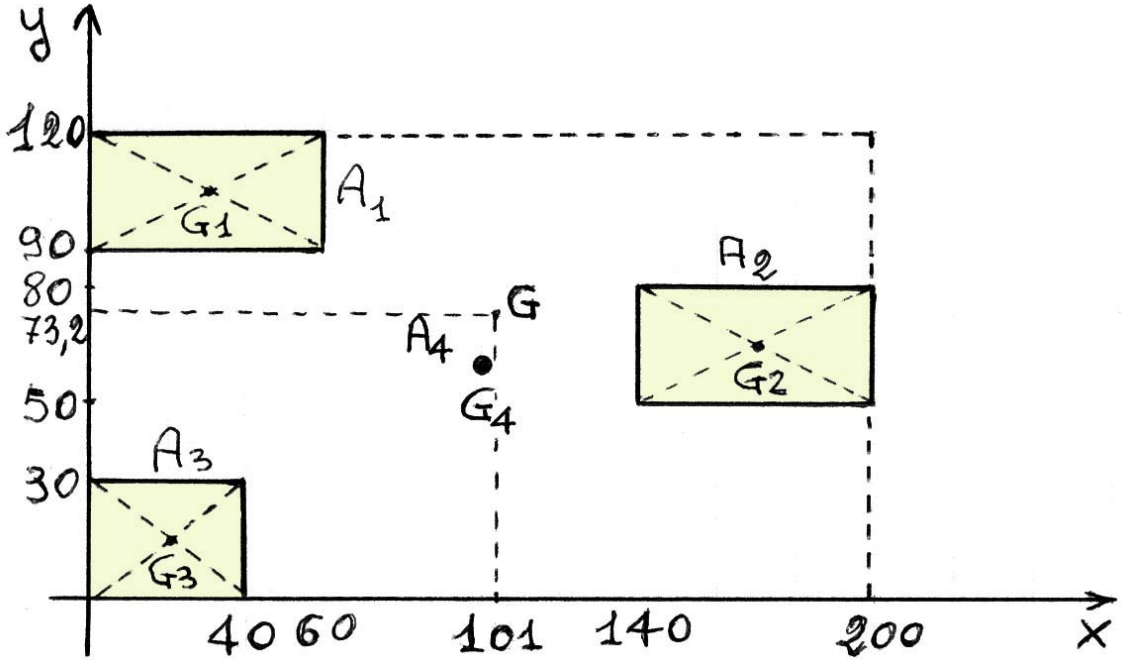
P_1=300 KW $\cos\varphi_1$=0,9

P_2=400 KW $\cos\varphi_2$=0,85

P_3=100 KW $\cos\varphi_3$=0,92

P_4=30 KW distribuito uniformemente

determinare il baricentro elettrico.



Si determinano le potenze apparenti e le coordinate dei baricentri parziali:

$$A_1 = \frac{P_1}{\cos\varphi_1} = \frac{300}{0,9} = 333\,KVA \qquad A_2 = \frac{P_2}{\cos\varphi_2} = \frac{400}{0,85} = 471\,KVA$$

$$A_3 = \frac{P_3}{\cos\varphi_3} = \frac{100}{0,92} = 109\,KVA \qquad A_4 = P_4 = 30\,KVA$$

$$x_1 = 30\,m \qquad y_1 = 105\,m$$

$$x_2 = 170\,m \qquad y_2 = 65\,m$$

$$x_3 = 20\,m \qquad y_3 = 15\,m$$

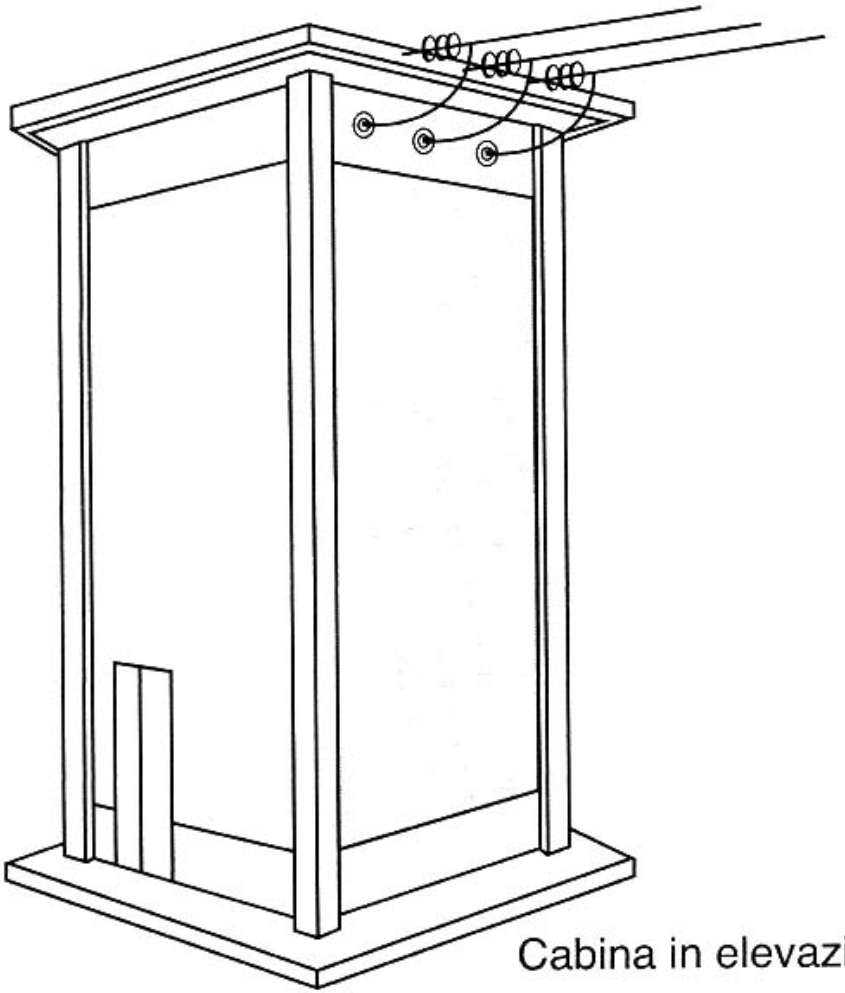
$$x_4 = 100\,m \qquad y_4 = 60\,m$$

Le coordinate del baricentro elettrico sono quindi date da:

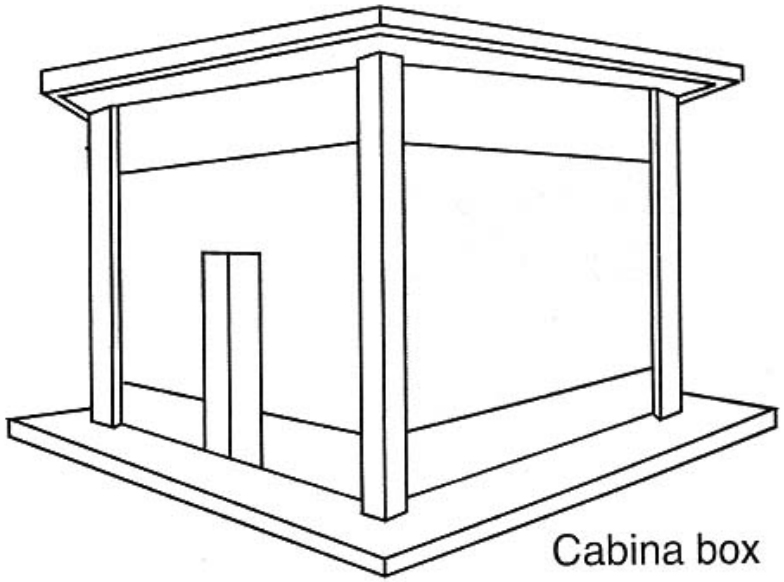
$$x_G = \frac{A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_4x_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} = \frac{333\cdot 30 + 471\cdot 170 + 109\cdot 20 + 30\cdot 100}{333 + 471 + 109 + 30} = 101\,m$$

$$y_G = \frac{A_1y_1 + A_2y_2 + A_3y_3 + A_4y_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} = \frac{333\cdot 105 + 471\cdot 65 + 109\cdot 15 + 30\cdot 60}{333 + 471 + 109 + 30} = 73,2\,m$$

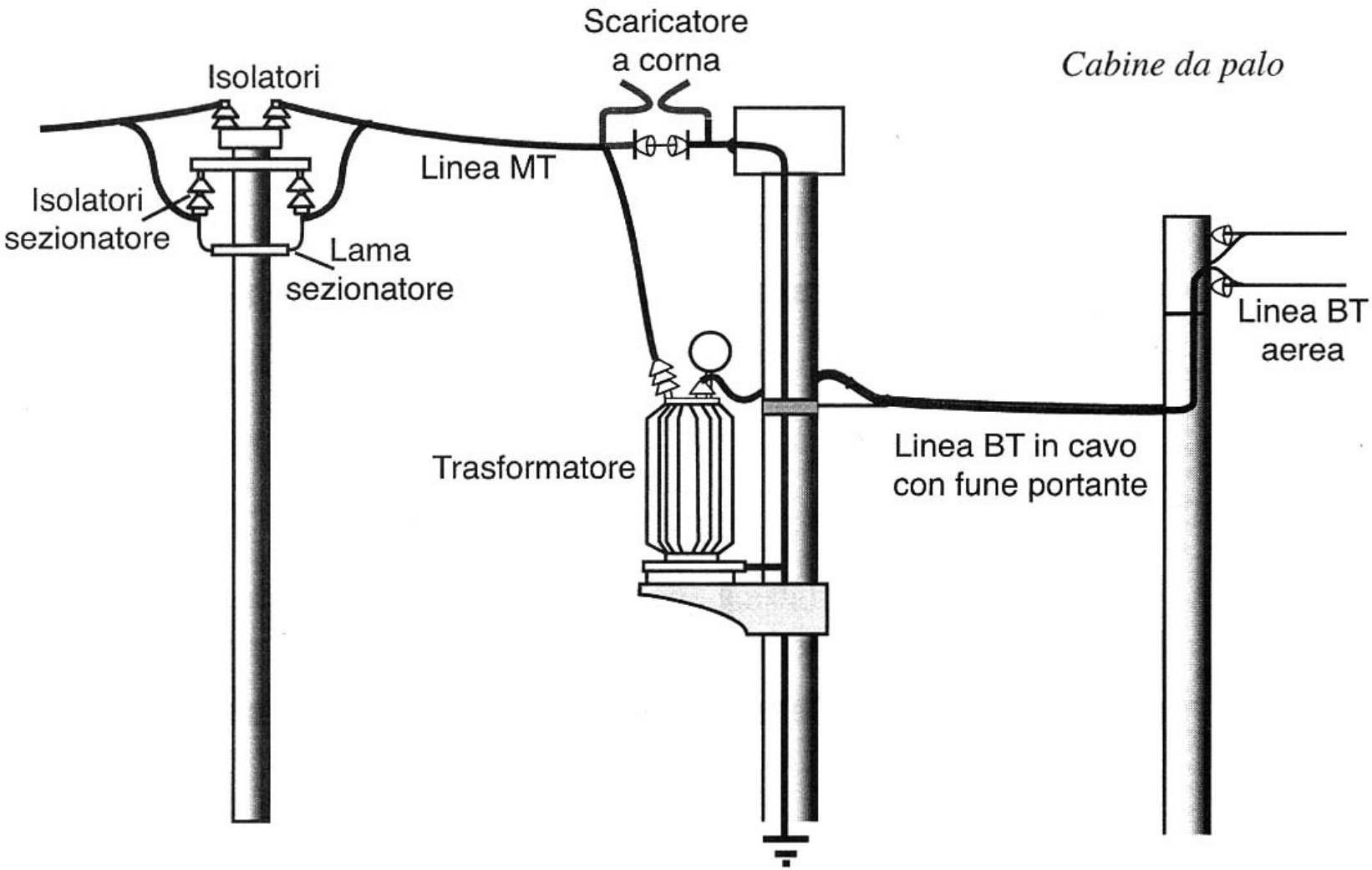
Cabine di trasformazione in muratura



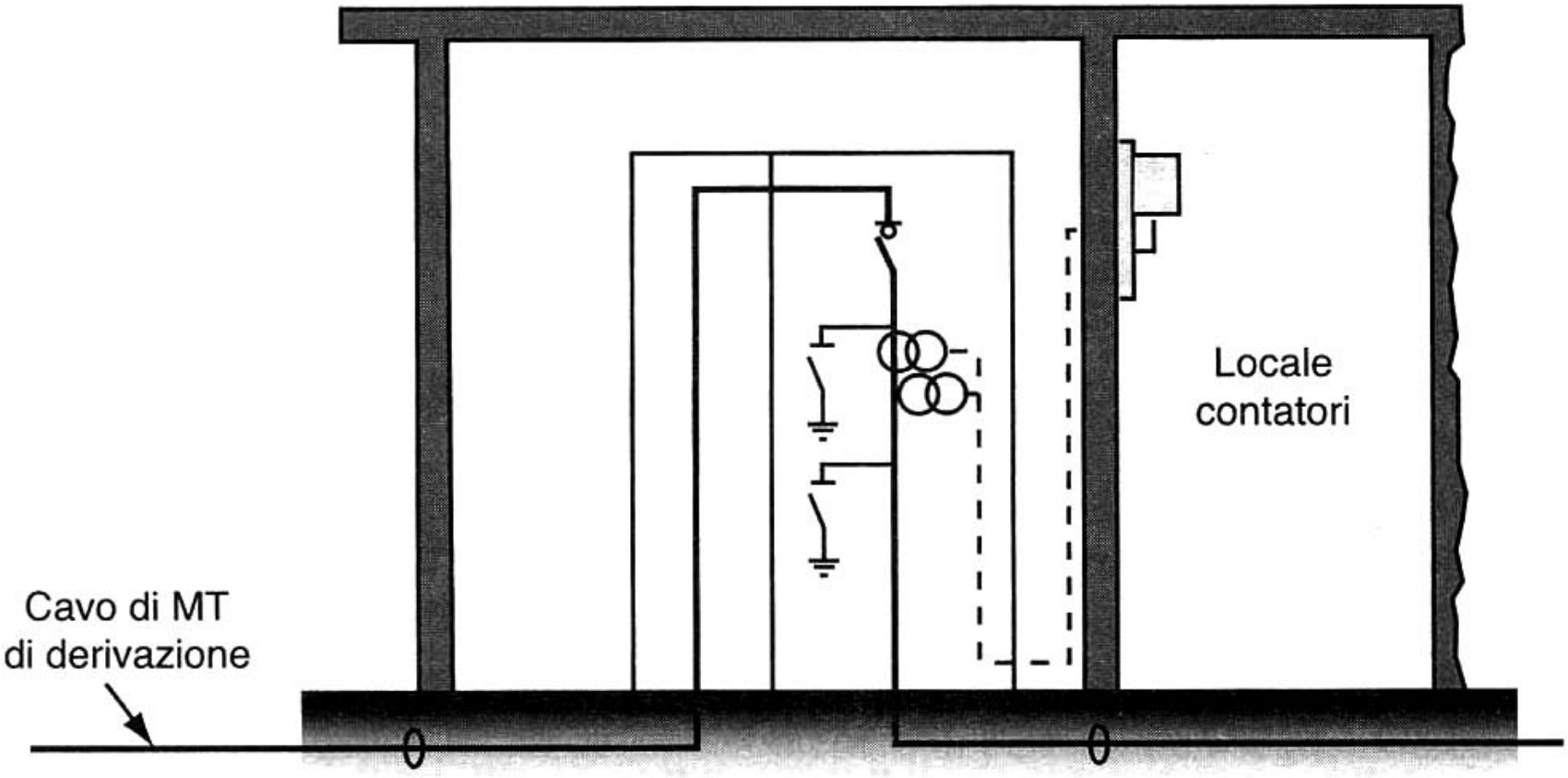
Cabina in elevazione

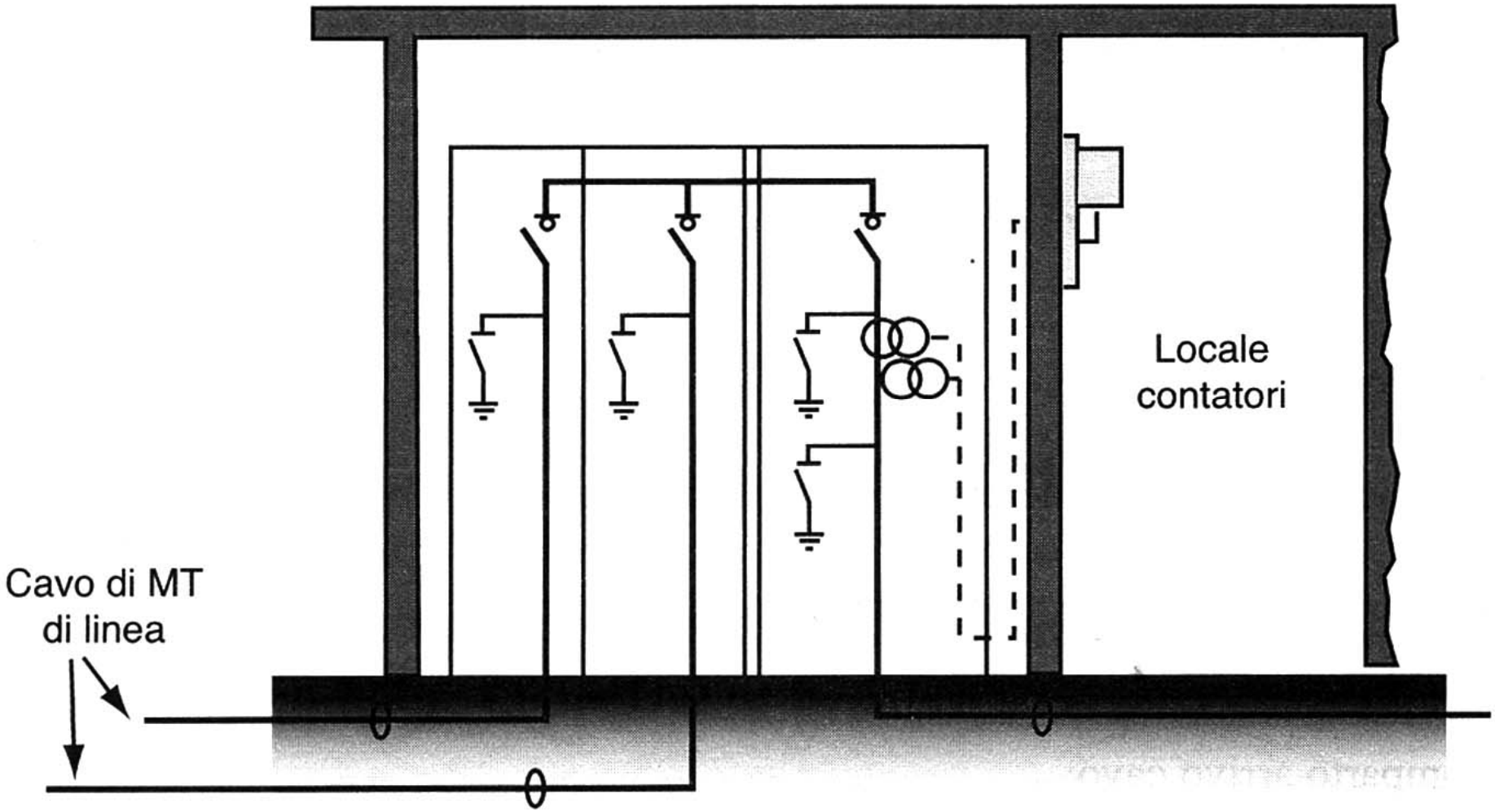


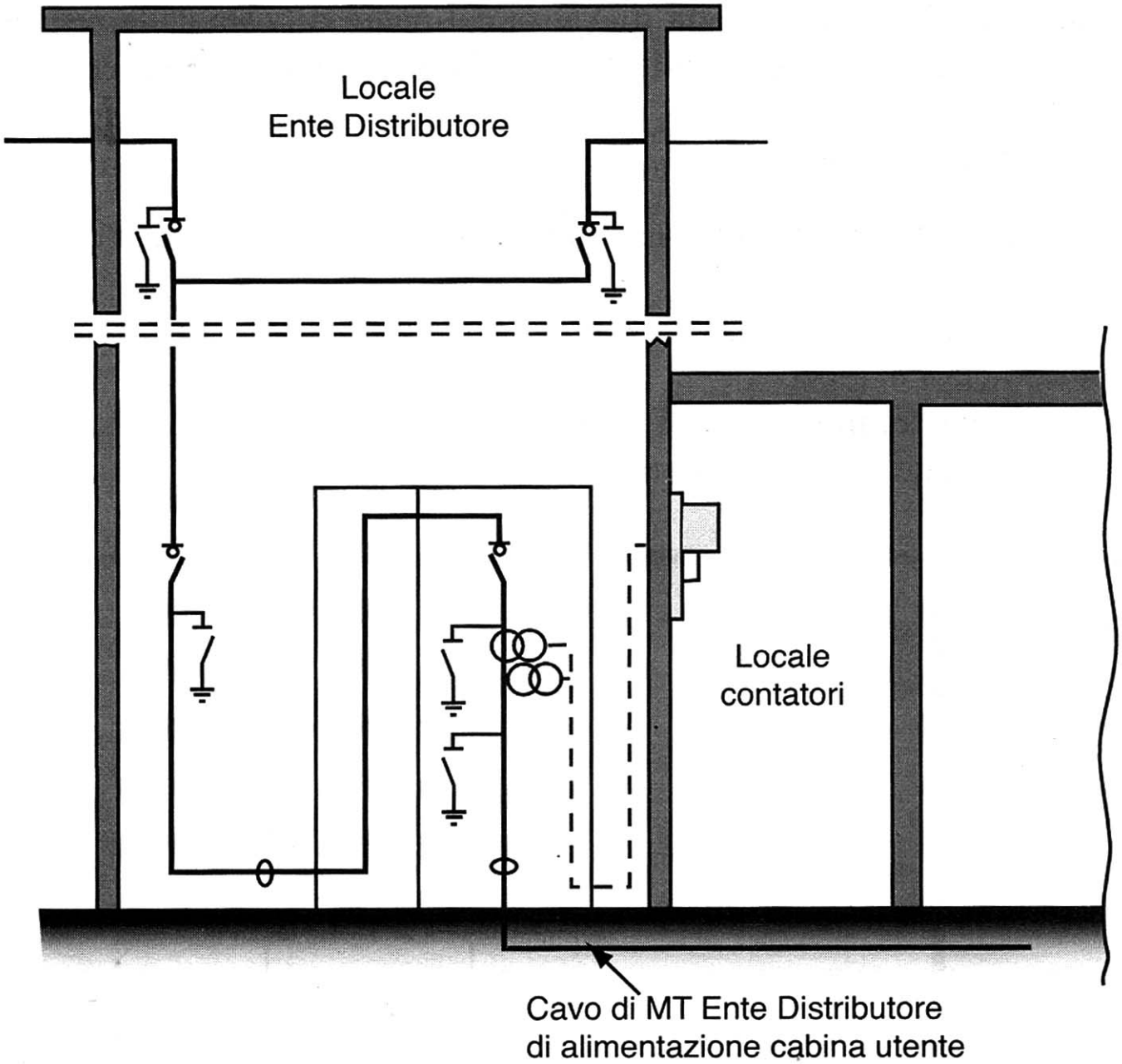
Cabina box



Per eliminare che la messa fuori servizio del trasformatore comporti l'interruzione della linea si usa il sistema dei tre pali:
- sul primo, in cui avviene la derivazione della linea in media tensione, si sistemano le apparecchiature di manovra (sezionamento);
- sul secondo si sistema il trasformatore con i dispositivi di protezione;
- dal terzo parte la linea aerea in bassa tensione.


Locale
contatori
Cavo di MT
di derivazione


Locale
contatori
Cavo di MT
di linea


Locale
Ente Distributore
Locale
contatori
Cavo di MT Ente Distributore
di alimentazione cabina utente

TRASFORMATORI DI MISURA

I trasformatori di misura permettono di superare le difficoltà della misura di correnti e tensioni di valore elevato dovute ai problemi di sicurezza per l'operatore e alla difficoltà di reperire adeguati strumenti di misura.

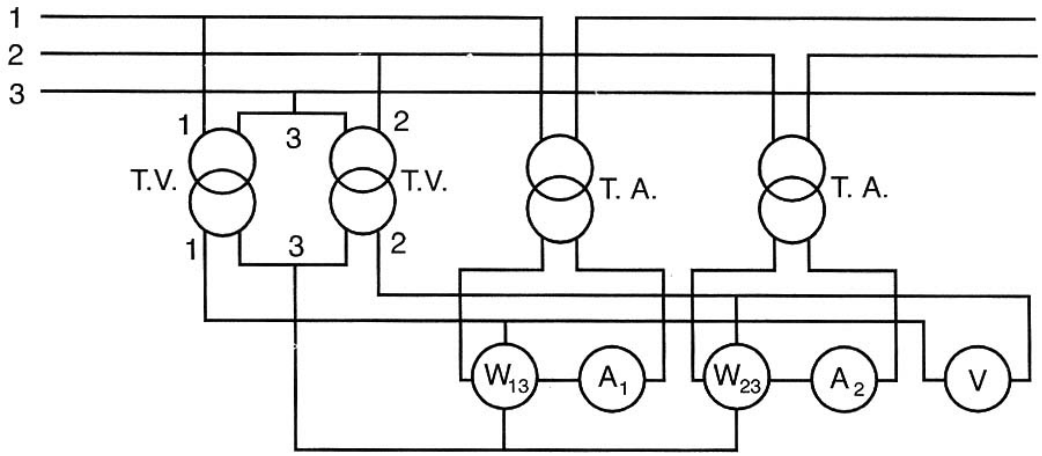
Con il termine T.A. si intendono quei trasformatori di misura impiegati per la misura di correnti.

Con il termine T.V. si intendono quei trasformatori di misura impiegati per la misura di tensioni.

<u>Schemi elettrici di impiego</u>

Il **primario** dei trasformatori di misura deve essere alimentato dalla grandezza da misurare; pertanto il primario del T.A. deve essere collegato in serie al filo di linea di cui vogliamo misurare la corrente mentre il primario del T.V. deve essere collegato in derivazione tra i fili di cui vogliamo misurare la tensione.

Il **secondario** dei trasformatori di misura alimenta gli strumenti di misura.



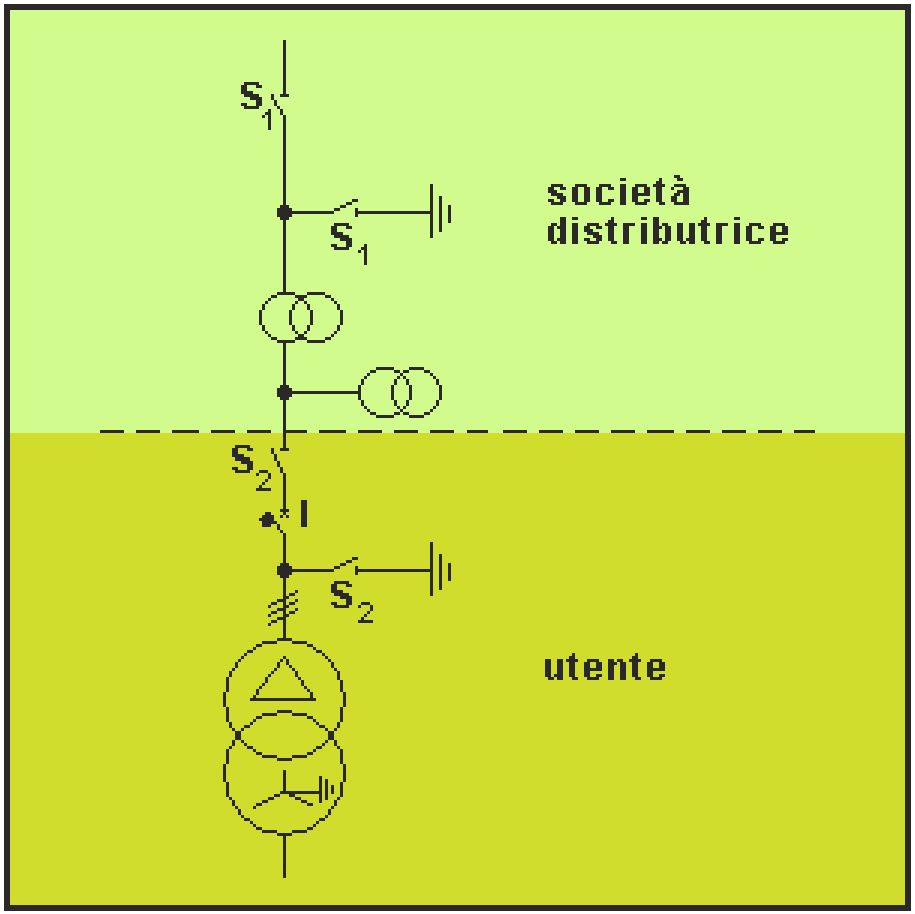
In figura si riporta un esempio di misura con l'inserzione indiretta per la misura di potenza (Aron)

Per ottenere le grandezze presenti in linea bisogna moltiplicare le letture sugli strumenti per i rapporti di trasformazione dei trasformatori di misura.

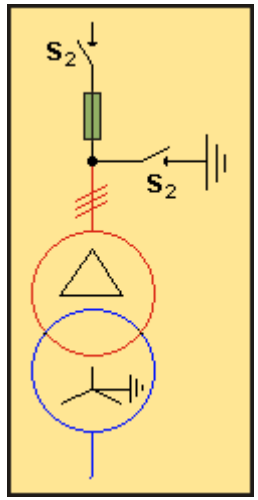
I trasformatori di misura comportano nel loro impiego due tipi di errore:

- errore di rapporto che compare quando la tensione o la corrente primaria non coincidono, rispettivamente per i T.V. e per i T.A., con i valori nominali;
- errore d'angolo che tiene conto del fatto che le grandezze elettriche al secondario non sono esattamente in fase con le rispettive grandezze al primario; l'entità di questo errore è minima e di esso si tiene conto eventualmente solo nelle misure di potenza con carichi fortemente reattivi.

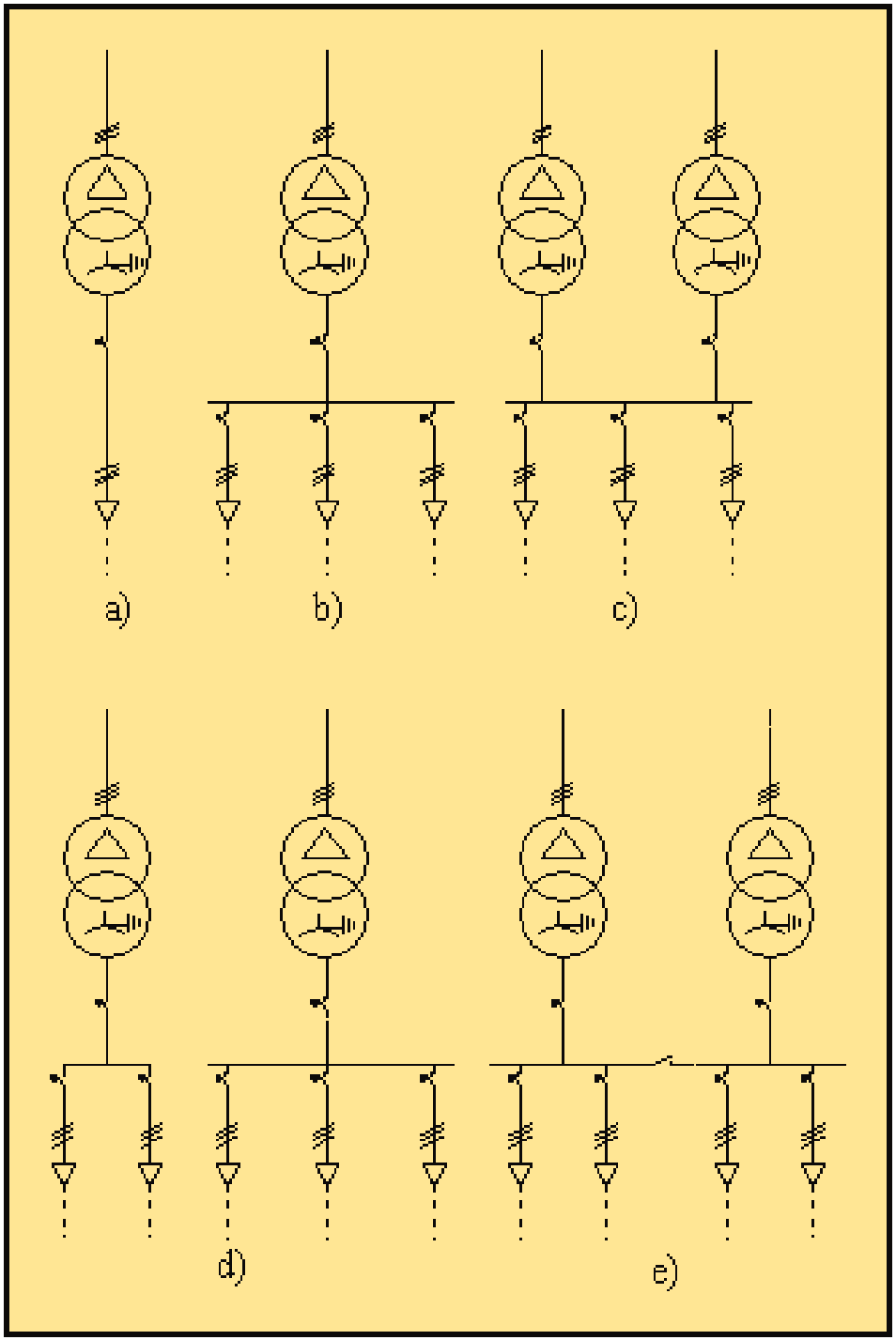
TORNA



Lato media tensione di una cabina utente MT/BT



gruppo sezionatore sotto carico-fusibili



Schemi unifilari lato BT

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.

Classificazione dei sistemi elettrici in base alla tensione

Si dice tensione nominale di un sistema il valore della tensione con il quale il sistema è denominato ed al quale sono riferite le sue caratteristiche.

E' riferendosi alla tensione nominale che si classificano i sistemi elettrici:

Sistema di categoria 0 con U ≤ 50 V in c.a. e 120 V in c.c.

Sistemi di categoria I con 50V<U≤1000 in c.a. e 75V<U≤1550V in c.c.

Sistemi di categoria II con 1000V<U≤30000V in c.a. e >1500V<U≤30000V in c.c.

Sistemi di gategoria III con U > 30000 V sia in c.a. che in c.c.

Classificazione dei sistemi elettrici in relazione alla messa a terra

I sistemi elettrici sono classificati in base allo stato del neutro e delle masse rispetto alla terra. Vengono indicati con due lettere:

1ª lettera

T Il neutro è collegato a terra

I Il neutro non è collegato a terra oppure è collegato a terra tramite un'impedenza

2ª lettera

T Masse collegate a terra

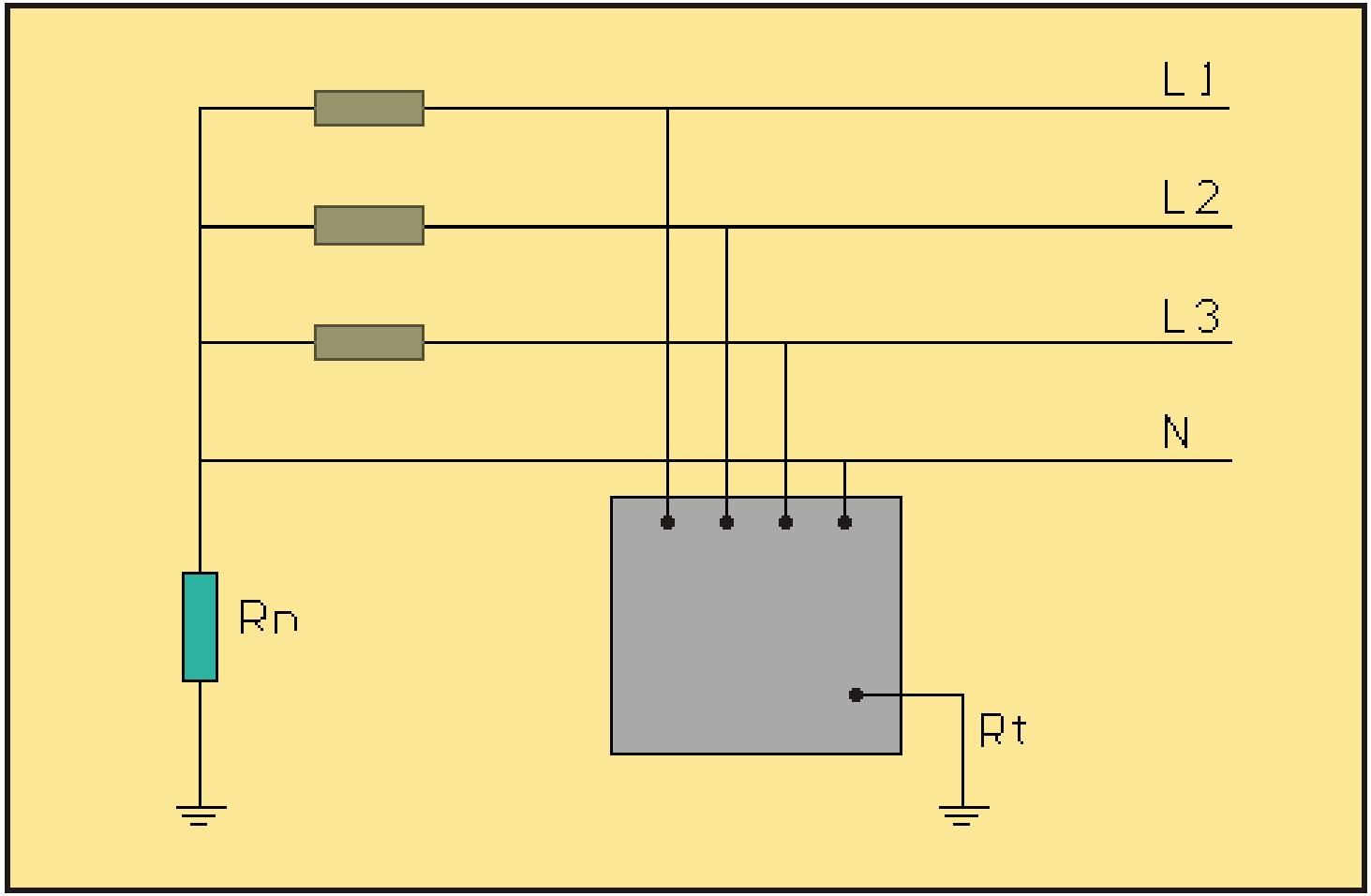
N Masse collegate al neutro del sistema

Fondamentalmente esistono tre tipi di sistemi elettrici di distribuzione: **TT**, **TN**, **IT**.

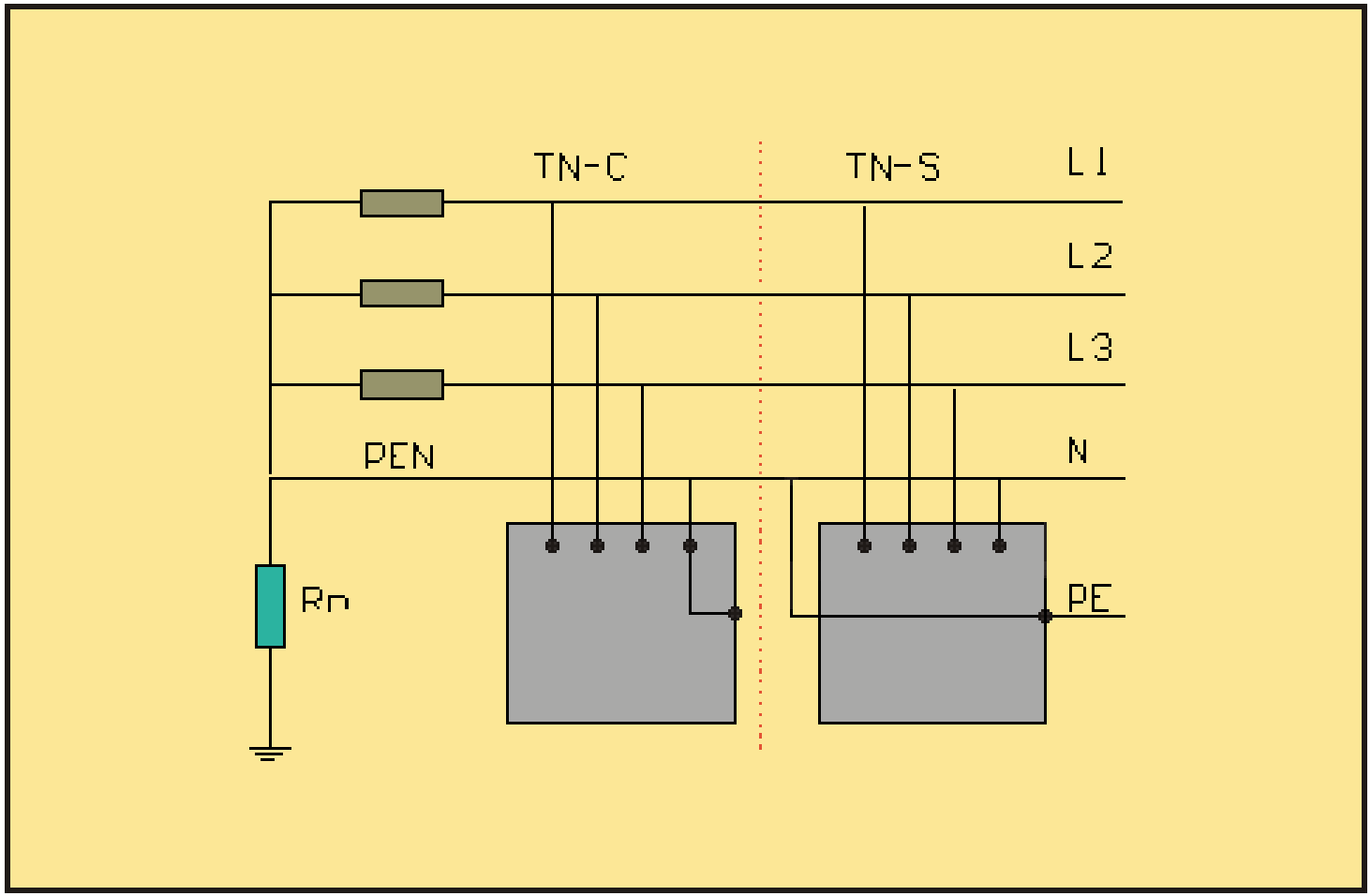
Sistema TT, terra del neutro in cabina e terra delle masse collegate all'impianto di terra dell'utente mediante il conduttore di protezione (PE). Il conduttore di neutro è considerato attivo a tutti gli effetti (può assumere tensioni pericolose ad esempio a causa di cadute di tensione su di esso) come tale deve essere sezionabile e quindi gli interruttori devono aprire su tutti i poli. Il conduttore PE invece non deve mai essere sezionato.

Sistema TN, neutro a terra con le masse collegate direttamente al neutro (**TNC** - il neutro, fungendo anche da conduttore di protezione, non deve essere sezionabile e deve avere sezione rispondente alle normative sugli impianti di terra) oppure tramite il conduttore di protezione (**TNS** - le norme richiedono il sezionamento del neutro solo nei circuiti a due conduttori fase-neutro aventi a monte un dispositivo di interruzione unipolare come ad esempio un fusibile. Comunque il sezionamento del neutro non è vietato negli altri casi).

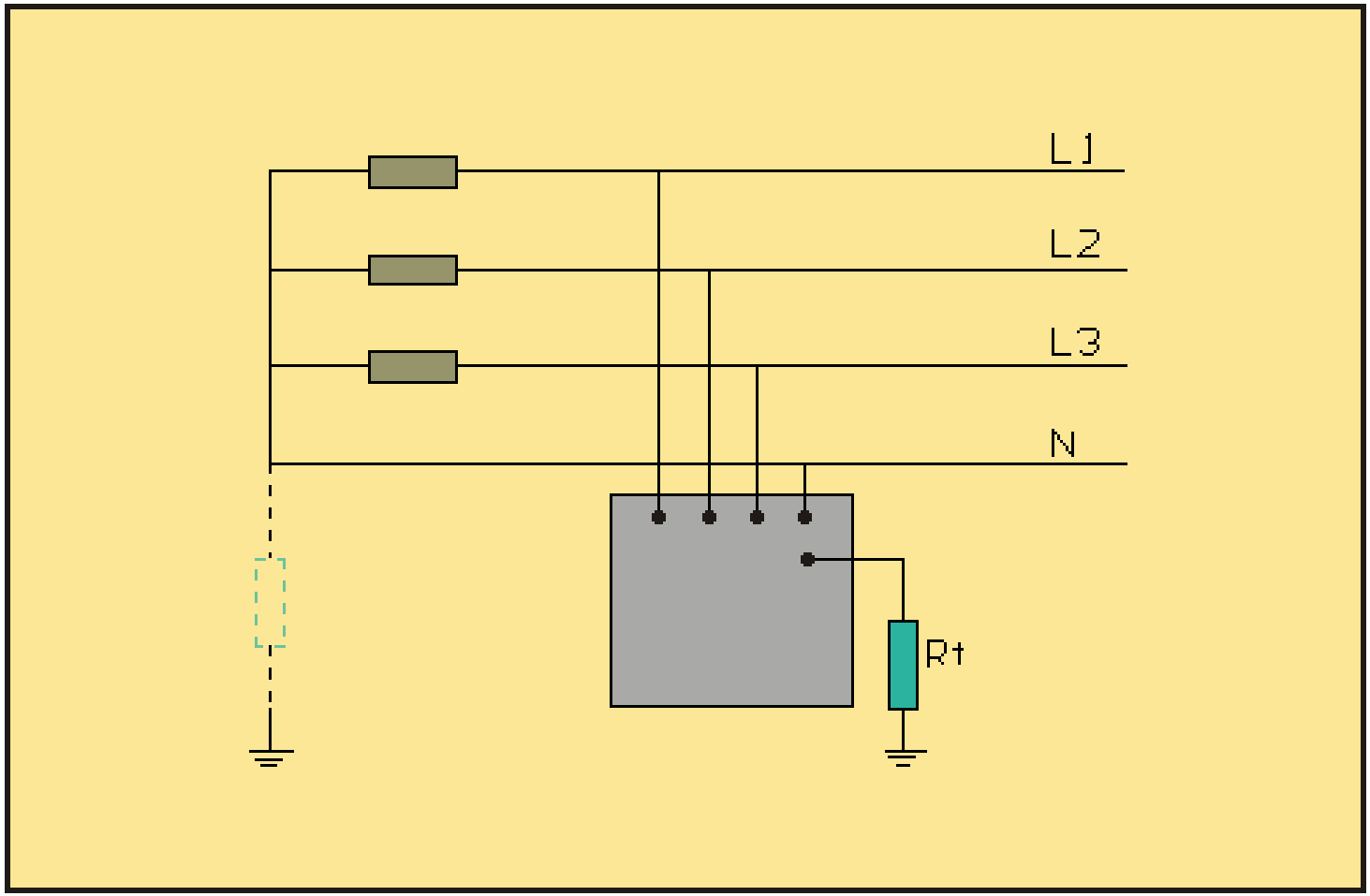
Sistema IT, il neutro è isolato o collegato a terra tramite impedenza mentre le masse sono collegate ad una terra locale (il neutro deve essere sempre sezionabile). Il principale vantaggio di questo sistema è la continuità del servizio perché al primo guasto a terra la corrente che si richiude attraverso le capacità parassite dei conduttori verso terra è molto piccola e quindi non necessita di essere interrotta. Questo è un sistema utilizzato per impianti con particolari esigenze di continuità di esercizio purché vi sia un collegamento ad un unico impianto di terra delle parti metalliche da proteggere, la tensione sulle masse non superi i 25V nel caso di primo guasto a terra, il tempo di intervento del dispositivo di protezione non superi i 5s quando si verifica il secondo guasto a terra e vi sia un dispositivo di controllo continuo dell'isolamento delle parti attive verso terra.



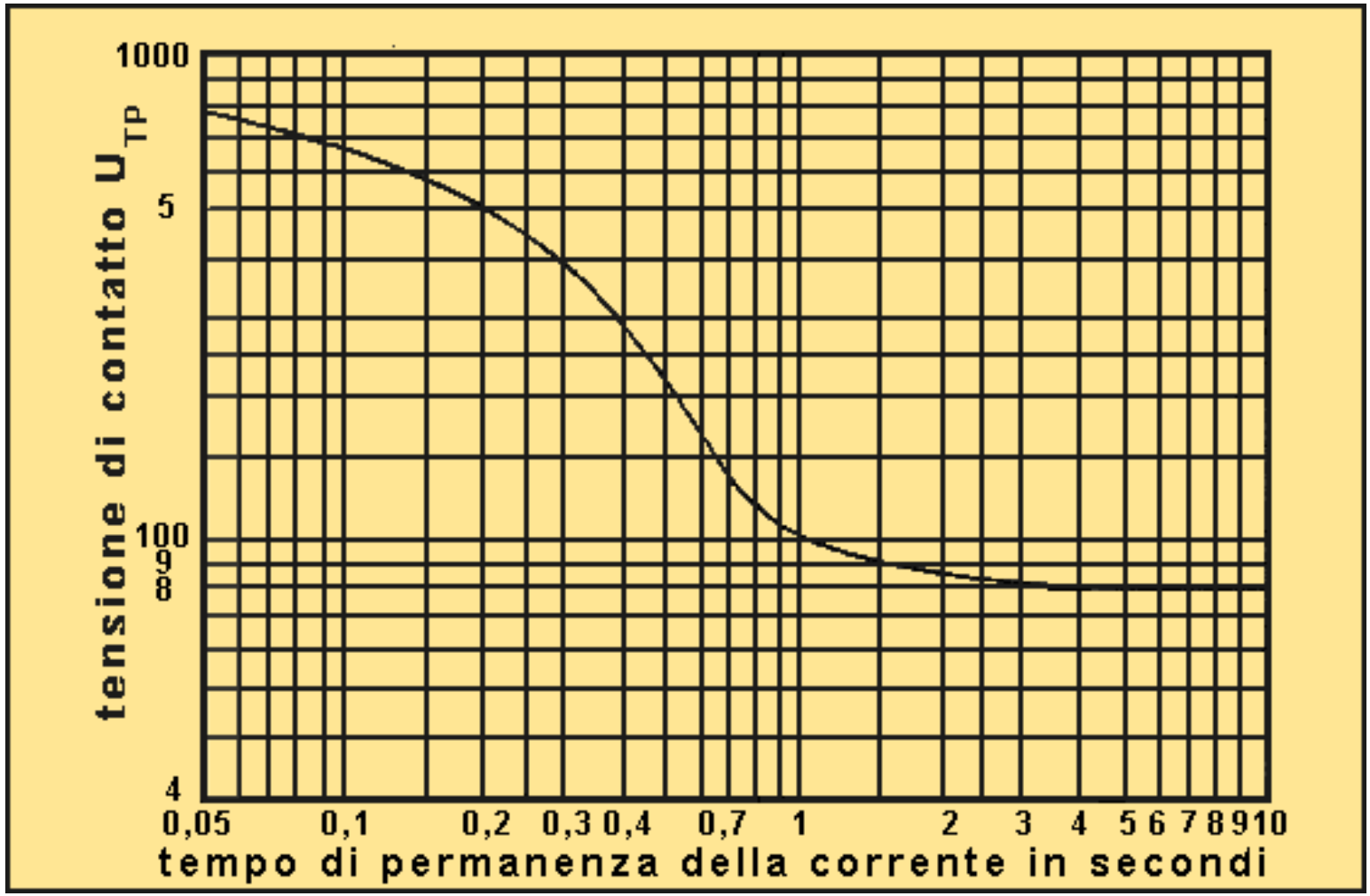
Sistema TT. Il neutro è collegato direttamente a terra mentre le masse sono collegate ad un impianto di terra locale indipendente da quello del neutro.



Sistema TN. Il neutro è collegato direttamente a terra. Le masse sono collegate al conduttore di neutro direttamente (TN-C) o tramite un conduttore di protezione (TN-S). Se il conduttore di neutro funge anche da conduttore di protezione prende il nome di PEN.



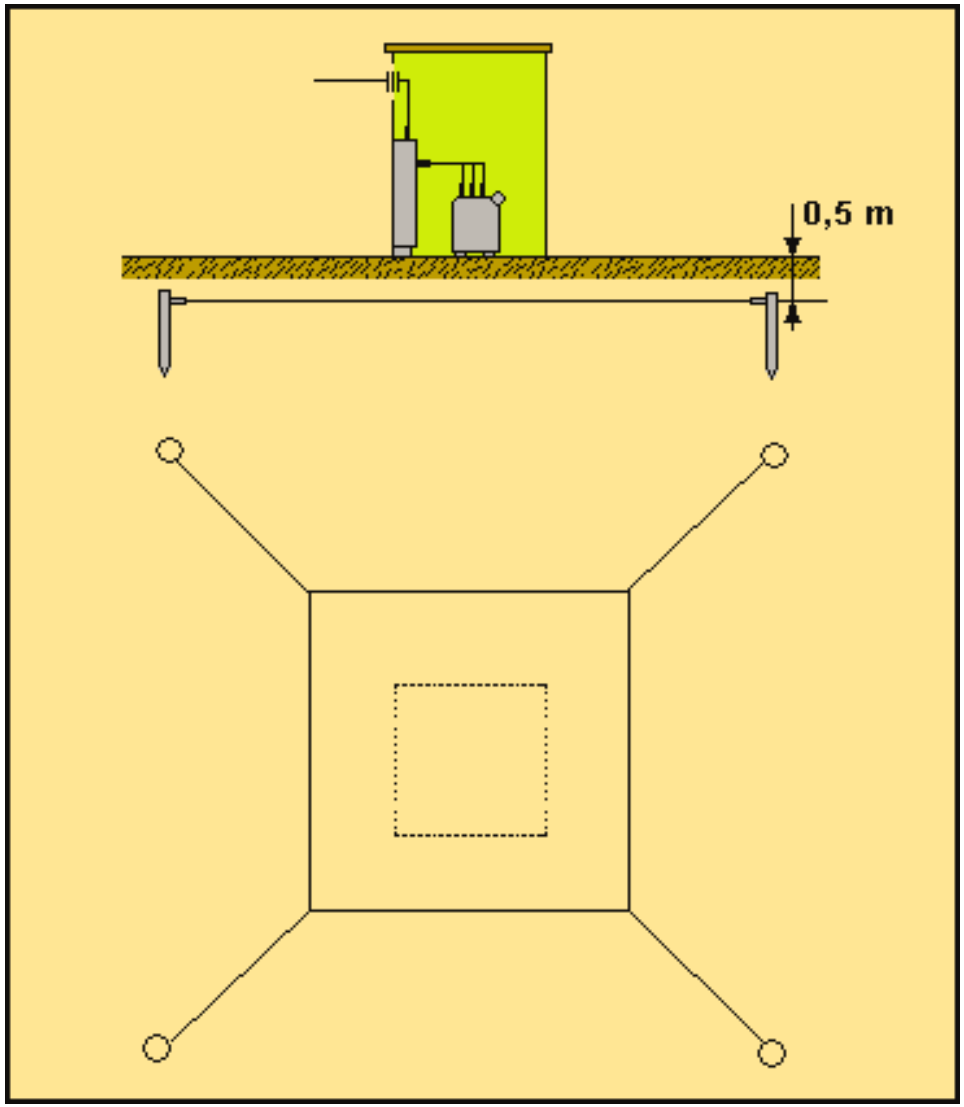
Sistema IT



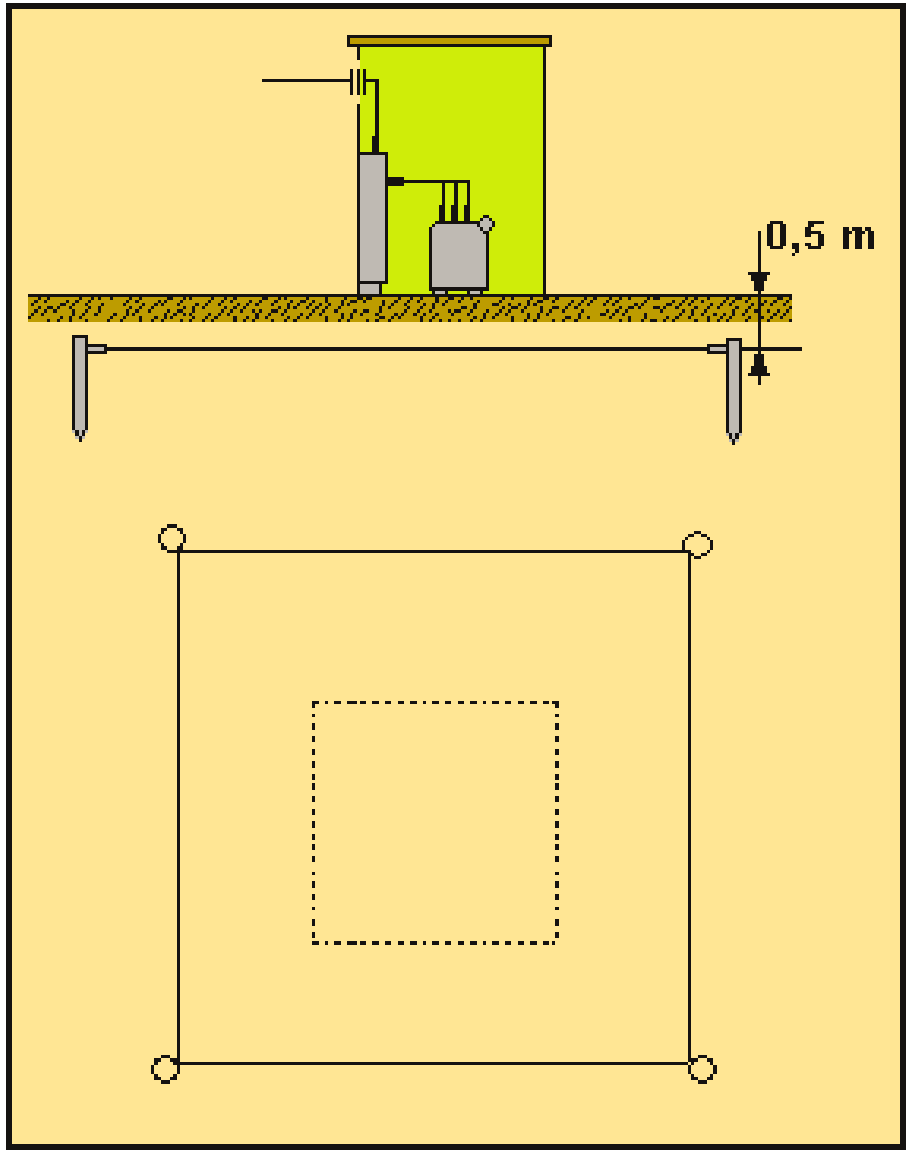
✶ La curva rappresenta il valore della tensione che può essere applicata al corpo umano da mano nuda a piedi nudi, con un valore dell'impedenza del corpo umano avente una probabilità pari al 50 % di non essere superata dalla popolazione, con una curva corrente tempo che presenta la probabilità del 5%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

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

✶Se la durata della corrente è molto più lunga di quanto mostrato nel grafico, si può usare per UTP un valore di75 V



Impianto di terra per cabina con dispersore ad anello con quattro picchetti agli angoli



Impianto di terra per cabina con dispersore ad anello integrato con quattro picchetti periferici