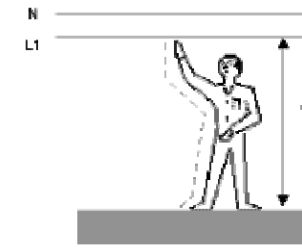
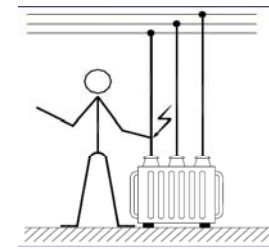


Protezioni contro i CONTATTI DIRETTI



Protezione totale (persone non addestrate ed ambienti ordinari)

- **Isolamento**

Le parti attive devono essere ricoperte completamente da un isolante di spessore adeguato alla tensione nominale verso terra del sistema elettrico, resistente agli sforzi meccanici, termici e alle alterazioni chimiche.

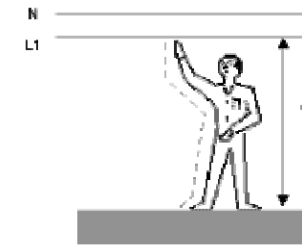
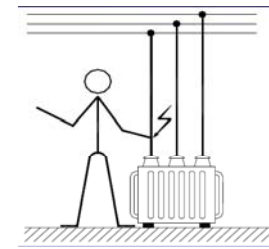
- **Involucri e barriere**

L'involucro e le barriere garantiscono la protezione dai contatti diretti quando esistono parti attive (ad es. morsetti elettrici) che devono essere accessibili e quindi non possono essere completamente isolate.

Essi assicurano un certo grado di protezione contro la penetrazione di solidi e di liquidi (gradi di protezione IP).

Le barriere e gli involucri devono essere saldamente fissati, rimovibili solo con attrezzi, apribili da personale addestrato oppure solo dopo avere aperto un dispositivo di sezionamento elettrico.

Protezioni contro i CONTATTI DIRETTI



Protezione parziale (persone addestrate ed ambienti ad accesso limitato)

- Ostacoli o distanziamenti

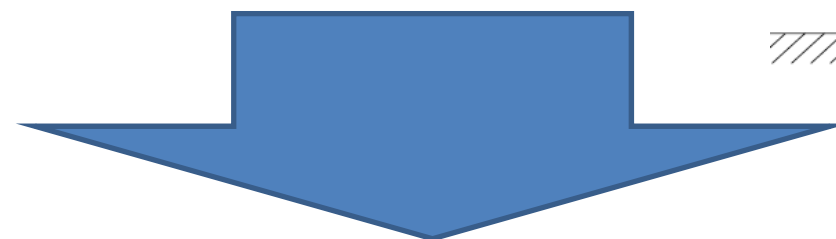
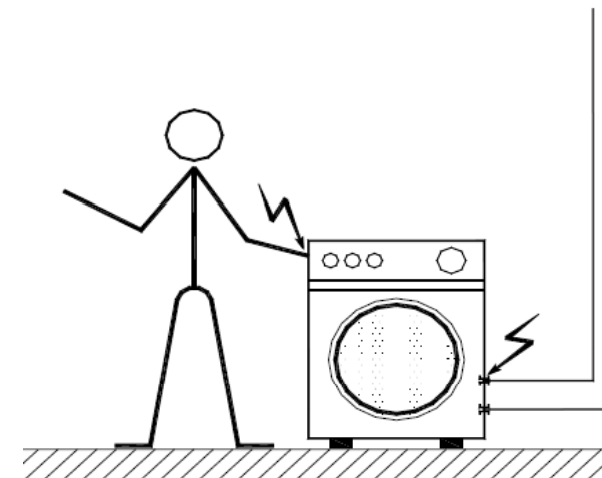
Sono destinati ad impedire il contatto accidentale (non intenzionale) con parti attive. Possono essere rimossi intenzionalmente anche senza l'uso di attrezzi, ma non devono poter essere rimossi accidentalmente.

(Un esempio sono le griglie usate nelle cabine elettriche per tenere lontano le persone che possono entrarvi dalle parti attive del trasformatore).

Protezione addizionale

- Interruttori differenziali ad alta sensibilità

Protezioni contro i CONTATTI INDIRETTI



IMPIANTO DI TERRA

IMPIANTO DI TERRA

Con il termine **TERRA** si indica **la massa del terreno assunta convenzionalmente a potenziale nullo ovunque.**

Un impianto di terra è costituito da un sistema di conduttori che permettono di collegare a terra in modo sicuro determinati elementi conduttori (messa a terra) . Tale collegamento può avere le funzioni elencate di seguito:

Messa a Terra di Protezione

All'impianto di terra sono collegate le masse metalliche delle apparecchiature che fanno parte dell'impianto elettrico. Il collegamento di terra mantiene le masse al potenziale di terra in condizioni di normale funzionamento e limita le loro tensioni rispetto a terra in caso di guasto.

Messa a Terra di Funzionamento

All'impianto di terra possono essere collegate parti attive di un impianto o di un sistema elettrico (es. messa a terra dei centri stella dei trasformatori). In altri casi la connessione permette di sfruttare il terreno come conduttore sede di corrente (es trazione ferroviaria)

Messa a Terra per Lavori

Per consentire lavori di manutenzione in sicurezza la parte dell'impianto di interesse deve essere sezionata.

IMPIANTO DI TERRA

SCOPO DELL'IMPIANTO DI TERRA:

- 1) Offrire una via di ritorno alle correnti di guasto diversa da quella offerta dal corpo umano (fornire una protezione dal contatto indiretto)
- 2) Determinare l'intervento delle protezioni in tempi opportuni
- 3) Rendere equipotenziali strutture metalliche suscettibili di essere toccate contemporaneamente.
- 4) Vincolare (mediante collegamento diretto o impedenza) il potenziale di determinati punti (in generale il centro stella) dei sistemi elettrici esistenti nell'area dell'impianto
- 5) Disperdere nel terreno le correnti convogliate dagli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche.

ELEMENTI DI UN IMPIANTO DI TERRA:

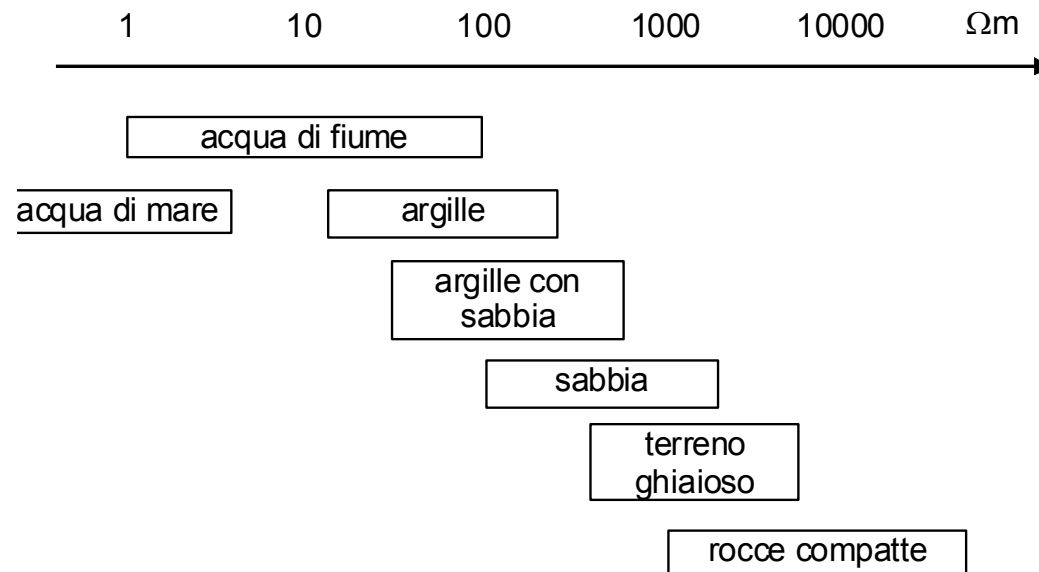
- 1) **Dispersore di terra** (corpo metallico immerso nel terreno destinato a disperdere eventuali correnti)
- 2) **Conduttore di terra** (provvede a realizzare il collegamento tra le varie parti da proteggere ed i dispersori)



II TERRENO

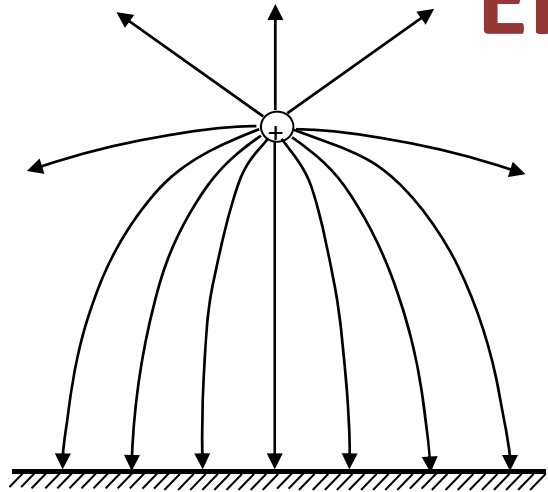
Nello studio del funzionamento degli impianti elettrici è indispensabile considerare la presenza del terreno.

Il terreno si comporta come un “conduttore” in grado di assorbire o cedere qualsiasi quantità di carica senza modificare il suo potenziale.

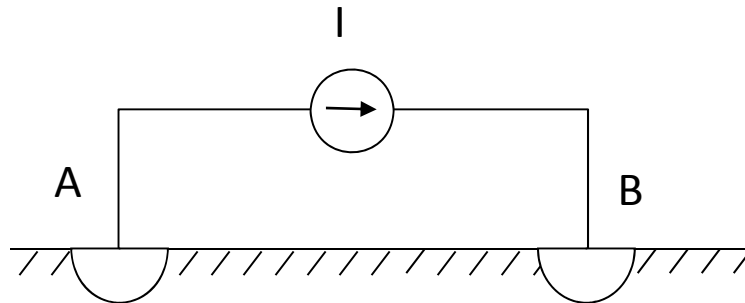


Valori indicativi della resistività elettrica di alcuni tipi di terreno

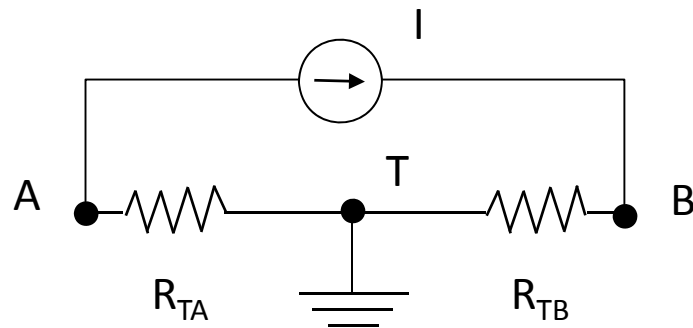
EFFETTI DEL TERRENO



La presenza del terreno modifica il percorso delle linee di campo elettrico sotto una linea aerea

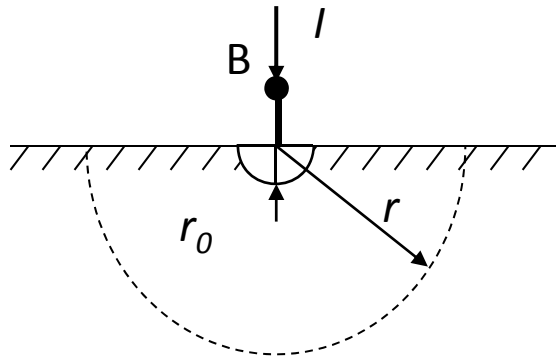


La presenza del terreno permette il passaggio della corrente elettrica tra due dispersori di terra



Il nodo T rappresenta un punto nel terreno posto ad infinita distanza da tutti i dispersori di terra dove il potenziale elettrico assume sempre il valore zero qualunque sia la corrente I che circola nei dispersori.

CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA



Si consideri un dispersore emisferico di raggio R_0 che disperda in un terreno omogeneo, di conducibilità σ , una corrente I . La densità di corrente a distanza r è data da:

$$J(\mathbf{r}) = \frac{I}{2\pi r^2}$$

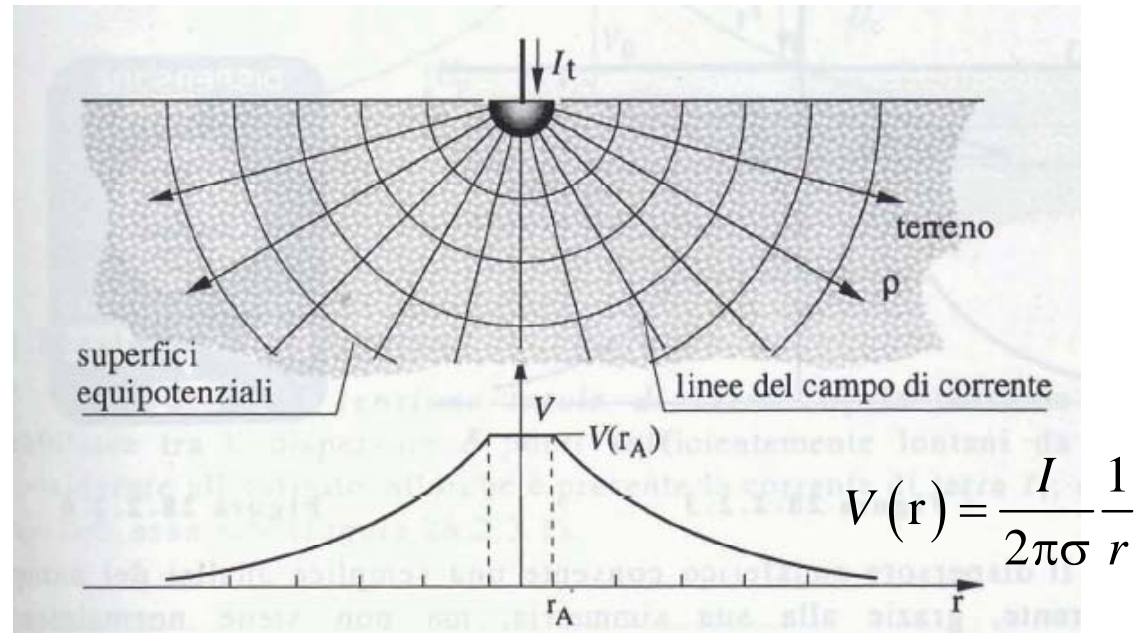
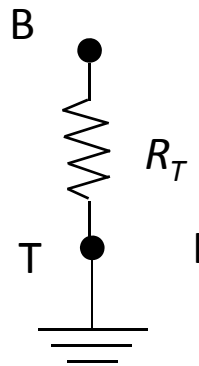
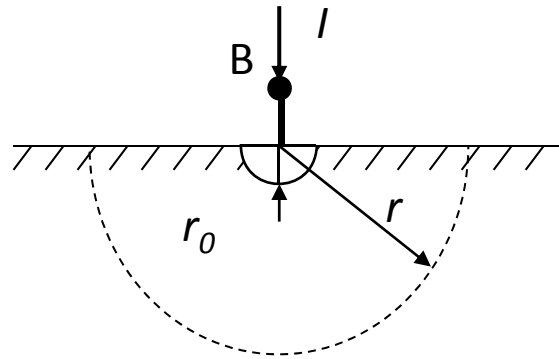
Il campo elettrico è dato da:

$$E(\mathbf{r}) = \rho J(r) = \frac{\rho I}{2\pi r^2} = \frac{I}{2\pi\sigma r^2}$$

E quindi il potenziale elettrico sarà:

$$V(r) = \int_r^\infty E(r) dr = \frac{I}{2\pi\sigma} \int_r^\infty \frac{1}{r^2} dr = \frac{I}{2\pi\sigma r}$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA DI TERRA

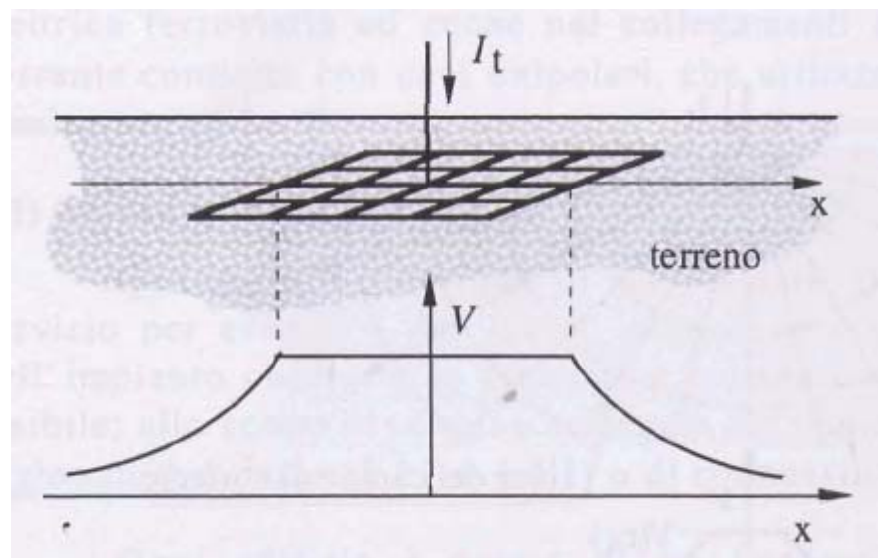
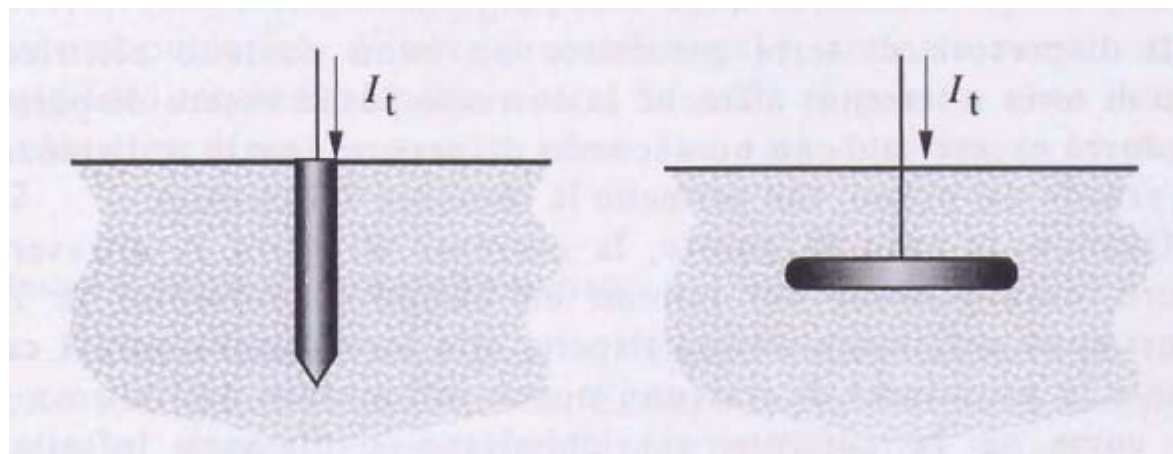


Il potenziale elettrico è massimo in corrispondenza della superficie del dispersore e si annulla asintoticamente all'infinito. La resistenza di terra R_T del dispersore assume quindi il valore:

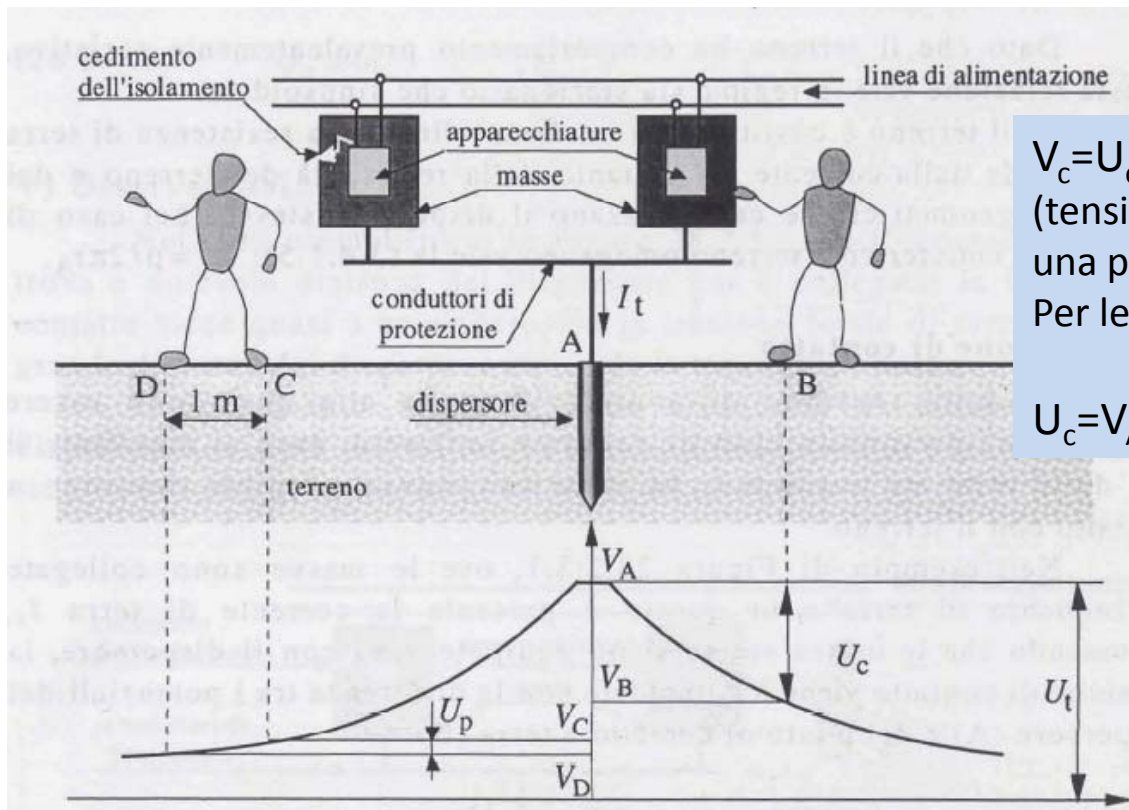
$$R_T = \frac{V_0}{I} = \frac{1}{2\pi\sigma r_0}$$

Per realizzare valori piccoli della resistenza di terra è molto importante disporre attorno al dispersore un terreno avente una buona conducibilità elettrica

Configurazioni reali di dispersori di terra



Tensioni e Resistenza di terra



$V_c = U_c$ = tensione di contatto
(tensione alla quale può essere soggetta una persona in caso di contatto indiretto)
Per le norme $V_c < 50 \text{ V}$

$$U_c = V_A - V_B$$

U_t = tensione di terra
(tensione tra la superficie del dispersore e punti lontani)

$$U_t = \frac{I}{2\pi\sigma} \frac{1}{r_0}$$

$V_p = U_p$ = tensione di passo
(tensione in seguito alla presenza di una corrente dispersa I_t può risultare applicata tra i piedi di una persona posti a distanza di un passo)

$$V_p = V_C - V_D$$

NOTA:

Se l'apparecchiatura è a grandi distanze dal dispersore V_c può coincidere con la tensione di terra

Se il punto C coincide con A, la tensione di passo è massima

Tensione di passo

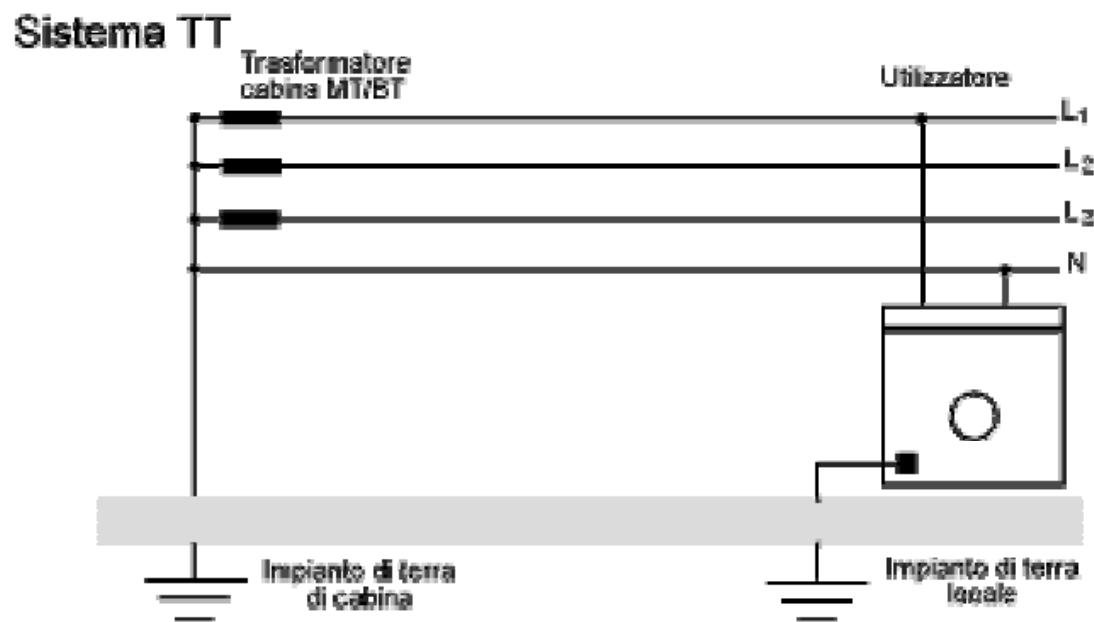
Tensione che può risultare applicata tra i piedi di una persona a distanza di un passo (1 m) durante un cedimento dell'isolamento

Tempo eliminazione del guasto [s]	Tensione massima di passo [V]
> 2	50
1	70
0.8	80
0.7	85
0.6	125
< 0.5	160

Classificazione dei sistemi di distribuzione dell'energia elettrica

Per la classificazione del sistema vengono utilizzate due lettere con il seguente significato:

- prima lettera **T** significa collegamento diretto a terra del neutro del trasformatore di cabina (o, in generale, di un punto del sistema di alimentazione).
- prima lettera **I** significa neutro del trasformatore di cabina non direttamente collegato a terra (o, in generale, sistema di alimentazione isolato da terra).
- seconda lettera **T** significa masse collegate direttamente a terra mediante un proprio dispersore indipendente da quello della cabina.
- seconda lettera **N** significa masse collegate al neutro messo a terra.



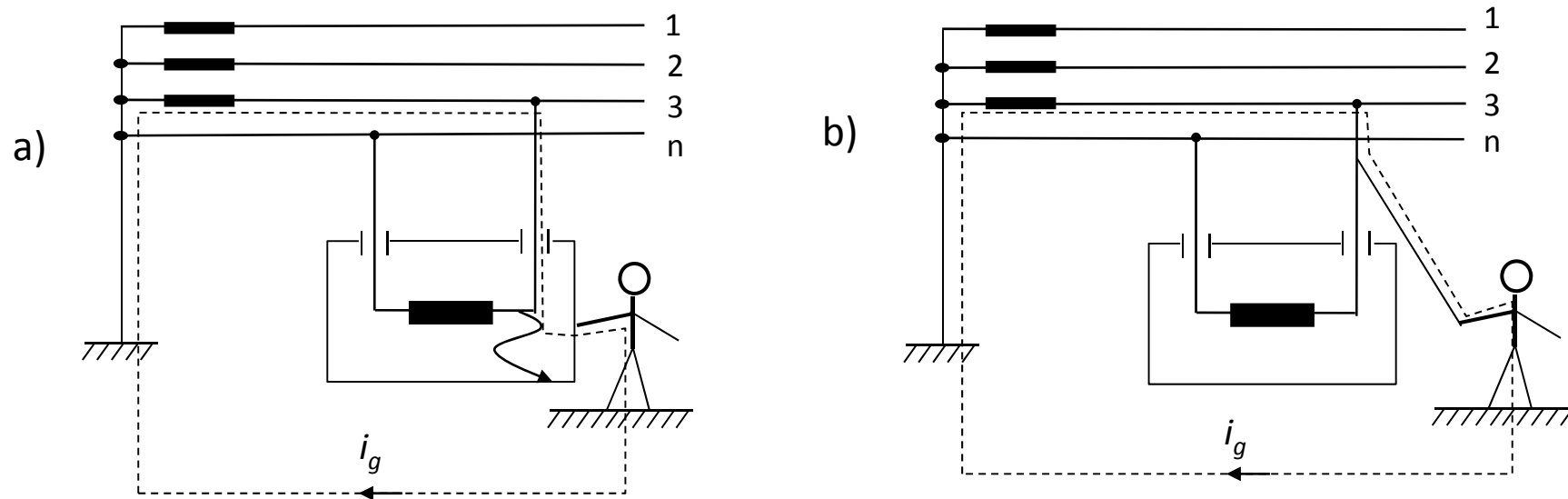
In ITALIA:

Sistema TT

Si hanno correnti di guasto a terra dell'ordine di qualche ampere, o, al massimo, di qualche decina di ampere.

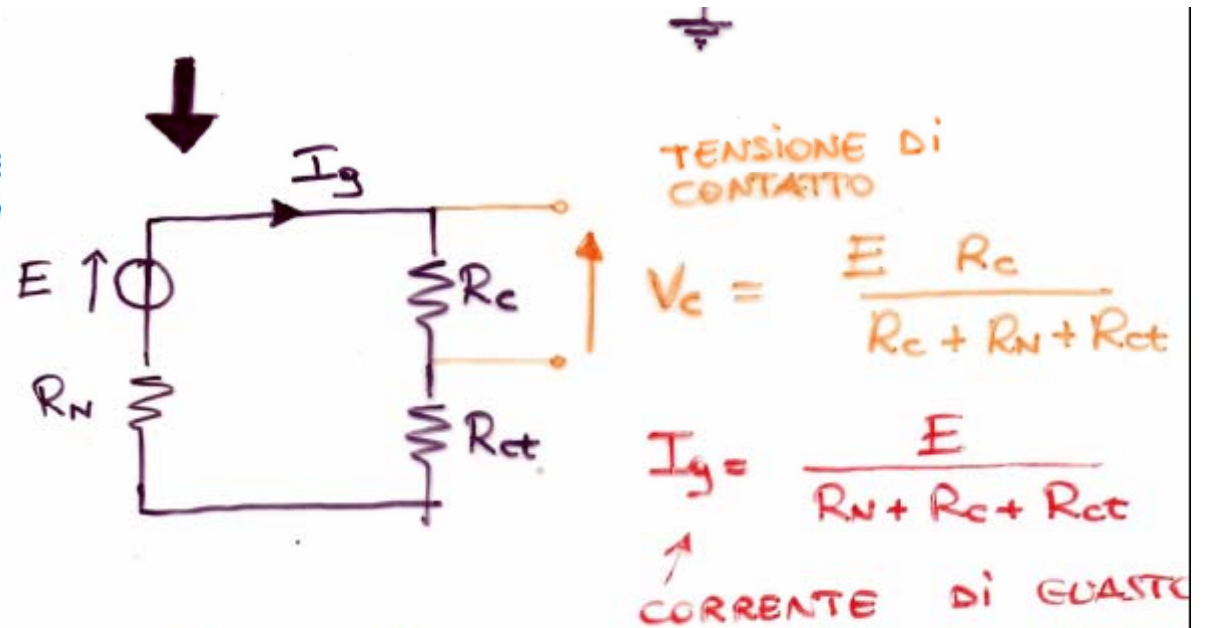
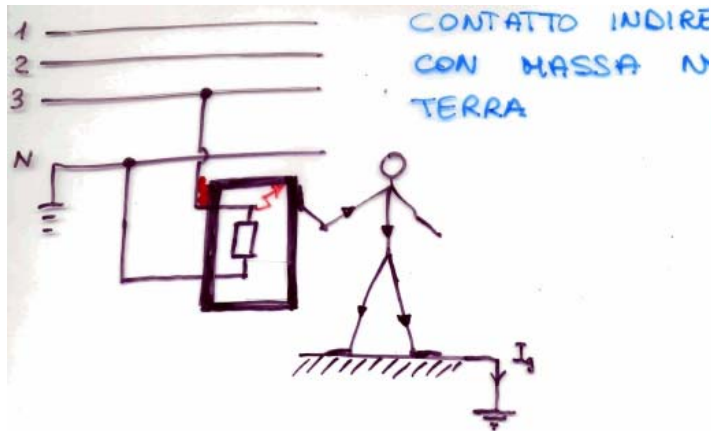
Il sistema TT è inoltre caratterizzato dal pericolo che il neutro vada in tensione sia per guasti in cabina che per effetto di tutte le correnti di dispersione delle utenze servite.

SICUREZZA ELETTRICA NEGLI IMPIANTI DI DISTRIBUZIONE DELLA ENERGIA ELETTRICA IN BT



- La distribuzione della energia elettrica in BT viene fatta mediante linee elettriche trifase ($V_c = 380 \text{ V}$) col filo neutro collegato a terra.
- Si definisce **massa** ogni conduttore, accessibile dalle persone, che è separato dai conduttori attivi dall'isolamento principale e che quindi normalmente non è in tensione rispetto al terreno, ma va in tensione quando si rompe l'isolamento principale.
- Il contatto di una persona con un conduttore in tensione, con conseguente elettrocuzione, può avvenire, con una massa, in presenza della rottura dell'isolamento principale (**contatto indiretto**, figura a) o direttamente con i conduttori attivi (**contatto diretto**, figura b)

Contatto indiretto con massa non a terra

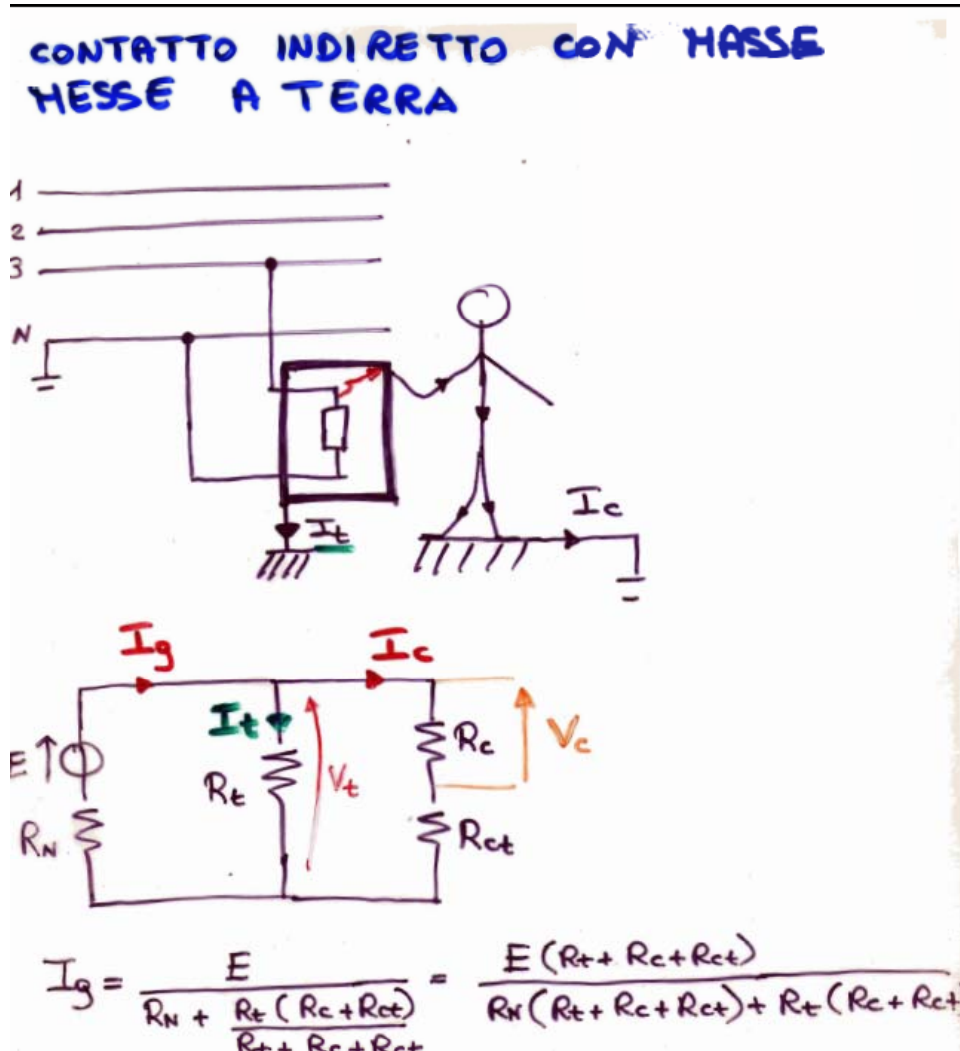


Es: $E = 220 \text{ V}$
 $R_c \approx 3 \text{ k}\Omega$
 $R_{ct} \approx 20 \text{ k}\Omega$
 R_N qualche Ω

→ $I_g \approx 10 \text{ mA}$
 NON PERICOLOSA

Es: condizioni sfavorevoli $R_{ct} \approx 0$
 ↓
 $I_g \approx 70 \text{ mA}$

Contatto indiretto con massa a terra



$$V_t = \frac{R_t(R_c + R_{ct})}{R_t + R_c + R_{ct}} \cdot I_g$$

$$I_c = \frac{V_t}{R_c + R_{ct}} = \frac{R_t}{R_t + R_c + R_{ct}} \cdot I_g$$

approssimazione per eccesso

$$I_c \approx I_g$$



$$V_c = R_c \cdot I_g$$

$$K_v = \frac{V_c(t)}{V_c(st)} \approx \frac{R_t}{R_N + R_t}$$

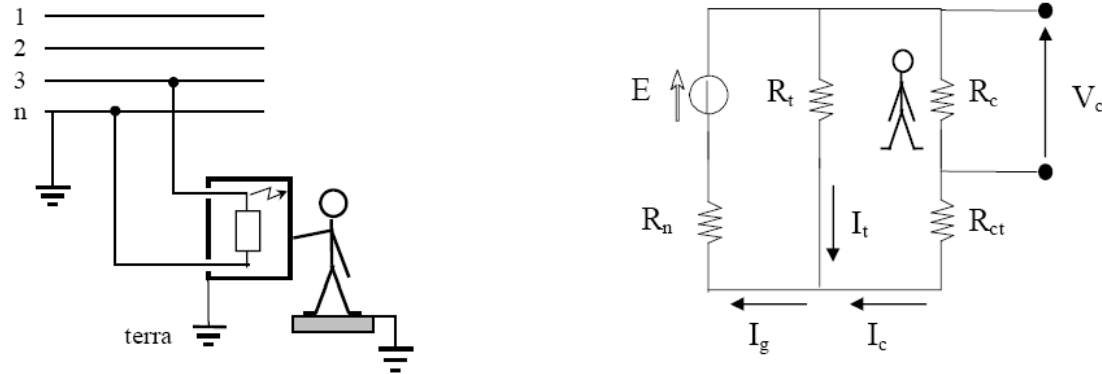


$$V_c(t) < V_c(st)$$

R_t piccola \rightarrow ELEVATO GRADO DI SICUREZZA

$\rightarrow I_g$ ELEVATA \nrightarrow intervento delle protezioni

NOTA: se $R_N \approx 0 \rightarrow I_c$ non dipende più da R_t .



In assenza dell'impianto di terra, la tensione di contatto a vuoto risulta essere pari alla tensione E e quindi superiore al valore limite previsto dalla curva di sicurezza (50 V). In presenza dell'impianto di terra, il valore della tensione di contatto a vuoto risulta:

$$V_{c0} = \frac{R_T}{R_T + R_N} E$$

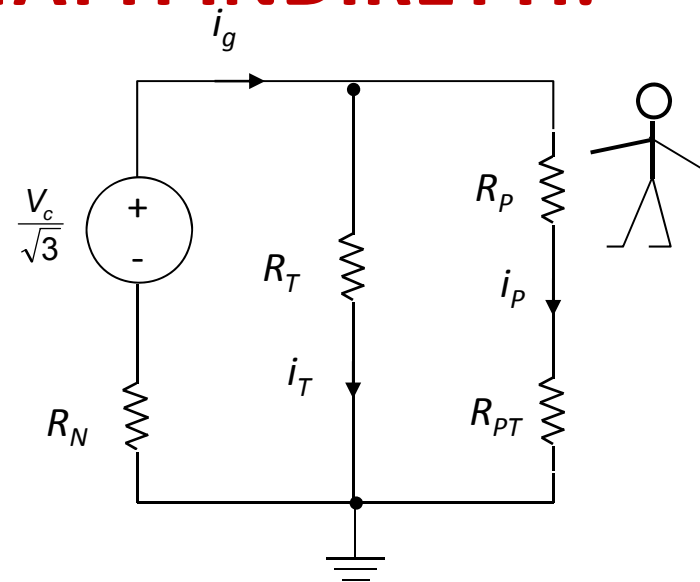
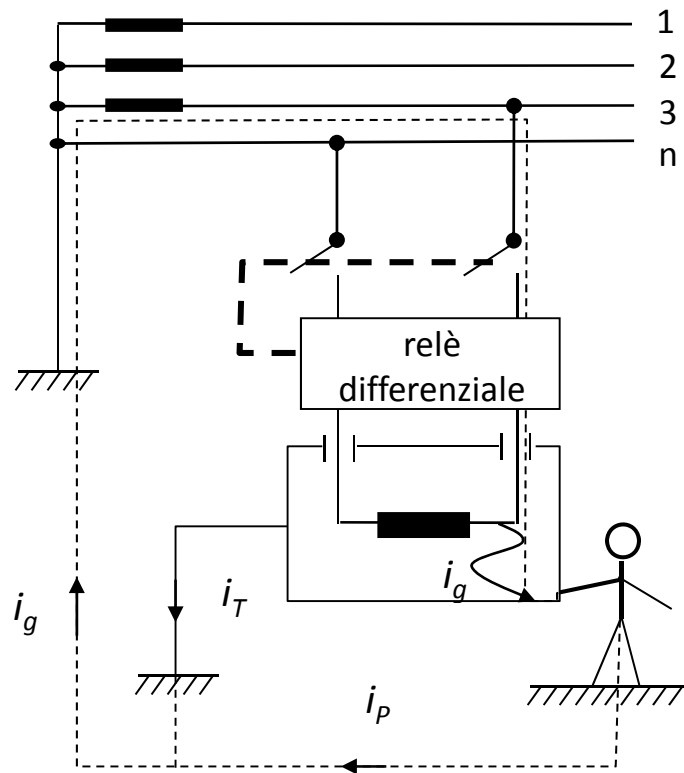
Per ogni valore della resistenza di terra del neutro (R_N) e quindi possibile determinare il valore della resistenza di terra (R_T) che rende la tensione di contatto a vuoto (V_{c0}) inferiore alla tensione limite U_L . Il valore di R_T che si ottiene risulta però estremamente basso (decimi di Ω) e quindi **di difficile realizzazione**.

La protezione dal contatto indiretto viene raggiunta mediante l'introduzione di un interruttore differenziale avente una opportuna corrente di intervento ($I_{\Delta N}$).

La caratteristica di intervento dell'interruttore differenziale permette di soddisfare la curva di sicurezza ogni qualvolta la corrente di guasto superi il valore di intervento dell'interruttore stesso. Al fine di assicurare la protezione anche nel caso in cui la corrente di guasto risulti inferiore a quella di intervento dell'interruttore differenziale, è necessario che la resistenza di terra abbia un valore sufficientemente piccolo, calcolabile dalla seguente relazione:

$$R_T \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N}}$$

PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI:



R_p = resistenza della persona

R_{pT} = resistenza di terra della persona

R_N = resistenza di terra del neutro

- R_p ed R_{pT} dipendono dalla persona

La protezione dai contatti indiretti, secondo la norma CEI 64-8, si realizza mediante:

- Installazione di un **interruttore differenziale con corrente di intervento differenziale non superiore a 30 mA**.
- **Collegamento a terra di tutte le masse del sistema.**
- **Coordinamento dei valori della resistenza di terra e della corrente di intervento differenziale dell'interruttore.**