

**M. Fauri**

# **Electrical Systems Engineering**

**Lezione 10  
Impianti di messa a terra**



## 7.6 Impianti di terra

---

**Impianto di messa a terra: insieme delle opere che realizza un contatto elettrico efficiente fra il terreno e parti dell'impianto che normalmente non sono in tensione ma che, per anomalie di funzionamento, possono diventare attive elettricamente**

Requisiti di sicurezza e funzionalità richiesti:

- **la protezione delle persone, degli animali e dei materiali**
- il funzionamento regolare di macchine e impianti
- la disponibilità di un riferimento noto di potenziale
- la schermatura di segnali di misura
- l'utilizzo di un sistema di diagnostica

Si convogliano verso terra le correnti provenienti dalla rete elettrica in condizioni normali e anormali di funzionamento:

- **vincolare** al potenziale di terra quello di determinate parti dell'impianto
- **impedire** la formazione di tensioni pericolose fra punti accessibili e lungo il terreno nelle vicinanze degli stessi elettrodi di terra

All'impianto di terra vanno connesse anche le parti dell'impianto che vengono messe temporaneamente fuori servizio nel corso di lavori e manutenzioni

## 7.6 Impianti di terra

---

### Generalità

Si definisce impianto di messa a terra l'insieme delle opere che realizza un contatto elettrico efficiente fra il terreno e parti dell'impianto che normalmente non sono in tensione ma che, per anomalie di funzionamento, possono diventare attive elettricamente (ad esempio nei casi di corto circuiti fase-terra, contatti accidentali tra fase e masse metalliche, deterioramento del sistema isolante, ecc.)

Con la realizzazione di un impianto di messa a terra è possibile rispondere ai requisiti tecnici di sicurezza e funzionalità richiesti ad una installazione elettrica, quali possono essere:

- la protezione delle persone, degli animali e dei materiali
- il funzionamento regolare di macchine e impianti
- la disponibilità di un riferimento noto di potenziale
- la schermatura di segnali di misura
- l'utilizzo di un sistema di diagnostica

## 7.6 Impianti di terra

---

### Generalità

Le norme CEI identificano tre tipologie principali di messa a terra:

#### **Messa a terra di protezione**

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

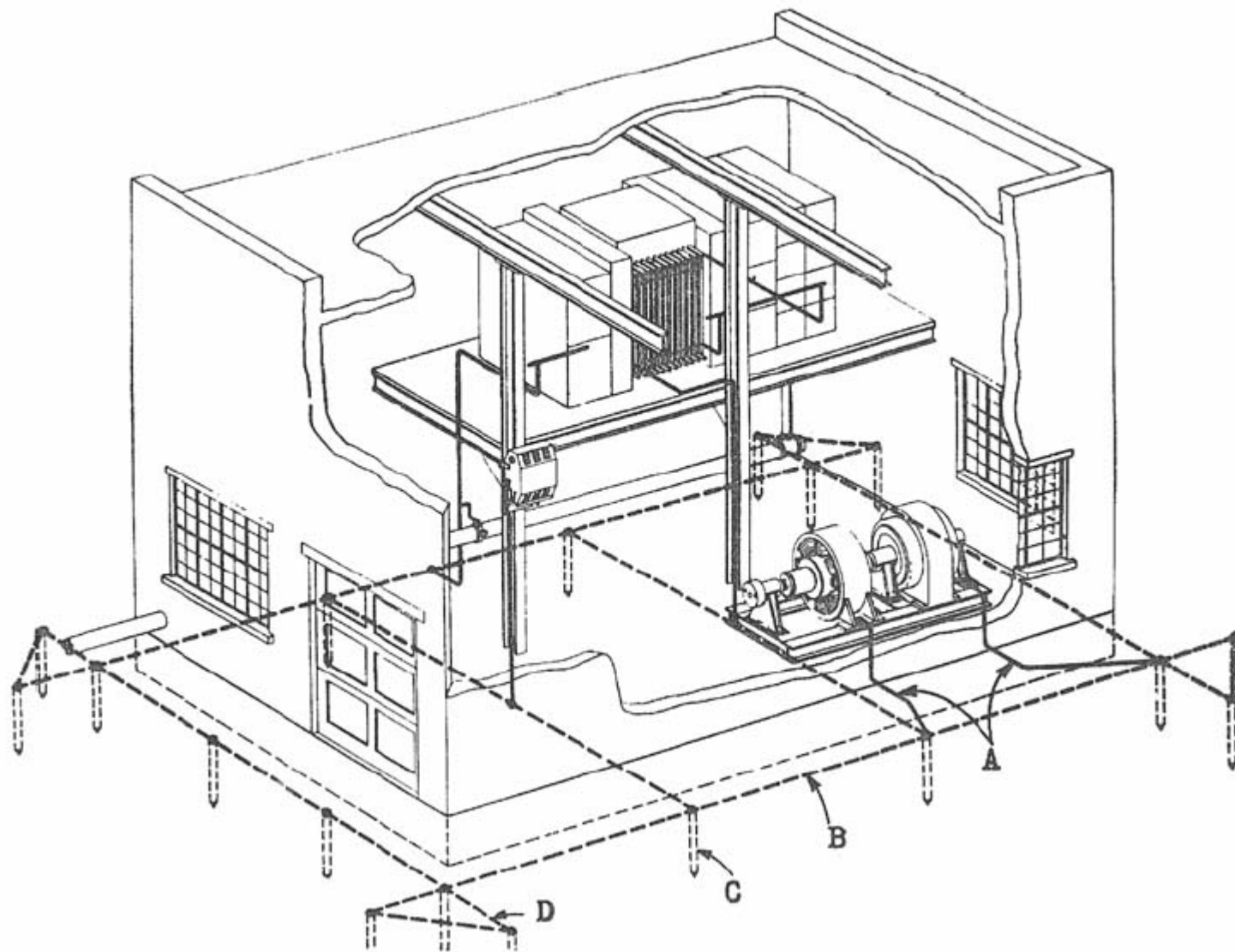
#### **Messa a terra per funzionamento**

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

#### **Messa a terra per lavori**

Altri tipi di messa a terra si possono avere per la protezione contro le fulminazioni (scariche atmosferiche) (dissipazione di una corrente di fulmine verso terra)

## 7.6 Impianti di terra



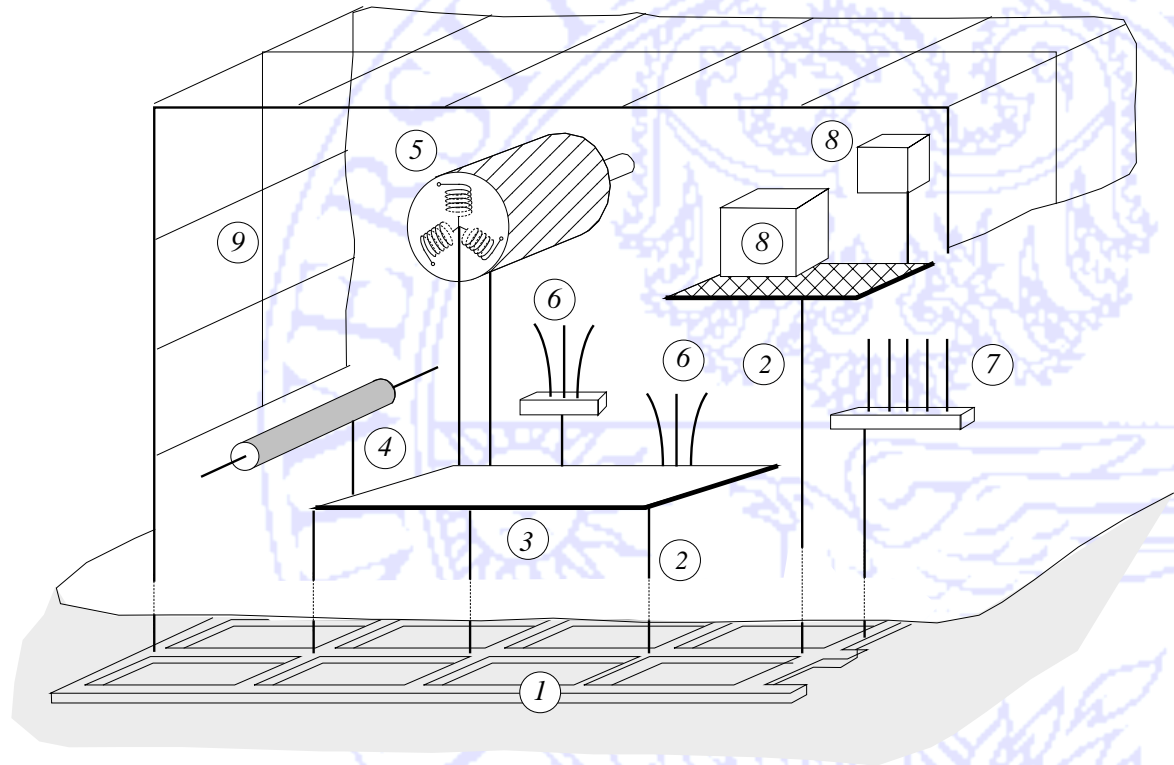
## 7.6 Impianti di terra

### Costituzione

Un impianto di messa a terra si compone di più parti, il dimensionamento delle quali dipende soprattutto dalla potenza e dalla tensione dell'installazione elettrica

Illustrazione schematica di impianto di messa a terra

- (1) Dispersore,
- (2) Conduttore di terra,
- (3) Collettore,
- (4) Guaine di cavi,
- (5) Messe a terra di funzionamento,
- (6) Reti di conduttori di protezione,
- (7) Reti di conduttori equipotenziali,
- (8) Sistemi particolari di schermatura,
- (9) Gabbia di Faraday



## 7.6 Impianti di terra

### Dispersore

- Conduttore in contatto elettrico con il terreno, o conduttore annegato nel calcestruzzo a contatto con il terreno con un'ampia superficie (per esempio una fondazione).
- Va progettato in base all'entità delle correnti che deve disperdere nel terreno. E' conveniente l'impiego di rame o acciaio rivestito di rame o materiali ferrosi zincati (per proteggerlo dalle aggressioni chimiche del terreno). I suoi elementi devono avere dimensioni tali da assicurare la prevista durata di vita, tenendo conto dei fenomeni di corrosione che dipendono dalla natura del terreno e dal materiale usato per il dispersore stesso.
- Il tipo più semplice di dispersore è formato da picchetti verticali interrati fino a profondità di alcuni metri e costituiti il più delle volte da profilati con diametro da 50÷60 mm a 100÷120 mm, collegati in parallelo fra loro attraverso le estremità superiori in modo da raggiungere la necessaria superficie disperdente
- Per dispersori di grande estensione si utilizzano conduttori in rame nudo di sezione circolare, ovvero corde (fino ad alcune centinaia di mm<sup>2</sup>). Gli elementi costituenti il dispersore vengono disposti orizzontalmente a profondità di 800 ÷ 1000 mm secondo reti radiali a più raggi o secondo reti magliate
- Il lato medio della magliatura dipende dagli andamenti delle tensioni di passo e di contatto e può oscillare da pochi metri ad alcune decine di metri, con eventuali infittimenti locali
- Al dispersore vanno poi collegate tutte le strutture metalliche e tutte le parti elettriche che devono essere vincolate al potenziale di terra per funzionare correttamente, o per evitare il raggiungimento di potenziali pericolosi in caso di guasto

## 7.6 Impianti di terra

### Conduttori di terra

- Collegano una parte dell'impianto che deve essere messo a terra ad un dispersore oppure collettore e dispersori tra di loro
- Devono essere di materiale metallico di sufficiente conducibilità e resistenza meccanica, possono essere in forma di fili, corde, piattine, tubi o simili
- Devono avere un percorso breve e non devono essere sottoposti a sforzi meccanici né soggetti al pericolo di corrosione o di logoramento meccanico
- Le sezioni dei conduttori devono essere stabilite con i criteri indicati per i conduttori di protezione
- Le sezioni dei conduttori di terra minime, secondo le Norme CEI 11-1 (Impianti di terra nelle aree interessate da impianti elettrici a corrente alternata oltre 1000 V), sono:

	Protetti meccanicamente	Non protetti meccanicamente
Protetti contro la corrosione	v. sez. conduttori di protezione	16 mm <sup>2</sup> rame 16 mm <sup>2</sup> ferro zincato
Non protetti contro la corrosione		25 mm <sup>2</sup> rame 50 mm <sup>2</sup> ferro zincato



## 7.6 Impianti di terra

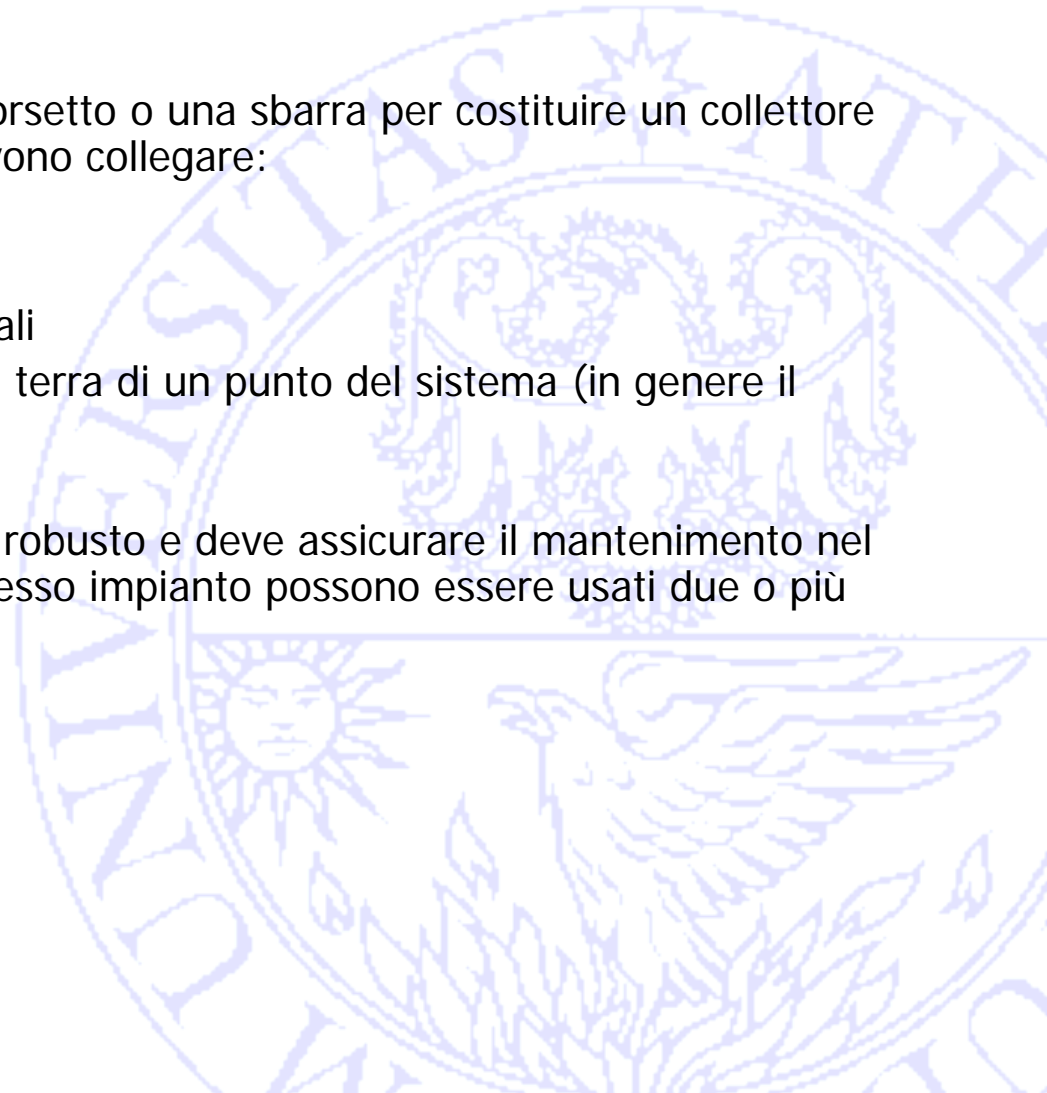
---

### Collettore principale di terra

In ogni impianto deve essere usato un morsetto o una sbarra per costituire un collettore (o nodo) principale di terra al quale si devono collegare:

- i conduttori di terra
- i conduttori di protezione
- i conduttori equipotenziali principali
- l'eventuale conduttore di messa a terra di un punto del sistema (in genere il neutro)

Il collettore deve essere meccanicamente robusto e deve assicurare il mantenimento nel tempo della continuità elettrica. In uno stesso impianto possono essere usati due o più collettori o nodi di terra.



## 7.6 Impianti di terra

### Conduttore di protezione

E` il conduttore che va collegato alle masse per la protezione contro i contatti indiretti.

Possono essere usati come conduttori di protezione:

- conduttori di cavi multipolari;
- conduttori nudi o cavi unipolari che fanno parte, con i conduttori attivi, della stessa condotta;
- conduttori nudi o cavi unipolari non facenti parte, con i conduttori attivi, della stessa condotta di alimentazione;
- involucri metallici di apparecchiature costruite in fabbrica;
- rivestimenti metallici e armature di cavi, tubi protettivi e canalette;
- masse estranee di adeguate caratteristiche.

## 7.6 Impianti di terra

### Conduttore di protezione

Secondo le Norme CEI è possibile scegliere la sezione del conduttore di protezione in funzione della sezione del conduttore di fase, secondo le indicazioni riportate in tabella

Sezione del conduttore di fase (S)	Sezione del conduttore di protezione (Sp)
$S \leq 16 \text{ mm}^2$	$Sp = S$
$16 \text{ mm}^2 < S \leq 35 \text{ mm}^2$	$16 \text{ mm}^2$
$S > 35 \text{ mm}^2$	$Sp = S/2$

I valori della tabella sono validi soltanto se il conduttore di protezione è costituito dallo stesso materiale dei conduttori di fase. In caso contrario la sezione deve essere determinata in modo da avere uguale conduttanza

## 7.6 Impianti di terra

### Conduttore di protezione

Quando il conduttore di protezione non fa parte della stessa condotta dei conduttori di fase, la sua sezione non deve essere inferiore a:

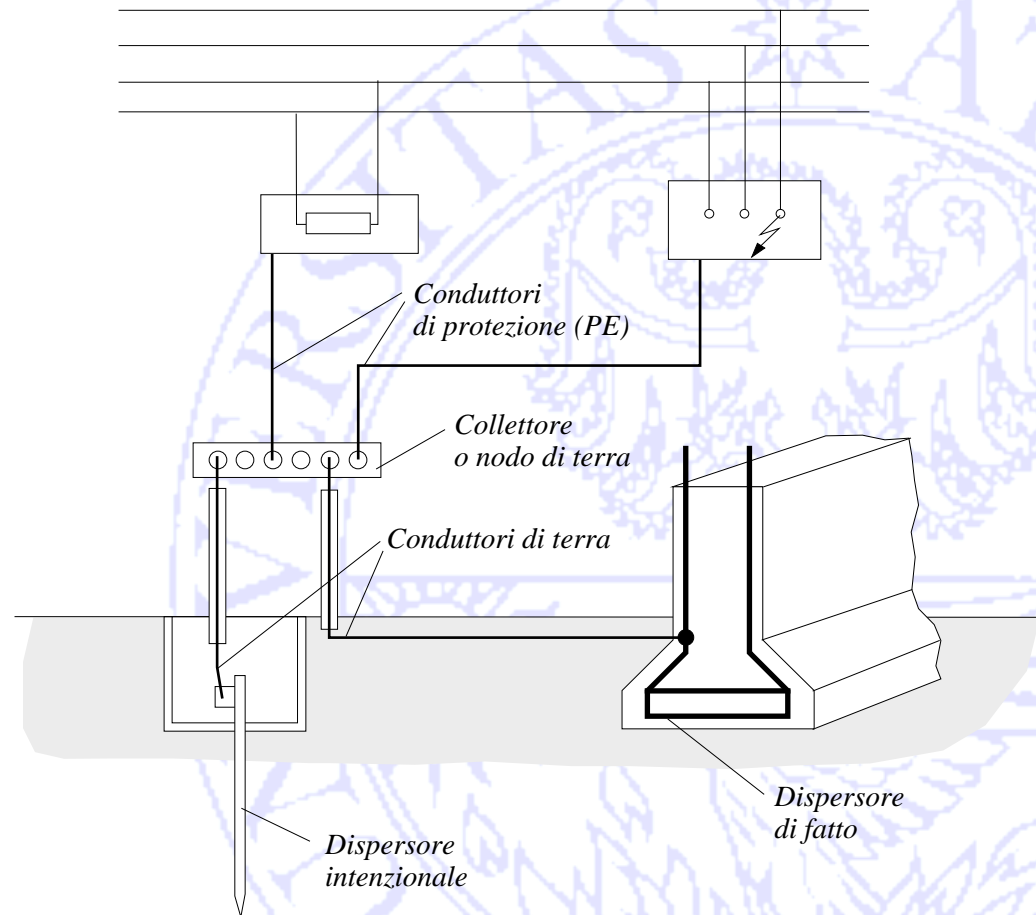
2,5 mm <sup>2</sup>	se è prevista una protezione meccanica;
4 mm <sup>2</sup>	se non è prevista una protezione meccanica.

Altre parti di un impianto di terra sono le piattaforme o reti equipotenziali che costituiscono estesi riferimenti di potenziale. Esse vanno collegate al dispersore in un unico punto e non devono mai essere interessate da correnti estranee al sistema metallicamente connesso con esse. Di un impianto di messa a terra possono far parte anche gli elementi strutturali metallici degli edifici; essi sono contenuti nel calcestruzzo delle fondazioni e dei pilastri di elevazione.

## 7.6 Impianti di terra

### Esempio schematico

Esemplificazione schematica dei conduttori di protezione, dei conduttori equipotenziali, del conduttore di terra e del dispersore

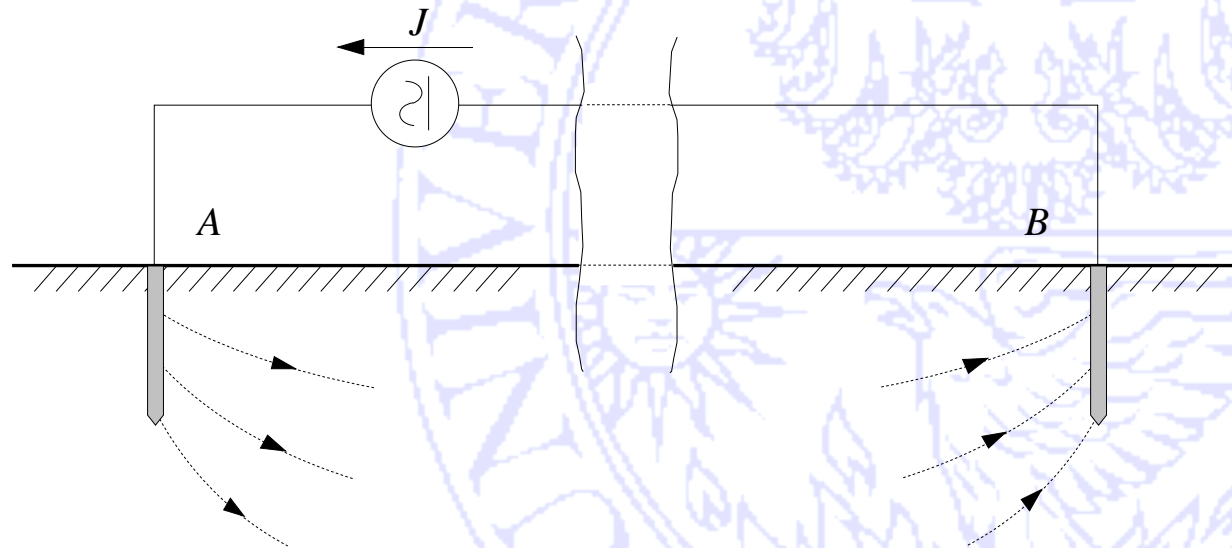


## 7.6 Impianti di terra

### Grandezze caratteristiche

Il terreno svolge la funzione di conduttore elettrico quando tra due suoi punti viene applicata tramite due elettrodi una differenza di potenziale. Se due elettrodi sono a distanza sufficientemente elevata tra loro (almeno 10 volte la dimensione massima del dispersore), si possono considerare a distanza infinita. In tal modo, il comportamento di un dispersore di terra può essere studiato singolarmente, trascurando l'effetto dovuto all'altro.

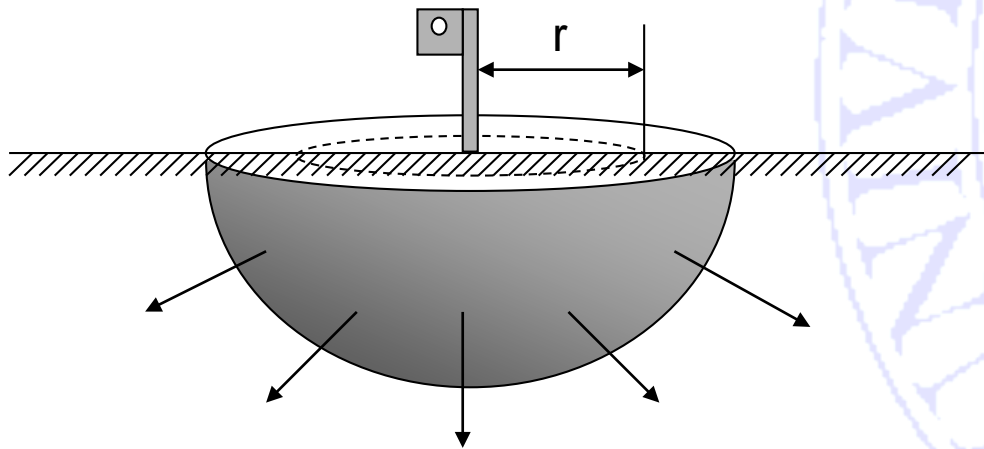
Funzione del terreno come conduttore di corrente



## 7.6 Impianti di terra

### Comportamento del terreno

- Le superfici equipotenziali in un terreno omogeneo-isotropo intorno all'elettrodo assumono un andamento geometrico simile alla forma del dispersore mentre, allontanandosi dall'elettrodo, assumono una forma sempre più emisferica
- L'elettrodo posto a distanza infinita può essere rappresentato come una semisfera di raggio infinito esterna e concentrica al dispersore
- Lo studio del campo di corrente nel terreno, se si esclude una zona limitata attorno al dispersore, può così essere ricondotto ad un dispersore emisferico
- Una semisfera di raggio  $r$  entro una semisfera di raggio infinito immersa nel terreno, ha una resistenza doppia rispetto a quella del resistore sferico:



$$R = \frac{\rho}{2\pi r}$$

## 7.6 Impianti di terra

### Grandezze caratteristiche

Il potenziale nel terreno, nel caso di secondo elettrodo a distanza infinita assume un andamento come quello nella figura successiva.

Le grandezze caratteristiche sono:

- **Tensione totale di terra  $V_t$** : è la tensione tra il dispersore e la zona con potenziale nullo (punto all'infinito).
- **Tensione di contatto  $V_c$** : è la tensione tra un punto del dispersore ed un altro punto posto alla distanza di un metro. La tensione di contatto è minore o uguale al valore della tensione totale di terra, e rappresenta inoltre il valore di tensione al quale è sottoposta una persona che accidentalmente tocca il dispersore con le mani e si trova con i piedi a distanza di un metro dal dispersore.
- **Tensione di passo  $V_p$** : è la massima tensione tra due punti del terreno distanti un metro tra loro. Le tensioni di passo risultano molto meno pericolose di quelle di contatto, perché il percorso della corrente nel corpo umano piede – piede consente valori ammissibili più elevati (circa tre volte) rispetto a quelli mani – piede.
- **Resistenza di terra  $R_t$** : è il rapporto tra la tensione totale di terra e la corrente dispersa dall'elettrodo di terra:

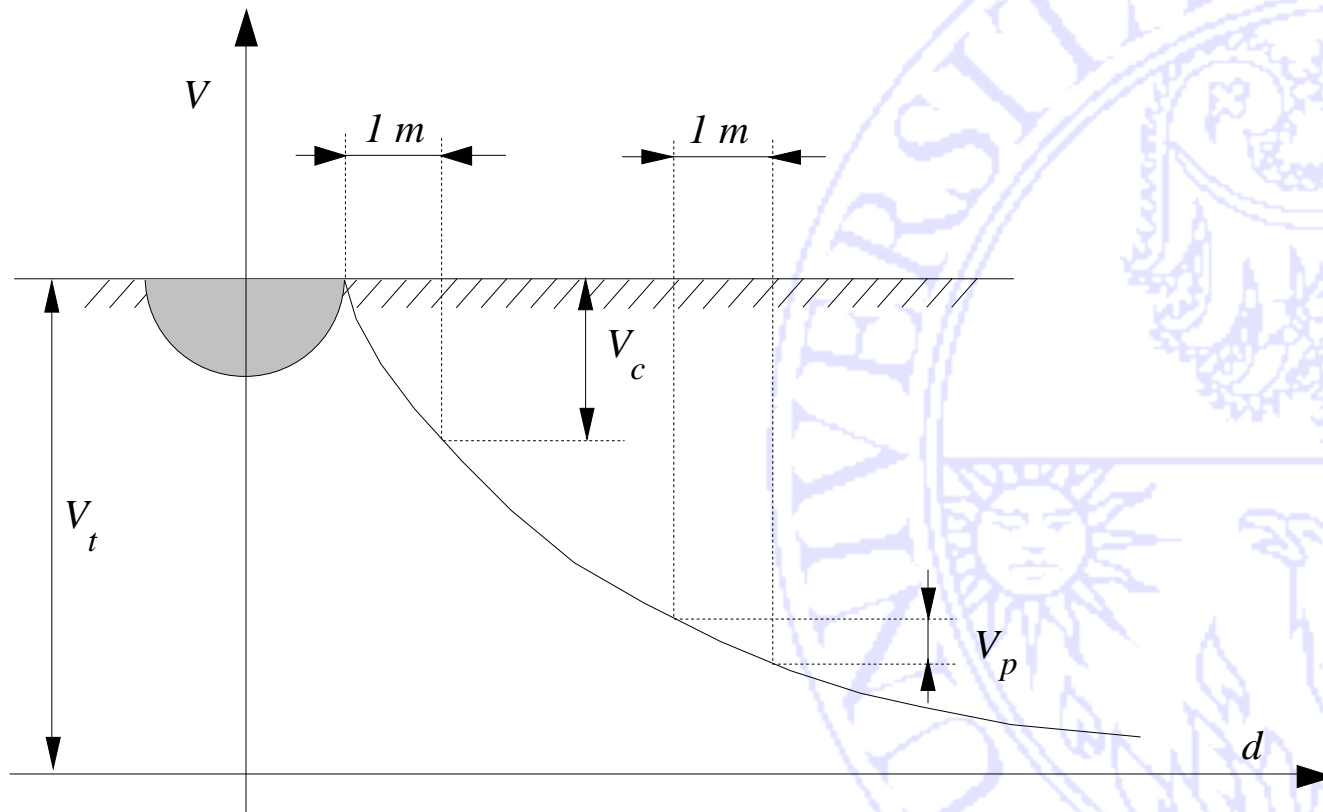
$$R_t = \frac{V_t}{I}$$



## 7.6 Impianti di terra

### Grandezze caratteristiche

Curva dei potenziali con tensione di passo e di contatto

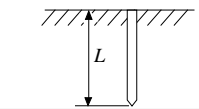
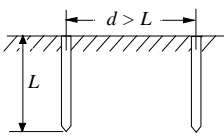
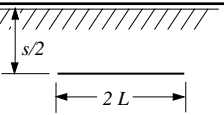
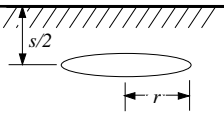
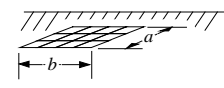


## 7.6 Impianti di terra

### Calcolo della resistenza di terra

In genere un impianto di terra è formato da più dispersori connessi tra loro. La resistenza equivalente dei vari dispersori connessi tra loro costituisce la resistenza di terra dell'intero impianto.

In tabella vengono dati alcuni valori di resistenza di terra di dispersori di interesse pratico in un terreno di resistività  $\rho$ .

Schema	Dimensioni	Resistenza di terra
	Picchetto verticale L = lunghezza a = raggio	$R_t = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
	Due picchetti verticali distanti $d > L$ L = lunghezza a = raggio	$R_t = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{2\pi d} \left( 1 - \frac{L^2}{3d^2} + \frac{2L^4}{5d^4} \dots \right)$
	Dispersore lineare $s/2$ = profondità $2L$ = lunghezza a = raggio del filo	$R_t = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} + \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	Dispersore ad anello $s/2$ = profondità r = raggio a = raggio del filo	$R_t = \frac{\rho}{4\pi^2 r} \left( \ln \frac{8r}{a} + \ln \frac{8r}{s} \right)$
	Graticcio a = lunghezza b = larghezza $\Sigma l$ = sviluppo complessivo conduttori	$R_t = \frac{\pi \rho}{4(a+b)} + \frac{\rho}{\Sigma l}$

## 7.6 Impianti di terra

### Grandezze caratteristiche

- I valori da attribuire alle resistività del terreno  $\rho$  dipendono fortemente dalla composizione del terreno stesso, dal grado di umidità, dalla presenza di sali disciolti e dalla temperatura.

#### Valori di resistività di alcuni terreni

Tipo di terreno	Resistività [ $\Omega\text{m}$ ]
■ Vegetale, paludoso, molto umido	■ 1
■ Vegetale ricco di materiale organico	■ 10
■ Argilloso	■ $30 \div 100$
■ Sabbioso, permeabile, secco	■ $500 \div 10^3$
■ Calcestruzzo, roccia dolomitica	■ $10^4 \div 10^5$
■ Marmo, granito, rocce compatte	■ $10^7 \div 10^9$

## 7.6 Impianti di terra

### Impianti di messa a terra – Misura della $R_t$

- In figura è mostrato lo schema elettrico per la misura delle grandezze caratteristiche di un impianto di terra
- Il potenziale di pianerottolo è assunto come riferimento. La differenza di potenziale tra il dispersore A e la zona di pianerottolo di figura costituisce la tensione totale di terra  $V_t$ .
- Misurando la corrente  $I$  circolante nell'impianto di terra si può calcolare la resistenza di terra.

$$R_t = \frac{V_t}{I}$$

