



# Lavori in cabina MT/BT

## 1 La cabina MT/BT

La cabina elettrica di trasformazione è una struttura contenente conduttori, apparecchiature e macchine rivolte alla trasformazione in bassa tensione (230/400 V) dell'energia a media tensione (in Italia 15 o 20 kV) fornita dal gestore della rete di distribuzione. Le **cabine elettriche** possono essere di proprietà del gestore (**pubbliche**) oppure d'utente (**private**). Le **cabine pubbliche** sono destinate alle utenze civili con contratti di fornitura di pochi kW, e alle utenze commerciali e industriali con potenze inferiori ai 30 kW e possono essere di tipo rurale, spesso costituite da un unico trasformatore alloggiato sul palo stesso della linea MT, o urbane, costruite in muratura e situate in prossimità o all'interno dell'edificio da alimentare (al piano terra o nel seminterrato).

Le **cabine private** servono invece grosse utenze, sia civili (ospedali, stadi, teatri, ecc.) sia industriali, con contratti di fornitura diretta in MT a tariffe più convenienti; sono poste all'interno del confine di proprietà dell'utente.



Fig. 1. Cabina in muratura (Edilceem).

### 1.1 Vani della cabina

Le cabine d'utente sono composte da almeno tre vani (fig. 2), di cui i primi due sono a disposizione del fornitore, con accesso diretto da strada aperta al pubblico.

Nel primo locale (**locale consegna**) sono installati gli scaricatori e le apparecchiature di sezionamento e manovra, e nel secondo (**locale misura**) i gruppi di misura dell'energia con i relativi TA e TV.

Nel terzo locale, di pertinenza dell'utente e accessibile solo alle persone appositamente autorizzate, sono situati:

- il sezionatore e l'interruttore generale (quadro MT);
- i cavi MT per la connessione al trasformatore;
- il trasformatore MT/BT;
- le sbarre o i cavi di interconnessione tra il trasformatore e il quadro BT;
- il quadro contenente le apparecchiature di bassa tensione;
- i cavi o le sbarre di bassa tensione in uscita.

Le porte, di dimensioni 2 x 0,75 m, in ferro, con serratura esterna, si aprono dall'interno verso l'esterno (vie di fuga) anche se chiuse a chiave.

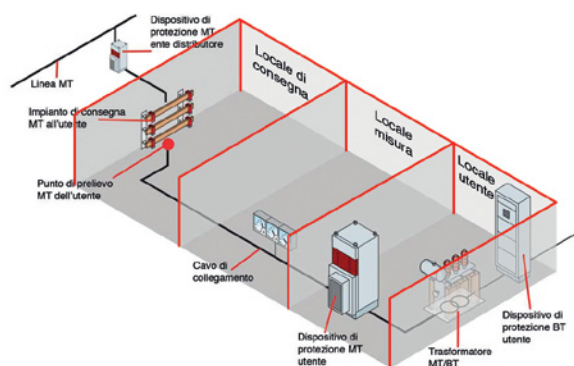


Fig. 2. Struttura di una cabina MT/BT.

La fornitura in MT può giungere dall'esterno in cavo o con linea aerea e può arrivare al trasformatore sia in disposizione a vista (disposizione a giorno, ormai obsoleta) oppure attraversando armadi metallici prefabbricati, contenenti ognuno un elemento del circuito MT.

### 1.2 Scaricatori

Le linee di distribuzione MT sono soggette a **sovratensioni** originate da cause sia esterne (scariche atmosferiche), sia interne (manovre di apertura o chiusura del trasformatore).

Nel primo caso, che è il più pericoloso, l'energia in gioco può essere notevole, e si presenta sotto forma di impulsi di tensione di valore superiore al livello di isolamento delle apparecchiature, che vanno perciò limitati.

Si pongono quindi all'ingresso dell'impianto, tra ciascuna delle linee e la terra del dispersore, opportuni scaricatori di protezione, detti **SPD** (*Surge Protective Device*).

Per linee in aria, esposte alla fulminazione diretta, si utilizzano **scaricatori spinterometrici** (fig. 3a), capaci di scariche di alcune centinaia di kA, costituiti da un corpo isolante che sostiene due aste metalliche affacciate, poste a una certa distanza tra loro, tale da definire il valore della tensione di innesco. L'impulso di prova è del tipo 10/350  $\mu$ s, cioè con 10  $\mu$ s di salita ( $T_1$ , fig. 3b) e 350  $\mu$ s di decadimento al 50% ( $T_2$ ).

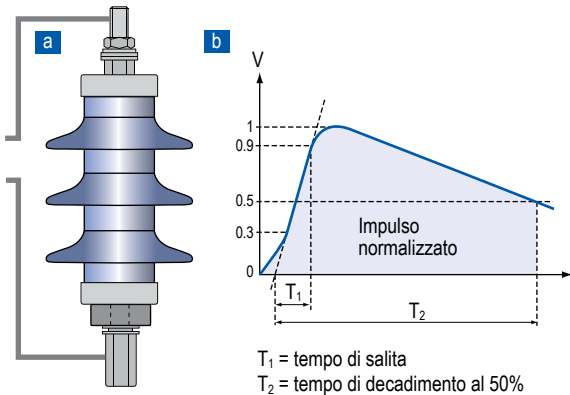


Fig. 3. Scaricatore spinterometrico (a) e impulso normalizzato (b).

Per linee in cavo interrato, non esposte alla fulminazione diretta, la soluzione più moderna, caratterizzata da ingombri minori, impiega **scaricatori chiusi** con anima interna costituita da ossido metallico (ZnO) e con isolatore esterno in gomma-silicone (fig. 4). Possono scaricare correnti impulsive di breve durata (impulsi 8/20  $\mu$ s), con valore di picco che, a seconda dei tipi, può arrivare a qualche decina di kA.

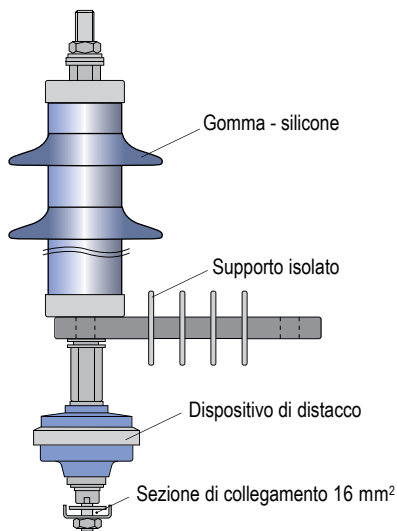


Fig. 4. Scaricatore per MT.

### 1.3 Dispositivi di manovra

I dispositivi di manovra in MT utilizzati all'interno della cabina sono gli **interuttori** e i **sezionatori** (fig. 5).

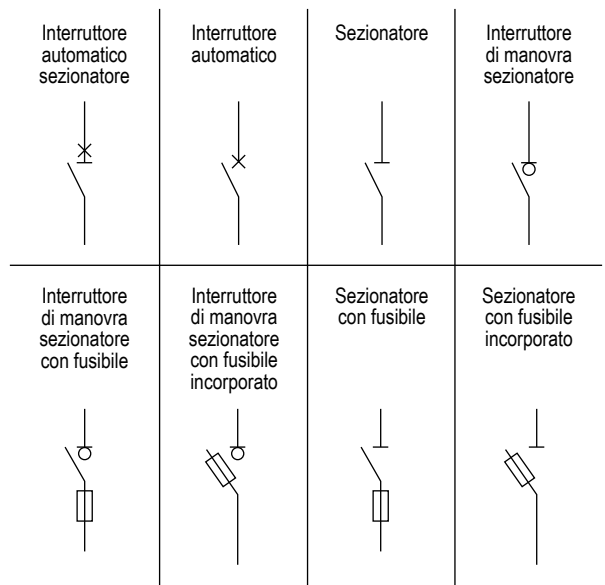


Fig. 5. Simboli grafici per dispositivi di apertura e sezionamento.

### Gli interuttori

Un **interruttore** (fig. 6) è un dispositivo meccanico impiegato per la chiusura e l'apertura di un circuito, in grado di interrompere anche la corrente di cortocircuito. I tipi più diffusi in MT sono due: in **esafluoruro di zolfo** o **sottovuoto**, simili per prestazioni e affidabilità.



- 1 Relè di protezione PR521/REF 601
- 2 Albero per la carica manuale delle molle di chiusura
- 3 Pulsante di chiusura
- 4 Pulsante di apertura
- 5 Segnalatore molle di chiusura cariche (giallo) e scariche (bianco)
- 6 Dispositivo di blocco e di segnalazione dello stato della pressione del gas SF<sub>6</sub> (applicabile a richiesta solo ad interruttori con pressostato)
- 7 Segnalatore interruttore aperto/chiuso
- 8 Terminali di media tensione
- 9 Sensore di corrente (per sganciatore PR521 / per sganciatore REF 601 - se previsto)
- 10 Polo dell'interruttore
- 11 Blocco a chiave

Fig. 6. Interruttore MT in SF<sub>6</sub> (HD4, ABB).

L'**esafluoruro di zolfo** ( $SF_6$ ) è un gas non tossico, cinque volte più pesante dell'aria, dotato di alta stabilità chimica e rigidità dielettrica (8 kV/mm) circa tripla rispetto all'aria secca. Soffiandone un getto sui poli dell'interruttore durante l'apertura del circuito, si estingue l'arco elettrico e si limita l'usura dei poli stessi. Il getto di gas sull'arco può essere ottenuto mediante appositi pistoni solidali con il contatto mobile dell'interruttore (interruttori ad auto compressione) oppure per auto espansione conseguente all'aumento di pressione interna provocata dall'arco stesso (interruttori ad autogenerazione, più piccoli). Il gas utilizzato non viene rilasciato direttamente in aria ma **recuperato** e riciclato (oppure filtrato con carboni attivi). Un apposito pressostato segnala l'eventuale calo di pressione interna per la necessaria manutenzione.

Negli **interruttori sotto vuoto**, l'assenza stessa di cariche elettriche almeno teoricamente non permette la formazione dell'arco.

I parametri più importanti di un interruttore sono:

- **la tensione nominale**, almeno pari alla tensione massima del sistema in cui è inserito;
- **la corrente nominale**, almeno pari alla corrente di intervento del relè di massima corrente ritardato;
- **il potere di interruzione** ( $I_{sc}$ ) almeno pari alla corrente di cortocircuito calcolata nel punto di installazione.

A questi va aggiunto il tempo di interruzione della corrente di cortocircuito ovvero il ritardo complessivo esistente tra il comando di apertura e lo spegnimento effettivo dell'arco tra i morsetti.

Il valore della corrente di cortocircuito sul lato MT è fornito dal distributore di energia, che è tenuto a comunicarlo.

### I sezionatori

Il **sezionatore** (fig.7) è un dispositivo meccanico posto a monte di un interruttore, che garantisce, una volta aperto, una distanza tra i contatti superiore al valore richiesto dalle norme e ottenibile normalmente con un interruttore.

Si tratta di un dispositivo che può essere manovrato solo a vuoto e pertanto, per evitare manovre sotto carico, i suoi comandi vengono interbloccati con la posizione dei rispettivi interruttori. Per ragioni di sicurezza, la posizione meccanica del sezionatore deve essere resa ben visibile. Come gli interruttori, anche i sezionatori possono essere in  **$SF_6$**  o **in aria**. Per i lavori fuori tensione in MT sono utilizzati anche i cosiddetti **sezionatori di terra**, che pongono in cortocircuito tra loro e a terra i conduttori di un circuito aperto e sezionato.

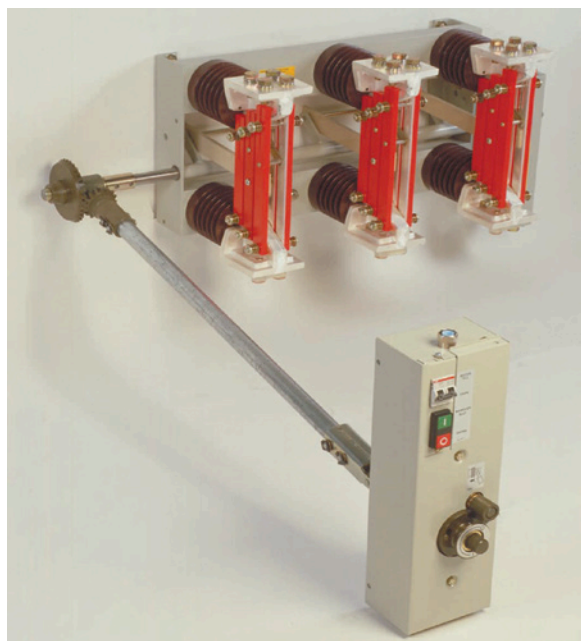


Fig. 7. Sezionatore per MT (OJON, ABB).

### 1.4 Lato MT di cabina

Nella sua forma più semplice, nel primo locale la linea MT si ferma sul sezionatore d'ingresso munito di coltelli di terra interbloccati con quelli di linea, da utilizzare per i lavori in cabina (fig. 8).

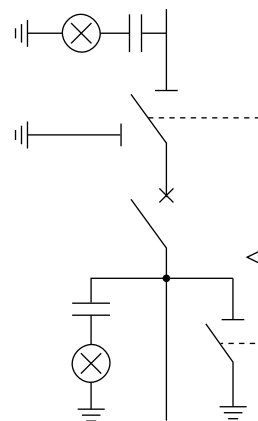


Fig. 8. Elementi di manovra nel locale di consegna.

Nel locale utente, il quadro MT contiene un interruttore di potenza, dotato di protezioni di sovracorrente, e un sezionatore a monte, anch'esso munito di coltelli di terra (fig. 9a).

Se l'interruttore generale è di tipo estraibile, il sezionatore a monte non è necessario.

Per potenze installate fino a 400 kVA e solo fino al 2004 il gruppo interruttore-sezionatore poteva essere sostituito con un più economico interruttore di manovra-sezionatore, con l'aggiunta di una terna di fusibili MT, detti fusibili "per uso combinato", per la protezione dalle sovracorrenti (fig. 9b).

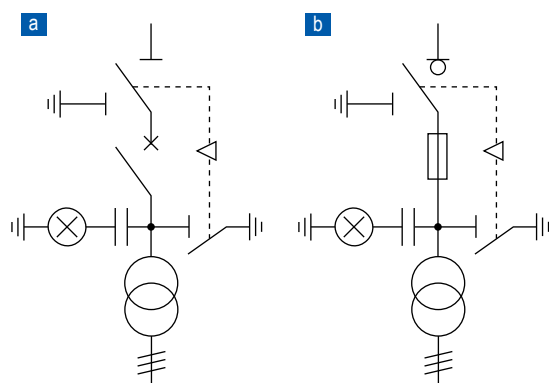


Fig. 9. Elementi di manovra MT nel locale utente.

L'**interruttore di manovra-sezionatore**, infatti, non è in grado di interrompere un'eventuale corrente di cortocircuito. Viene utilizzato per chiudere e aprire il circuito in condizioni di normale funzionamento e, una volta aperto, garantisce le distanze tra i poli tipiche di un sezionatore, per questo motivo è anche noto con l'appellativo di **sezionatore sotto carico**. Per la protezione dalle sovracorrenti va, quindi, accompagnato da una terna di **fusibili** di MT (fig. 10), costituiti da un supporto fisso (portafusibile) e da cartucce intercambiabili.

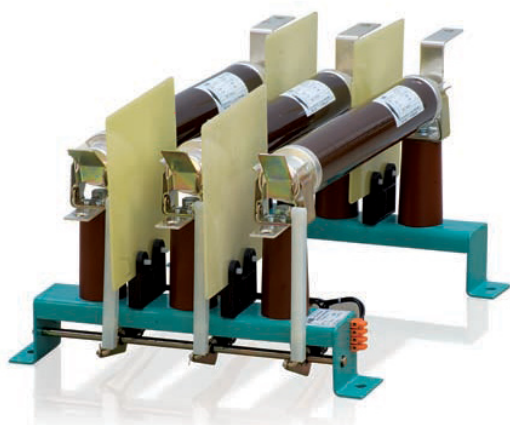


Fig. 10. Portafusibili con fusibili per MT (BPS, ABB).

Poiché la mancanza di una fase costituisce una situazione da evitare, ciascun fusibile è equipaggiato con un percussore trattenuto da una molla, in modo che il percussore del primo fusibile che fonde, qualunque sia la ragione, sgancia l'interruttore di manovra-sezionatore associato e interrompe l'alimentazione su tutte e tre le fasi.

Il collegamento al trasformatore è realizzato con cavi MT (fig. 11) unipolari, in rame o alluminio, isolati in gomma etilenpropilenica (EPR), schermati, con rivestimento esterno protettivo in polivinilcloruro (PVC) eventualmente armati (se per posa interrata) e con lo schermo connesso a terra ad entrambe le estremità.

La lunghezza deve essere la più corta possibile e la sezione è stata unificata in 95 mm<sup>2</sup> se in rame (o di sezione equivalente se in alluminio), indipendentemente dalla potenza fornita, in quanto deve reggere alle sollecitazioni termiche nelle condizioni di cortocircuito più severe (12,5 kA per 1 s).

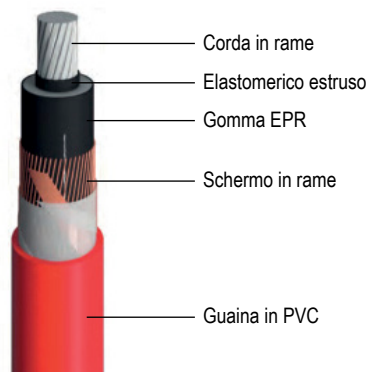


Fig. 11. Cavo per MT.

Il trasformatore MT/BT è situato in una zona riservata, protetta contro i contatti accidentali mediante barriera (fig. 12).



Fig. 12. Gabbia di impedimento.

### 1.5 Relè di protezione

I relè di protezione presenti sul lato MT della cabina sono dispositivi elettronici collegati alla linea in modo indiretto, tramite trasformatori TA e TV di isolamento e protezione, e alimentati con una tensione ausiliaria indipendente in bassa tensione, la cui presenza è garantita anche quando l'impianto è fuori tensione. I più noti sono il relè di massima corrente, il relè omopolare e il relè direzionale di terra.

#### Relè di massima corrente

Il **relè di massima corrente** protegge contro il sovraccarico il trasformatore e il cavo MT. Presenta una prima soglia ad intervento ritardato (codice

di protezione IEEE n. 51), con andamento a tempo inverso, cioè con il valore del ritardo che si riduce più alta è la corrente in linea (come in un normale relè termico), e una seconda soglia di massima corrente di valore fisso, indicato dal costruttore, ad intervento istantaneo (codice di protezione IEEE n. 50), il cui ritardo dipende solo dal sistema complessivo di sgancio.

Data la mancanza del neutro, l'inserzione può essere ottenuta con due soli TA (fig. 13).

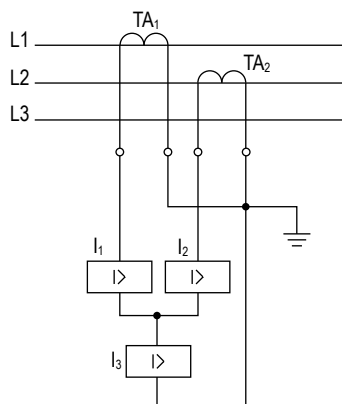


Fig. 13. Inserzione del relè di massima corrente.

### Il relè omopolare

Il **relè omopolare** è in grado di rilevare un'eventuale corrente di guasto a terra a valle della linea. Può essere realizzato con tre TA (collegamento Holmgreen, fig. 14), oppure con un unico TA toroidale che abbraccia i tre conduttori di MT (fig. 15), schermo compreso (altrimenti non funziona) in modo da annullare l'effetto di eventuali correnti di guasto che fluiscono attraverso lo schermo.

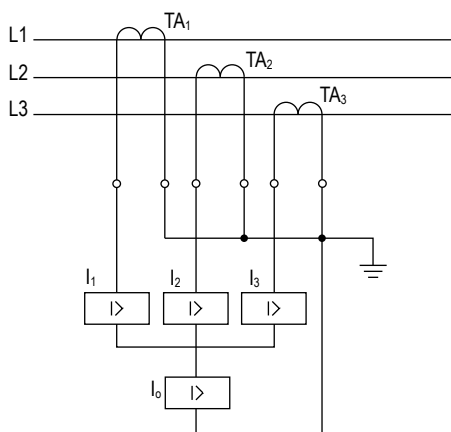


Fig. 14. Inserzione Holmgreen.

Poiché il lato MT è privo del conduttore di neutro (neutro isolato), un eventuale guasto a terra a monte può richiudersi in parte attraverso le capacità parassite verso terra presenti sul tratto di linea a valle del relè (fig. 16).

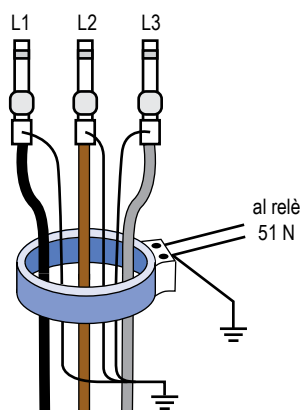


Fig. 15. TA toroidale.

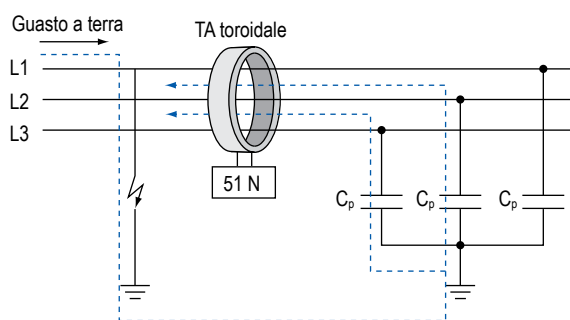


Fig. 16. Correnti capacitive di guasto a terra.

Per evitare interventi intempestivi del relè occorre quindi regolarne la soglia ad un valore superiore alla corrente capacitiva di guasto a terra.

#### ESEMPIO 5

La corrente capacitiva di una linea MT in cavo vale:

$$I_c \text{ [A]} = 0,2 \cdot L \text{ [km]} \cdot V \text{ [kV]}$$

Se la linea a 20 kV è lunga 200 m, risulta:

$$I_c = 0,2 \cdot 0,2 \cdot 20 = 0,8 \text{ A}$$

perciò, il relè omopolare va tarato per una soglia di 3 A.

### Relè direzionale di massima corrente

Il **relè direzionale di massima corrente di terra** (codice di protezione IEEE n. 67N) è un dispositivo di protezione in grado di stabilire se il guasto a terra si trova a monte o a valle del relè stesso, controllando lo sfasamento tra la corrente omopolare, rilevata per esempio con TA toroidale, e la tensione omopolare, rilevata con tre TV connessi a triangolo aperto (fig. 17).

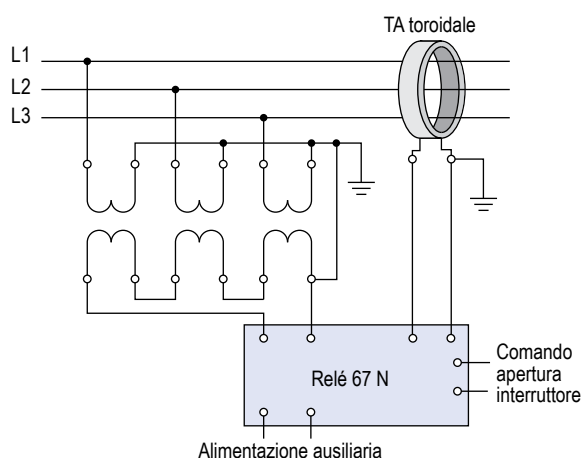


Fig. 17. Inserzione del relè direzionale di terra.

### Soglia di intervento

La soglia di intervento del relè va tarata sui valori di corrente, tensione, sfasamento e ritardo indicati dal distributore.

I **trasformatori** di corrente (TA) e di tensione (TV) sono classificati “**di protezione**” perché hanno caratteristiche e prestazioni differenti rispetto ai trasformatori di misura. Questi ultimi difatti saturano per correnti superiori al 10 ÷ 20% della corrente nominale, mentre i primi devono garantire una lettura corretta anche delle correnti di cortocircuito. Il secondario dei trasformatori, se non è già separato dal primario con uno schermo messo a terra, va messo a terra con un conduttore di 4 mm<sup>2</sup>. I valori secondari sono solitamente 1 A oppure 5 A per i TA e 100, 100/√3, 100/3 V per i TV.

### 1.6 Linea BT

Il collegamento dal secondario del trasformatore al quadro di bassa tensione può essere realizzato con **sbarre** (dette anche **blindo sbarre**, per potenze medio-grandi, **fig. 18**), o mediante **cavi unipolari in bassa tensione** (FG7R 0,6/1 kV, CEI 20-13) a corda flessibile in rame rosso ricotto, isolati in gomma (G7) e con guaina in PVC, posati in **passerelle** chiuse o a giorno.



Fig. 18. Sbarre e passerelle portacavi.

Sulla linea BT, per mantenere il fattore di potenza ( $\cos \varphi$ ) medio mensile maggiore di 0,9 e non pagare penali per l'eccessiva presenza di energia reattiva, sono installate (in modo centralizzato o distribuito) le batterie di condensatori per il rifasamento automatico mediante centraline apposite. Se il carico è discontinuo, la potenza reattiva del trasformatore a vuoto (energia di magnetizzazione) viene rifasata in modo indipendente, mediante un gruppo di condensatori posti sul lato BT del trasformatore, prima dell'interruttore generale.

### 1.7 Alimentazione ausiliaria

La sorgente di alimentazione ausiliaria deve garantire il funzionamento dei servizi ausiliari di cabina in mancanza dell'alimentazione principale con una autonomia di 2 ore in presenza costante di personale di pronto intervento e di 8 ÷ 10 ore negli altri casi. I servizi ausiliari sono i relè di protezione, i dispositivi di segnalazione, gli sganciatori e le motorizzazioni degli interruttori, l'illuminazione di emergenza.

La sorgente può essere in continua, derivata direttamente da un gruppo di batterie in tampone, oppure in alternata, ottenuta mediante un UPS (*Uninterruptible Power System*) composto da batterie ed inverter, con o senza by-pass.

## 2 Lavori in cabina

Per gli impianti di cat. II e III (media e alta tensione) le tensioni ammesse sono maggiori che in bassa tensione. Per questo la norma CEI 11-1 sceglie la curva c2 di **fig. 7** a pag. 325 del libro come curva di sicurezza corrente-tempo che presenta probabilità di fibrillazione cardiaca del 5%; inoltre prende in considerazione i valori della resistenza del corpo umano nel suo percorso tra una sola delle mani e i due piedi ( $R_{eq} = 1,5 \cdot R$ , **fig. 9** a pag. 326 del libro), che non sono superati dal 50% della popolazione (**tab. 1**), senza alcuna resistenza addizionale.

Tab. 1 – Valori convenzionali della resistenza una mano-due piedi che non sono superati dal 50% della popolazione al variare della tensione di contatto (CEI 11-1)	
Tensione di contatto [V]	1,5 · R [Ω]
25	2437
50	1969
75	1650
100	1406
125	1219
220	1012
700	825
1000	787
asintotico	562

Con questi valori si può tracciare la curva di sicurezza della **tensione di contatto ammissibile**  $U_{Tp}$  in funzione del tempo ( $t_F$ ) di durata del guasto (fig. 19) e la corrispondente tab. 2 (tab. C.3 CEI 11-1).

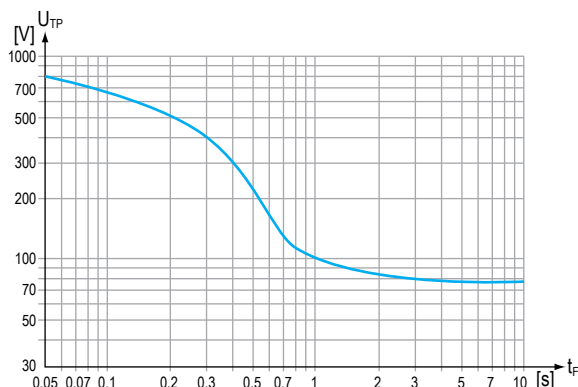


Fig. 19. Valori limite delle tensioni di contatto in MT e AT.

Tab. 2. Tensioni di contatto ammissibili (CEI 11-1)

$t_F$ [s]	$U_{Tp}$ [V]
0,04	800
0,08	700
0,14	600
0,20	500
0,29	400
0,39	300
0,49	220
0,64	150
0,72	125
1,10	100
2	85
10,00	80
>10	75

### ESEMPIO 1

Alla tensione di 100 V la resistenza offerta dal corpo umano è valutabile in 1406  $\Omega$  (tab. 2) e la corrente che percorre la persona vale:

$$I_B = \frac{100 \text{ V}}{1406 \Omega} = 71 \text{ mA}$$

Dalla caratteristica  $c_2$  di fig. 7 a pag. 325 del libro risulta che questa è tollerabile per un tempo di circa 1 s, come indicato in fig. 19 in corrispondenza di una tensione di contatto di 100 V.

## 2.1 Tensione totale di terra per cabine MT/BT utente

La norma CEI 11-1 specifica che l'impianto di terra per gli impianti di categoria II, III, sia tale che, in

ogni punto dell'impianto, la tensione di contatto ( $U_T$ ) risulti al massimo pari alla tensione di contatto ammissibile (relativamente al tempo di intervento delle protezioni):

$$U_T \leq U_{Tp}$$

e che la tensione di passo ( $U_S$ ) risulti al massimo pari a tre volte la corrispondente tensione di contatto ammissibile:

$$U_S \leq 3 \cdot U_{Tp}$$

La **tensione di contatto** è la tensione cui risulta soggetta una persona che tocca un elemento metallico in tensione, con i piedi a 1 m di distanza dall'elemento stesso.

La **tensione di passo** è la differenza di potenziale che si misura tra i piedi di una persona che transita in un terreno percorso da corrente, con apertura 1 m. Nel caso specifico di impianti con cabina di trasformazione di proprietà (**cabina utente**), con l'impianto di terra unico per la media e la bassa tensione, a cui è collegato il centro stella del secondario sul lato BT, e con sistema di distribuzione di tipo TN (fig. 12 a pag. 327 del libro), è sufficiente limitare la **tensione totale di terra** ( $U_E$ , da *earth*) al valore della tensione di contatto ammissibile:

$$U_E \leq U_{Tp}$$

senza più verificare le tensioni di contatto e di passo. Nei sistemi di distribuzione di tipo TN, i guasti sulla bassa tensione si chiudono direttamente sul filo di neutro, senza interessare la terra, pertanto nel calcolo della tensione di terra vanno considerati solo i guasti sulla media tensione, ovvero i valori della corrente di guasto ( $I_F$ , da *failure*) e del tempo di intervento degli interruttori MT ( $t_F$ ) forniti dal gestore dell'energia, che è tenuto a comunicarli. Di conseguenza, indicando con  $I_E$  la corrente di guasto a terra, la resistenza di terra deve valere:

$$R_E \leq \frac{U_E}{I_E} = \frac{U_{Tp}}{I_F}$$

Se poi, l'impianto di terra dell'utente è **unico e magliato su tutta l'area**, la tensione totale di terra può arrivare anche fino a 1,5 volte la tensione di contatto ammessa:

$$U_E \leq 1,5 \cdot U_{Tp}$$

$$R_E \leq 1,5 \cdot \frac{U_{Tp}}{I_F}$$

**ESEMPIO 2**

L'impianto di terra per l'alimentazione TN di uno stabilimento con cabina MT/BT di proprietà dell'utente presenta una resistenza di terra  $R_E = 1,2 \Omega$ . Sapendo che l'ente fornitore di energia ha indicato il valore della corrente di guasto monofase a terra  $I_F = I_E = 100 \text{ A}$  con un tempo di intervento dell'interruttore MT (nella cabina AT/MT del distributore)  $t_F = 1 \text{ s}$ , verificare se risultano rispettate le condizioni di sicurezza.

**SOLUZIONE**

La tensione totale di terra vale:

$$U_E = R_E \cdot I_E = 1,2 \Omega \cdot 100 \text{ A} = 120 \text{ V}$$

Dalla caratteristica riportata in **fig. 19**, in corrispondenza di  $t_F = 1 \text{ s}$  si ricava una tensione limite di contatto pari a 100 V. Poiché risulta  $U_E = 120 \text{ V} > 100 \text{ V}$ , l'impianto di terra non risulta adeguato per i guasti sulla media tensione.

La resistenza di terra va portata a meno di 1  $\Omega$ , per esempio aggiungendo ulteriori picchetti.

**2.2 Dispersore per cabina MT/BT d'utente**

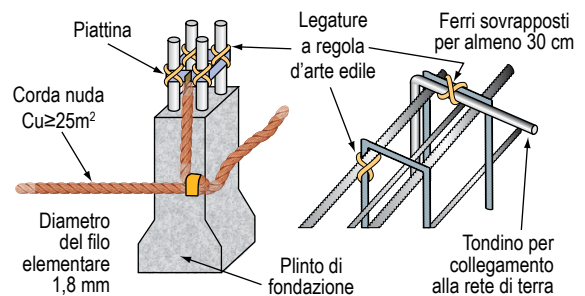
Il dispersore è l'elemento conduttore, a contatto elettrico con il terreno, preposto a disperdere al meglio la corrente di guasto. In **tab. 3** sono indicate alcune formule semplificate per il calcolo della resistenza equivalente di alcuni dispersori comuni (dispersori intenzionali), una volta nota la resistività del terreno ( $\rho$ ) e supponendo una profondità di interramento di almeno 0,5 m.

Tab. 3 – Resistenza equivalente di alcuni dispersori comuni	
Tipo di dispersore	Resistenza equivalente $R_E$
Picchetto verticale lungo L	$\frac{\rho}{L}$
Corda nuda orizzontale lunga L	$2 \cdot \frac{\rho}{L}$
Anello rettangolare di dimensioni a x b	$1,5 \cdot \frac{\rho}{a + b}$
Anello magliato di dimensioni a x b	$1,5 \cdot \frac{\rho}{a + b}$

I dispersori vanno collegati tra loro e al nodo di terra mediante appositi conduttori, le cui sezioni minime sono indicate in **tab.4**.

Tab. 4 – Sezioni minime dei conduttori di terra.		
Condizioni di posa	Materiale	Sezione minima [mm <sup>2</sup> ]
Protetto contro la corrosione	Rame o ferro	16
Non protetto contro la corrosione	Rame	25
	Ferro	50

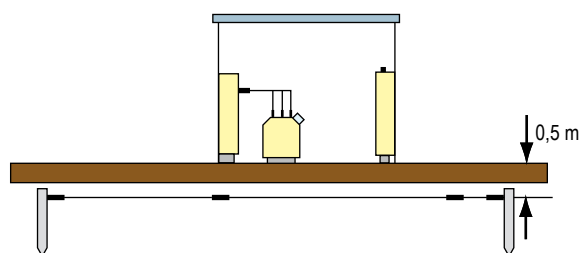
Inoltre, la CEI 64-8 raccomanda la realizzazione della **terra di fondazione** in tutti i nuovi edifici, ottenuta legando tra loro i ferri dei plinti delle fondazioni in cemento armato, che risultano in parallelo (**fig. 20**).



**Fig. 20.** Particolare di terra di armatura.

I ferri delle fondazioni e le reti elettrosaldate utilizzate per le pavimentazioni sono considerati dispersori di fatto (dispersori naturali) poiché risultano praticamente in contatto con il terreno, in quanto il calcestruzzo ne assume la medesima umidità. Con le legature eseguite a regola d'arte, ogni plinto presenta una resistenza di dispersione pari a  $\rho/5 \div \rho/10$ , e garantisce una terra più duratura perché priva di fenomeni di corrosione.

Il dispersore tipico di cabina, difatti, è solitamente costituito da un anello perimetrale, in corda, di forma rettangolare o quadrata, interrato a 0,5 m, al quale sono collegati sia i ferri delle fondazioni in cemento armato, sia l'eventuale griglia elettrosaldata interrata sotto il pavimento della cabina stessa o inglobata nella soletta in calcestruzzo. Se il terreno è ad alta resistività (terreno secco o ghiaioso) si possono aggiungere quattro picchetti ai vertici dell'anello (**fig. 21**), oppure si può integrarlo con un secondo anello più ampio, disposto a maggiore profondità, così da realizzare il cosiddetto dispersore piramidale.



**Fig. 21.** Anello di terra integrato con picchetti agli angoli.



Un ulteriore accorgimento consiste nell'asfaltare il suolo con almeno 5 cm di bitume, perché ciò aumenta la resistività superficiale del terreno e quindi riduce le tensioni di passo.

Qualunque sia la forma del dispersore di terra, ad una distanza anche breve dal dispersore stesso le superfici equipotenziali tendono ad assumere una forma emisferica, il potenziale ( $v$ ) si riduce in rapporto inverso alla distanza (fig. 22):

$$v = V \cdot \frac{r_0}{d}$$

e la differenza di potenziale tra dispersore e terreno risulta più alta in prossimità del dispersore stesso.

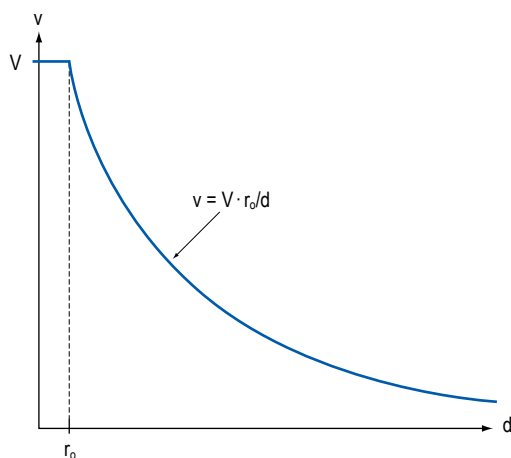


Fig. 22. Andamento del potenziale nell'intorno di un picchetto di raggio  $r_0$ .

#### ESEMPIO 4

A 10 cm di distanza da un dispersore di raggio 2 cm a 50 V, il potenziale è:

$$v = V \cdot \frac{r_0}{d} = 50 \text{ V} \cdot \frac{2 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 10 \text{ V}$$

e la differenza di potenziale vale  $50 - 10 = 40 \text{ V}$   
A una distanza doppia, il potenziale è:

$$v = V \cdot \frac{r_0}{d} = 50 \text{ V} \cdot \frac{2 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 5 \text{ V}$$

e la differenza di potenziale vale  $50 - 5 = 45 \text{ V}$ , con un aumento di soli 5 V.

Se, per la tensione di passo, la situazione più pericolosa si ha in prossimità del dispersore stesso, per quanto riguarda la tensione di contatto, la situazione più pericolosa si ha quando la persona si trova con i piedi distanti dal dispersore e tocca un elemento

metallico connesso al dispersore (per esempio una tubatura metallica). Pertanto, per impedire la propagazione a distanza di tensioni pericolose, bisogna evitare il passaggio di elementi metallici (reti di recinzione, tubature, rotaie) nell'area d'influenza del dispersore e, nel caso di tubature indispensabili, va interposto un tratto isolante.

### 3 Manutenzione ordinaria

La manutenzione ordinaria e programmata della cabina serve ad assicurarne l'affidabilità (intesa come pronta individuazione delle anomalie e prevenzione dei guasti) e a garantirne la sicurezza.

La responsabilità per la corretta effettuazione delle verifiche periodiche è assegnata al personale esperto appositamente addestrato.

Le operazioni di manutenzione programmata vanno effettuate sempre con il circuito fuori tensione, avendo cura di seguire le procedure prescritte per la messa in sicurezza dell'impianto, con l'affissione dei relativi cartelli monitori.

Le verifiche periodiche, generalmente a cadenza semestrale, possono riguardare:

- il **locale cabina** (eseguire la pulizia del locale, controllare l'integrità delle griglie di aerazione e pulirle, verificare la presenza dei dispositivi di protezione individuali, controllare la carica degli estintori, verificare la presenza dei cartelli monitori e della documentazione di impianto, eseguire il controllo dello stato di conservazione delle strutture di protezione, come reti e cancelli, contro i contatti diretti);
- i **sezionatori MT** (eseguire la pulizia e il controllo visivo dell'integrità degli isolatori, eseguire il controllo di serraggio dei collegamenti elettrici agli isolatori, verificare l'efficienza delle connessioni a terra del sezionatore di terra, verificare l'efficacia degli interblocchi meccanici e/o elettrici tra sezionatori di linea e sezionatori di terra, verificare l'efficienza dei dispositivi di blocco che impediscono l'accesso alle parti in tensione, verificare l'efficienza dei segnalatori meccanici di posizione);
- i **fusibili** (controllo visivo);
- gli **interuttori SF<sub>6</sub>** (eseguire la pulizia e il controllo visivo dell'integrità degli interuttori, controllare la pressione sul pressostato, eseguire cinque manovre, controllare la messa a terra, controllare la funzionalità degli interblocchi, controllare i serraggi, ingrassare le molle);

- i **relè di protezione** (verificare manualmente il dispositivo di sgancio, verificare il corretto intervento delle protezioni di massima corrente e di terra con l'apposito strumento);
- il **trasformatore** (controlli su livello e qualità dell'olio, termosonde, relè Buchholz, pulizia, serraggi);
- il **quadro BT** (pulizia, serraggi, efficienza illuminazione interna e resistenze anticondensa, verificare l'intervento di protezioni e differenziali);
- il **gruppo di rifasamento** (controllo serraggi, schermi protettivi e messa a terra delle parti metalliche);
- l'**illuminazione di sicurezza** (verificare la funzionalità delle lampade e il corretto intervento delle luci di sicurezza);
- l'**impianto di terra** (verificare l'integrità dei collegamenti e i serraggi delle connessioni).



### ESERCIZIO A

Verificare i valori del tempo di guasto  $t_F$  corrispondenti alla tensione di contatto  $V = 220$  V riportati in fig. 8.40 relativamente agli impianti in media e alta tensione, prendendo a riferimento la caratteristica  $c_2$  di fig. 7 a pag. 325 del libro.

#### SOLUZIONE

Alla tensione di 220 V la resistenza offerta dal corpo umano è valutabile in  $1012 \Omega$  (tab. 1, valore non superato dal 50% della popolazione) e la corrente che percorre la persona vale:

$$I_B = \frac{220 \text{ V}}{1.012 \Omega} = 217 \text{ mA}$$

Dalla caratteristica  $c_2$  di fig. 7 a pag. 325 del libro risulta che questa è tollerabile per un tempo di circa 0,5 s, come indicato in fig. 19 in corrispondenza di una tensione di contatto di 220 V.

### ESERCIZIO 1

Verificare i valori del tempo di guasto  $t_F$  corrispondenti alla tensione di contatto  $V = 300$  V riportati in fig. 19 relativamente agli impianti in media e alta tensione, prendendo a riferimento la caratteristica  $c_2$  di fig. 7 a pag. 325 del libro.

[Ris.: 46 mA e 500 ms (cond. ord.),  
91 mA e 270 ms (cond. part.)]

### ESERCIZIO 2

Incrociando il valore del tempo di guasto  $t_F$  per un impianto in media e alta tensione (fig. 19) con la caratteristica  $c_2$  di fig. 7 a pag. 325 del libro, deter-

minare il valore della resistenza del corpo corrispondente alla tensione di contatto  $V = 500$  V.

[Ris.:  $\approx 850 \Omega$ ]



### ESERCIZIO B

Determinare la differenza di potenziale presente alla distanza di 40 cm rispetto ad un dispersore di raggio 4 cm a potenziale 60 V.

#### SOLUZIONE

Il potenziale a 40 cm vale:

$$v = V \cdot \frac{r_0}{d} = 60 \text{ V} \cdot \frac{4 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} = 6 \text{ V}$$

La differenza di potenziale vale quindi:

$$\Delta V = V - v = 60 \text{ V} - 6 \text{ V} = 54 \text{ V}$$

### ESERCIZIO 3

Determinare la differenza di potenziale presente alla distanza di 30 cm rispetto ad un dispersore di raggio 2 cm a potenziale 80 V.

[Ris.:  $\Delta V = 74,7$  V]

### ESERCIZIO 4

Determinare la differenza di potenziale presente alla distanza di 25 cm rispetto ad un dispersore di raggio 4 cm a potenziale 100 V.

[Ris.:  $\Delta V = 84$  V]

[Ris.:  $\approx 850 \Omega$ ]



### ESERCIZIO C

L'impianto di terra per l'alimentazione TN di uno stabilimento con cabina MT/BT di proprietà dell'utente presenta una resistenza di terra  $R_E = 1,4 \Omega$ . Sapendo che l'ente fornitore di energia ha indicato il valore della corrente di guasto monofase a terra  $I_F = I_E = 50$  A con un tempo di intervento dell'interruttore MT (nella cabina AT/MT del distributore)  $t_F > 10$  s, verificare se risultano rispettate le condizioni di sicurezza.

#### SOLUZIONE

La tensione totale di terra vale:

$$U_E = R_E \cdot I_E = 1,4 \Omega \cdot 50 \text{ A} = 70 \text{ V}$$

### ESERCIZIO 5

L'impianto di terra per l'alimentazione TN di uno stabilimento con cabina MT/BT di proprietà dell'utente presenta una resistenza di terra  $R_E = 1 \Omega$ . Sapendo che l'ente fornitore di energia ha indicato il valore della corrente di guasto monofase a terra  $I_F = I_E = 80$  A

con un tempo di intervento dell'interruttore MT (nella cabina AT/MT del distributore)  $t_F = 3$  s, verificare se risultano rispettate le condizioni di sicurezza.

[Ris.: sì,  $U_E = 80$  V < 85 V]



#### ESERCIZIO D

Un'azienda dotata di una propria cabina di trasformazione MT/BT dispone di una rete di terra magliata su tutta la superficie dello stabilimento, con resistenza  $R_E = 2$   $\Omega$ . Sapendo che l'ente fornitore di energia ha indicato il valore della corrente di guasto monofase a terra  $I_F = I_E = 150$  A con un tempo di intervento dell'interruttore MT (nella cabina AT/MT del distributore)  $t_F = 0,5$  s, verificare se risultano rispettate le condizioni di sicurezza.

#### SOLUZIONE

La tensione totale di terra vale:

$$U_E = R_E \cdot I_E = 2 \Omega \cdot 150 \text{ A} = 300 \text{ V}$$

Dalla caratteristica riportata in **fig. 19**, in corrispondenza di  $t_F = 0,5$  s si ricava una tensione limite di contatto pari a 210 V.

Poiché risulta  $U_E = 300$  V <  $1,5 \cdot 210$  V = 315 V (rete di terra magliata su tutta l'area), l'impianto di terra risulta in sicurezza per i guasti sulla media tensione.

#### ESERCIZIO 6

Una azienda dotata di una propria cabina di trasformazione MT/BT dispone di una rete di terra magliata su tutta la superficie dello stabilimento, con resistenza  $R_E = 3$   $\Omega$ . Sapendo che l'ente fornitore di energia ha indicato il valore della corrente di guasto monofase a terra  $I_F = I_E = 140$  A con un tempo di intervento dell'interruttore MT (nella cabina AT/MT del distributore)  $t_F = 0,4$  s, verificare se risultano rispettate le condizioni di sicurezza.

[Ris.: sì,  $U_E = 420$  V <  $1,5 \cdot 300$  V = 450 V]



#### ESERCIZIO E

Valutare la resistenza di terra di un capannone di dimensioni 20 x 12 m strutturato su nove plinti e dotato di terra di armatura con anello perimetrale di congiunzione, sapendo che la resistività del terreno è di 200  $\Omega$ m.

#### SOLUZIONE

Ciascun plinto equivale ad un dispersore con resistenza compresa tra  $\frac{200 \Omega}{5} = 40 \Omega$  e  $\frac{200 \Omega}{10} = 20 \Omega$ .

Considerando il valore intermedio di 30  $\Omega$ , anche senza valutare le maglie elettrosaldate di pavimentazione, la resistenza totale di terra è il parallelo dei nove dispersori naturali

$$\frac{30 \Omega}{9} = 3,33 \Omega$$

e della resistenza dell'anello perimetrale

$$1,5 \cdot \frac{\rho}{a + b} = 1,5 \cdot \frac{200 \Omega \text{m}}{20 \text{ m} + 12 \text{ m}} = 9,375 \Omega$$

$$R_E = 3,33 // 9,375 = 2,46 \Omega$$

#### ESERCIZIO 7

Valutare la resistenza di terra di un capannone di dimensioni 40 x 20 m strutturato su dodici plinti e dotato di terra di armatura con anello perimetrale di congiunzione, sapendo che la resistività del terreno è di 100  $\Omega$ m.

[Ris.: 0,833  $\Omega$ ]



## ESERCIZIO F

Uno stabilimento industriale è dotato di cabina MT/BT di proprietà di dimensioni 5 x 3 m, alimentata in MT a 20 kV con corrente di guasto a terra di 60 A e tempo di interruzione di 0,5 s. Sapendo che il sistema di distribuzione è TN e che il dispersore è costituito da un anello magliato interrato in cabina a 0,5 m in terreno argilloso ( $\rho = 30 \Omega\text{m}$ ), connesso alla terra di fondazione dello stabilimento composta da dieci plinti, verificarne la congruità.

## SOLUZIONE

Considerando la curva di sicurezza della tensione di contatto ammissibile in funzione del tempo di durata del guasto per gli impianti di media e alta tensione riportata in **fig. 19** (CEI 11-1), la massima tensione di contatto ammissibile risulta 210 V. La resistenza del dispersore deve perciò essere:

$$R_E \leq \frac{210 \text{ V}}{60 \text{ A}} = 3,5 \Omega$$

La sola resistenza del dispersore magliato di cabina vale:

$$\frac{\rho}{a+b} = \frac{30 \Omega\text{m}}{(5+3) \text{ m}} = 3,75 \Omega$$

un valore di poco superiore a quanto richiesto. Ciascun plinto equivale ad un dispersore con resistenza compresa tra:

$$\frac{30 \Omega}{5} = 6 \Omega \quad \text{e} \quad \frac{30 \Omega}{10} = 3 \Omega$$

Anche considerando il valore peggiore di 6  $\Omega$  per ogni plinto, la resistenza totale di terra dei dieci dispersori naturali vale:

$$\frac{6 \Omega}{10} = 0,6 \Omega \quad R_E = 3,75 // 0,6 = 0,52 \Omega$$

La scelta risulta congruente.



## ESERCIZIO G

Un'impresa meccanica è dotata di cabina MT/BT di proprietà, alimentata in MT a 15 kV con corrente di guasto a terra di 100 A e tempo di interruzione di 0,39 s. Sapendo che il sistema di distribuzione è TN e che il dispersore è costituito da un anello magliato di dimensioni 4 x 2,5 m, interrato in cabina a 0,5 m in terreno cemento-sabbia ( $\rho = 100 \Omega\text{m}$ ), connesso alla terra di fondazione composta da sei plinti, verificarne la congruità.

## SOLUZIONE

Dalla **tab. 2**, considerando un tempo di interruzione del guasto a terra di 0,39 s, risulta che la massima tensione di contatto ammissibile in un impianto MT vale 300 V. La resistenza del dispersore deve perciò essere:

$$R_E \leq \frac{U_E}{I_E} = \frac{U_{Tp}}{I_F} = \frac{300 \text{ V}}{100 \text{ A}} = 3 \Omega$$

La sola resistenza del dispersore magliato di cabina vale:

$$\frac{\rho}{a+b} = \frac{100 \Omega\text{m}}{(4+2,5) \text{ m}} = 15,4 \Omega$$

Ciascun plinto equivale ad un dispersore con resistenza massima:

$$\frac{\rho}{10} = \frac{100 \Omega}{10} = 10 \Omega$$

Pertanto, resistenza totale di terra dei sei dispersori naturali vale:

$$\frac{10 \Omega}{6} = 1,67 \Omega \quad R_E = 15,4 // 1,67 = 1,5 \Omega$$

Il valore risulta congruente.

## Lavori in cabina MT/BT

## Test

Tra le seguenti affermazioni, individua quelle corrette (V) e quelle errate (F).

### 1 Trattando delle caratteristiche strutturali della cabina MT/BT d'utente è corretto dire che:

1. solitamente si tratta di una struttura prefabbricata in plastica antincendio  V  F
2. è composta da tre vani, di cui i primi due sono a disposizione del fornitore  V  F
3. il trasformatore MT/BT è situato nel secondo locale del fornitore  V  F
4. le porte si aprono verso l'interno, anche se chiuse a chiave  V  F

### 2 Tra i dispositivi di manovra in MT utilizzati all'interno delle cabine:

1. l'interruttore è in grado di interrompere anche la corrente di cortocircuito  V  F
2. il sezionatore è posto a valle dell'interruttore  V  F
3. l'interruttore di manovra-sezionatore non è in grado di interrompere una eventuale corrente di cortocircuito  V  F
4. il sezionatore sotto carico va protetto contro le sovracorrenti  V  F

### 3 Il cavo per MT:

1. è unipolare e isolato in gomma APR  V  F
2. è dotato di schermo, da connettere a terra ad entrambe le estremità  V  F
3. è dotato di un rivestimento esterno protettivo in polivinilcloruro (PVC)  V  F
4. è in grado di reggere 12,5 kA per 5 s  V  F

### 4 I cavi per BT:

1. sono unipolari, a corda flessibile in rame rosso ricotto  V  F
2. sono isolati in PVC  V  F
3. hanno una guaina in gomma  V  F
4. possono essere posati in passerelle, cunicoli o tubi  V  F

### 5 Per quanto riguarda l'alimentazione ausiliaria di cabina:

1. deve garantire il funzionamento dei servizi ausiliari per almeno 12 ore  V  F
2. l'illuminazione principale della cabina appartiene ai servizi ausiliari  V  F
3. se la tensione è continua, può essere derivata direttamente da un gruppo di batterie in tampone  V  F
4. se la tensione è in alternata, è presente un dispositivo UBS  V  F

### 6 Per quanto riguarda le tensioni di contatto ammissibili in MT è vero che:

1. sono maggiori che in bassa tensione  V  F
2. sono indicate nella CEI 11-1  V  F
3. sono state calcolate utilizzando i valori convenzionali della resistenza tra una mano e i due piedi che non sono superati dal 50% della popolazione  V  F
4. la curva di sicurezza corrente-tempo presa a riferimento è quella con probabilità 0,5% di fibrillazione cardiaca  V  F