

Protezione dai contatti indiretti

Se una persona entra in contatto contemporaneamente con due parti di un impianto a potenziale diverso si trova sottoposto ad una tensione che può essere pericolosa. Il contatto può essere:

- diretto, se si toccano parti che sono normalmente in tensione;
- indiretto, se si toccano parti conduttrici di componenti che, pur non essendo normalmente in tensione, possono assumere un potenziale diverso da zero in seguito ad un guasto.

Le norme CEI prevedono dei meccanismi di protezione dell'individuo basati principalmente sull'impianto di terra.

Dal punto di vista operativo, si usano alcune definizioni:

- isolamento funzionale: isolamento che consente il funzionamento, isolando tra loro le varie parti in tensione;
- isolamento principale: isolamento delle parti in tensione, avente lo scopo di proteggere dalle tensioni di contatto; può coincidere con quello funzionale;
- isolamento supplementare: ulteriore isolamento, oltre quello principale, che assicura la protezione in caso di cedimento di quello principale. Insieme costituiscono il doppio isolamento.

Per quel che riguarda i componenti, si dividono in :

- classe 0: dispositivi provvisti dell'isolamento principale, ma non collegabili a terra;
- classe I: dispositivi provvisti dell'isolamento principale e collegabili a terra;
- classe II: dispositivi provvisti soltanto del doppio isolamento. Non devono essere collegati a terra.
- classe III: dispositivi con isolamento ridotto perché alimentati a bassissima tensione e quindi capaci di non produrre tensioni di contatto pericolose.

L'assenza di un impianto di terra di sicurezza può provocare dei seri problemi, perché la tensione di contatto indiretto a cui si può trovare un individuo può raggiungere la tensione di alimentazione (220 V). Consideriamo questo caso.

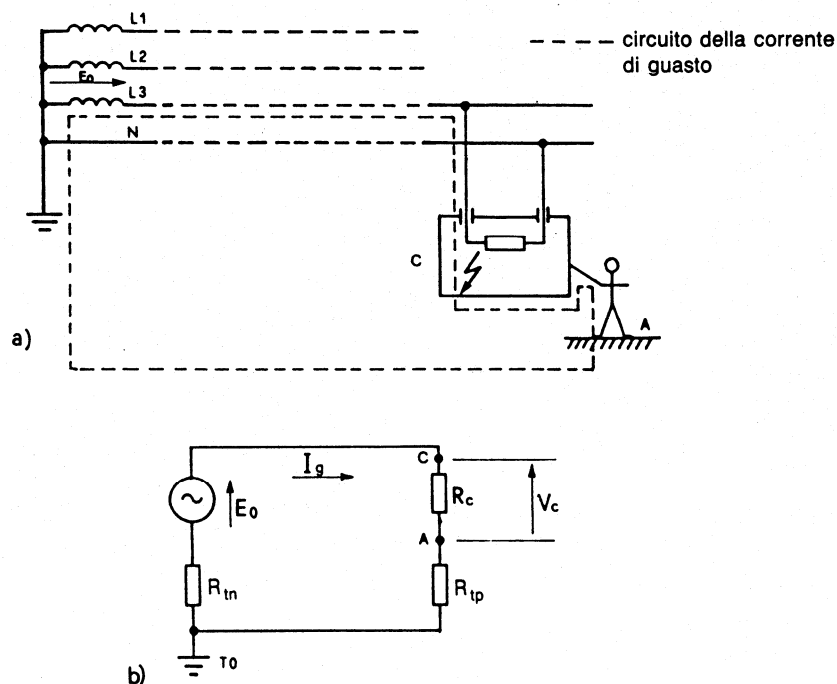


Fig. 10.1 a) Contatto indiretto senza messa a terra.
 b) Schema elettrico equivalente.

La corrente di guasto che attraversa l'individuo deve essere inferiore a 10 mA e quindi si ottiene

$$I_g = \frac{E_0}{R_c + R_{tp} + R_{tn}} \Rightarrow R_c + R_{tp} + R_{tn} \geq 22 \text{ k}\Omega$$

che risulta un valore ben difficilmente verificabile. In condizioni sfavorevoli (bagno,...):

$$R_c + R_{tp} + R_{tn} \approx R_c = 1 \text{ k}\Omega \Rightarrow I_g = 220 \text{ mA}$$

Del resto, la tensione di contatto vale

$$V_c = E_0 \frac{R_c}{R_c + R_{tp} + R_{tn}}$$

e quindi la tensione di contatto a vuoto vale 220 V, che è un valore al di sopra di quanto previsto dalla Legge.

La presenza di un impianto di terra cambia radicalmente le cose.

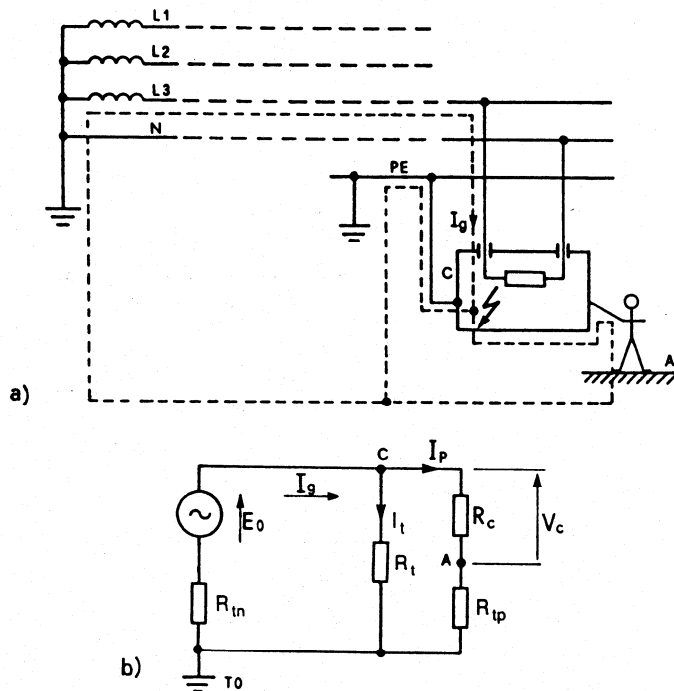


Fig. 10.2 a) Contatto indiretto con messa a terra.
b) Schema elettrico equivalente.

$$I_p = I_g \frac{R_t}{R_t + R_c + R_{tp}}$$

Se $R_t \ll R_c + R_{tp}$ la corrente che attraversa la persona potrebbe essere resa inferiore al limite di sicurezza. La tensione di contatto a vuoto vale

$$V_{co} = E_o \frac{R_t}{R_t + R_{tn}}$$

e risulta tanto minore quanto più bassa è la resistenza di terra.

Imponendo il limite di 50 V, si ottiene un vincolo sulla resistenza

$$R_t \leq R_{tn} \frac{V_{co}}{V_{co} + E_o} = 0.294 R_{tn}$$

Ciò introduce una incertezza sul valore della resistenza di terra, perché risulta vincolata a quella che si ha in cabina, che non risulta nota a priori e non garantita. Quindi è opportuno avere resistenze di terra le più basse possibile.

Struttura di un impianto di terra

Il conduttore di protezione presenta una sezione minima che va calcolata analiticamente o in funzione della sezione della fase:

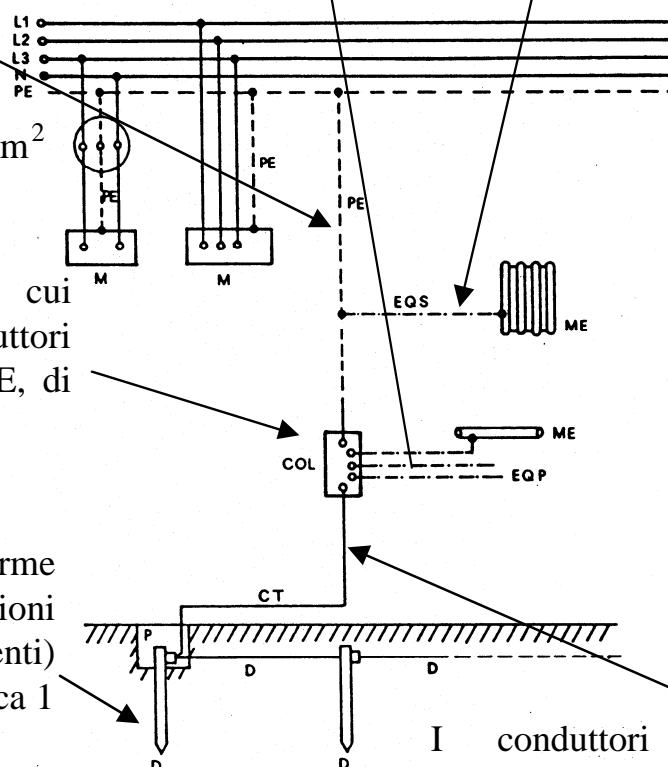
$$S_{PE} = \begin{cases} S_f & S_f \leq 16 \\ 16 & 16 < S_f \leq 35 \text{ mm}^2 \\ S_f / 2 & S_f > 35 \end{cases}$$

Collettore di terra, a cui vengono collegati i conduttori di terra, di protezione PE, di equipotenzialità.

Per i dispersori le norme prevedono delle sezioni minime (cfr. figg. seguenti) e vengono interrati a circa 1 m di profondità.

- PE: conduttore di protezione
- M: massa
- ME: massa estranea
- EQP: collegamento equipotenziale principale
- EQS: collegamento equipotenziale supplementare
- COL: collettore (nodo di terra)
- CT: conduttore di terra
- P: pozzetto
- D: dispersore

I conduttori equipotenziali principali (EQP) o secondari (EQS) assicurano l'equipotenzialità fra le masse e/o le masse estranee collegandole al collettore di terra i primi ed al PE i secondi.



I conduttori di terra collegano i dispersori tra loro ed al collettore di terra. Se sono interrati e non in tubi, devono considerarsi dispersori. La sezione è almeno 16 mm² se sono protetti contro la corrosione, ma non meccanicamente; 25 mm² (rame) o 50 mm² (ferro) se non sono protetti dalla corrosione oppure uguale a quella dei dispersori se sono intubati.

Fig. 10.4 Parti costituenti un impianto di terra.

L'interruttore differenziale

(CEI 23-18 23-42 23-43)

L'interruttore differenziale è un elemento fondamentale per la protezione ed è un dispositivo capace di aprire un circuito in condizioni di assorbimento di corrente non previsto da parte di un elemento esterno all'impianto.

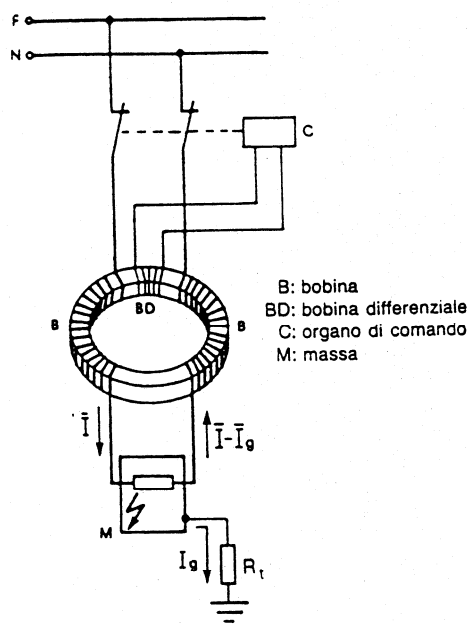


Fig. 10.6 Principio di funzionamento di un interruttore differenziale.

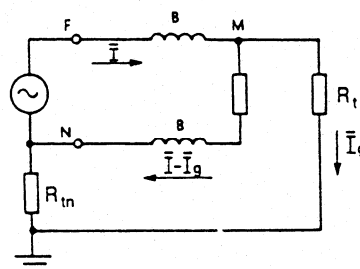


Fig. 10.7 Circuito equivalente dello schema di figura 10.6 (sistema TT).

In assenza di guasto, la corrente nelle due bobine è la stessa e si crea un flusso magnetico netto nullo. In presenza di una corrente di guasto, si crea una f.m.m. proporzionale alla corrente di guasto:

$$F_{\Delta} = NI - N(I - I_g) = NI_g \equiv NI_{\Delta}$$

La variazione temporale del flusso magnetico produce una f.e.m. che agisce sull'organo di comando (un relè di massima corrente) che al di sopra di una certa soglia aprirà l'interruttore impedendo la circolazione della corrente.

I differenziali si dividono in:

- magnetotermici, costituiti da un interruttore dotato di sganciamento magnetico, termico e differenziale, che protegge dalle sovracorrenti e dai guasti di terra;
- puri, dotati del solo sganciatore differenziale; di solito sono accompagnati da dispositivi di protezione dalle sovracorrenti.

Alcune caratteristiche fondamentali sono le seguenti:

- corrente differenziale nominale d'intervento, $I_{\Delta n}$: è la corrente differenziale che farà sicuramente scattare il differenziale ed è nota anche come sensibilità
 - bassa sensibilità: $I_{\Delta n} > 0.03$ A (tipici: 0.1-0.3-0.5-1 A)
 - alta sensibilità: $I_{\Delta n} \leq 0.03$ A (tipici: 0.005-0.01-0.03 A)
- corrente differenziale di non intervento: è la corrente al di sotto della quale il differenziale sicuramente non scatta; le norme prevedono che non sia inferiore a $I_{\Delta n} / 2$.

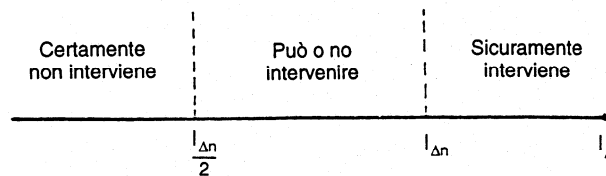


Fig. 10.8 Soglia d'intervento di un differenziale.

- caratteristica d'intervento: è la curva corrente differenziale/tempo d'intervento. In teoria il differenziale dovrebbe scattare in un tempo nullo, mentre in realtà c'è necessità di un tempo d'intervento legato all'inerzia meccanica del sistema.

Tab. 10.2 Tempi massimi d'intervento di interruttori differenziali ad alta sensibilità

$I_{\Delta n}$ (mA)	Tempo massimo d'intervento (s)		
	$I_{\Delta} = I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 2 I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 250$ mA
5	5	1	0,04
10	5	0,5	0,04
30	0,5	0,2	0,04

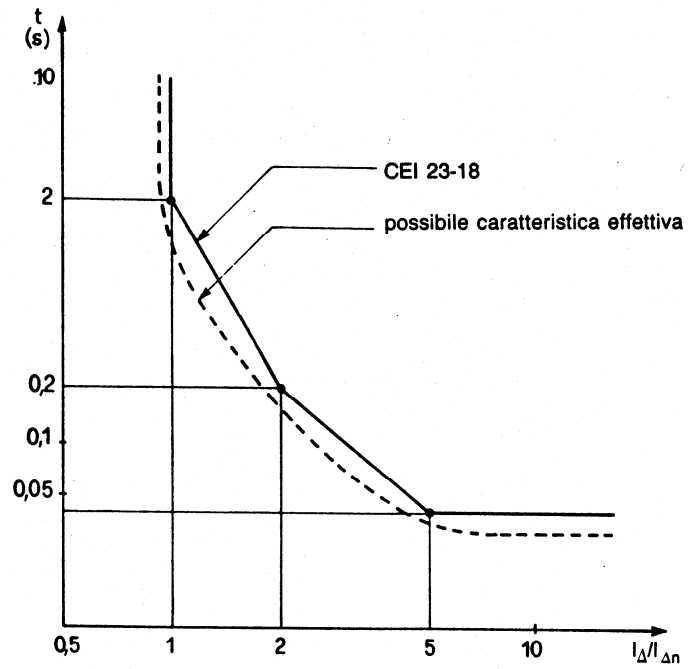


Fig. 10.9 Caratteristica d'intervento di un interruttore differenziale a bassa sensibilità.

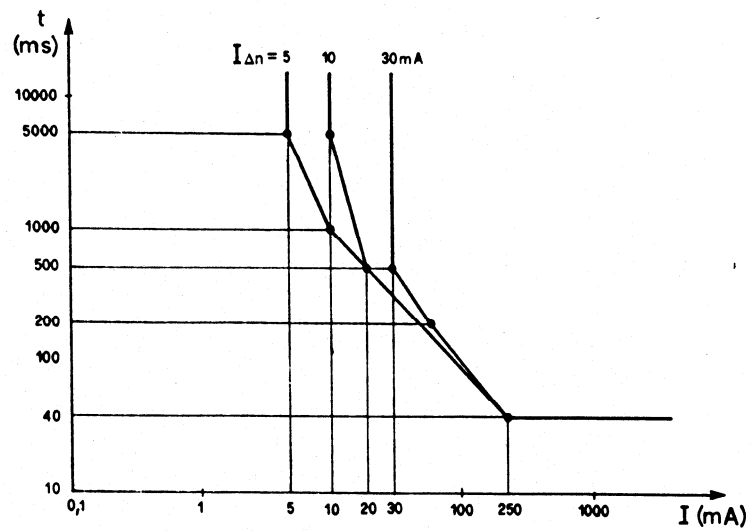


Fig. 10.10 Caratteristiche d'intervento (tempi massimi) di differenziali ad alta sensibilità.

L'interruttore differenziale si pone quindi come l'elemento più efficace per la protezione dai contatti. Dal punto di vista elettrico ciò è confermato dal seguente circuito di guasto, in cui R_A è la resistenza totale tra la massa M dell'apparecchiatura e la terra.

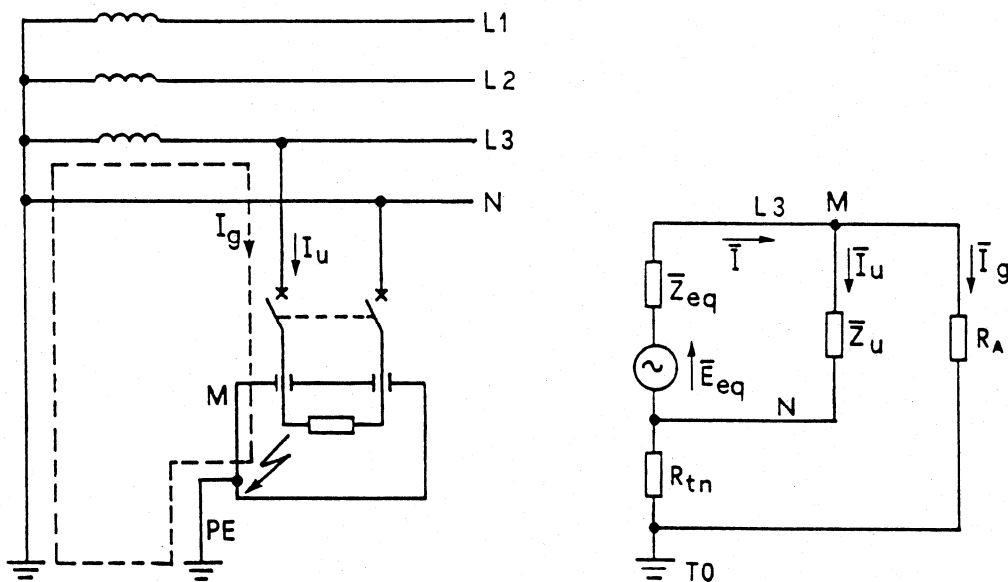


Fig. 10.13 a) Guasto verso terra nel sistema TT.
b) Circuito equivalente.

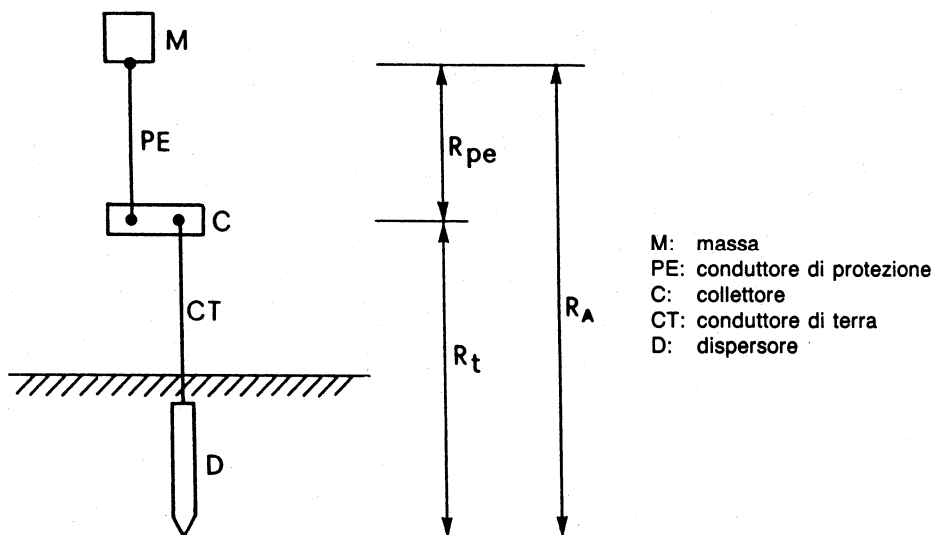


Fig. 10.14 Illustrazione del significato della resistenza $R_A = R_{PE} + R_t$.

La tensione di contatto a vuoto deve essere inferiore a 50 V e, se è presente un interruttore differenziale, la corrente differenziale coincide con la corrente di guasto. Ciò implica che la resistenza totale di terra deve avere il seguente limite superiore:

$$V_{co} = R_A I_g = R_A I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V} \Rightarrow R_A \leq \frac{50}{I_{\Delta n}}$$

Questo implica la seguente corrispondenza tra la sensibilità del differenziale e la resistenza totale massima di terra:

$I_{\Delta n}$ [A]	0.005	0.01	0.03	0.1	0.3
R_A [Ω]	10000	5000	1667	500	167
$I_{\Delta n}$ [A]	0.5	1	3	5	10
R_A [Ω]	100	50	16.7	10	5

Quindi, l'utilizzo dell'interruttore differenziale assicura la sicurezza anche con impianti di terra dotati di alta resistenza.

Esistono anche altri dispositivi che potrebbero assicurare la sicurezza, quali gli interruttori di massima corrente, di tipo magnetotermico o fusibile. In realtà, l'utilizzo di tali dispositivi non assicura affatto la sicurezza perchè si dovrebbero avere degli impianti di terra con resistenza troppo bassa. Infatti, nel caso di un magnetotermico di massima corrente, la condizione di sicurezza risulta:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a}$$

in cui I_a risulta la massima corrente sulla quale è progettato il magnetotermico, che può essere da 8 a 10 volte la corrente nominale.

Se si hanno più utilizzatori connessi allo stesso impianto di terra, nella relazione

$$R_A \leq \frac{50}{I_a}$$

si deve considerare la corrente d'intervento più elevata,

$$R_A \leq \frac{50}{60} = 0.833 \quad \Omega$$

Se in C avviene un guasto si ha che tutti e tre gli utenti si trovano sottoposti alla stessa tensione, senza che il differenziale possa intervenire perché le correnti sulla fase e sul neutro rimangono uguali. Quindi la soluzione consiste nell'introdurre un differenziale anche su C, oppure un unico differenziale a monte degli utilizzatori. In questo caso, però, se avviene un guasto su un dispositivo qualunque, tutti gli utenti vengono scollegati.

Se si hanno differenziali con sensibilità diversa, bisogna sempre considerare il differenziale meno sensibile come l'elemento su cui verificare la resistenza di terra.

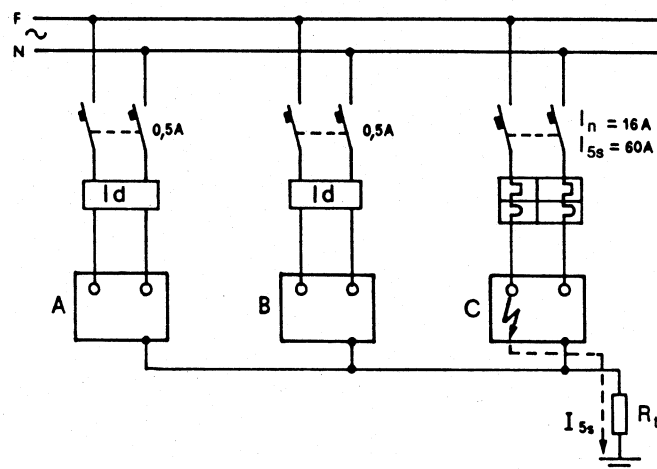


Fig. 10.15 Impianto di terra comune a più derivazioni.

Se si hanno due interruttori in cascata, uno differenziale e l'altro di massima corrente, il progetto va fatto sulla corrente differenziale, perché è quello che interviene in caso di guasto verso terra. Il magnetotermico interviene solo come protezione verso le sovracorrenti.

Un altro metodo di protezione è quello di usare componenti di classe II, che non vanno collegati a terra, oppure trasformatori d'isolamento, che impediscono alla corrente di guasto di richiudersi e quindi di attraversare l'utente. Anche qui non si devono collegare a terra gli impianti perché potrebbe realizzarsi una condizione di estremo pericolo per l'utente.

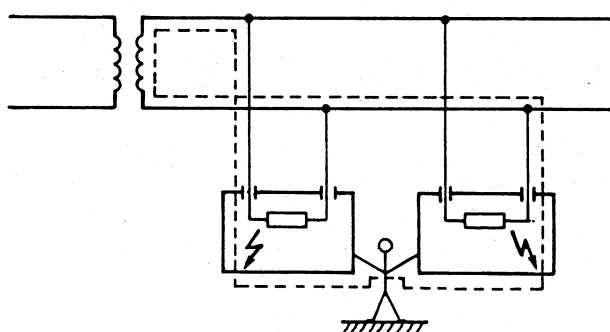


Fig. 10.19 Doppio guasto a massa sul circuito separato.

Valutazione della resistenza di terra

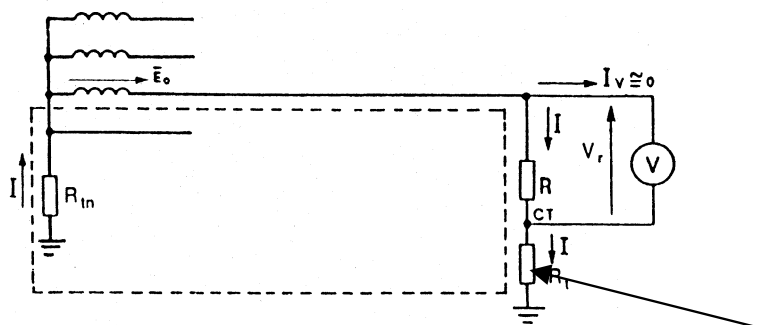


Fig. 10.21 Misura della resistenza globale di terra. collettore di terra

Si dispone un voltmetro tra la fase ed il collettore di terra collega tramite un'impedenza nota R . La tensione misurata vale:

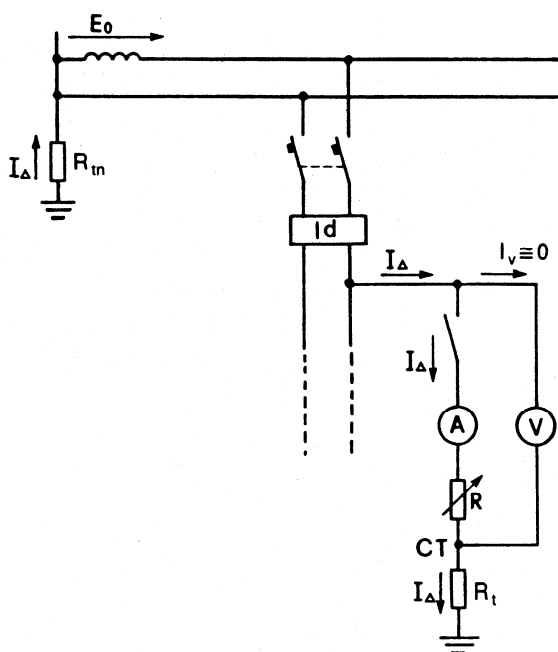
$$V_r = E_0 \frac{R}{R + R_t}$$

Invertendo si ottiene:

$$R_t = R \left(\frac{E_0}{V_r} - 1 \right)$$

tensione a vuoto

In modo analogo, si può misurare l'efficacia del differenziale ($R_{in} \approx 0$), escludendo lentamente la resistenza variabile:



$$E_0 = (R + R_t) I_{\Delta} = V_r + R_t I_{\Delta}$$

Si deve avere

$$R_t \leq \frac{50}{I_{\Delta n}} \Rightarrow R_t I_{\Delta} \leq 50 \frac{I_{\Delta}}{I_{\Delta n}}$$

$$\text{ovvero } E_0 - V_r \leq 50 \frac{I_{\Delta}}{I_{\Delta n}}$$

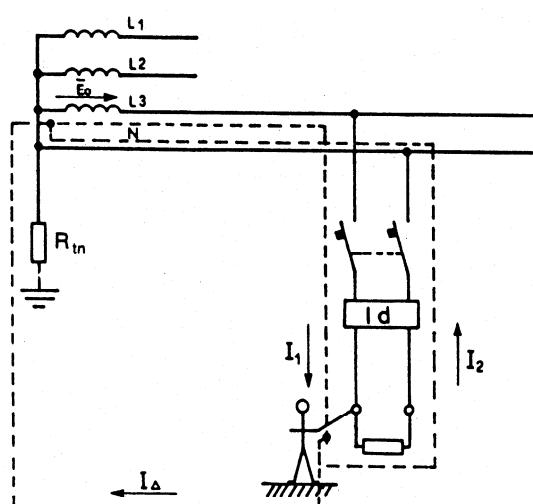
che si ottiene misurando E_0 , V_r e I_{Δ} .

Fig. 10.23 Circuito di prova senza sonda di tensione.

Protezione dai contatti diretti

In questo caso bisogna adottare innanzitutto delle barriere per evitare i contatti, quali involucri, isolamenti,

In ogni caso se un utente tocca direttamente una fase, l'unico modo per limitare il passaggio di corrente risiede nel differenziale. In questo caso, l'impianto di terra non ha alcun effetto:

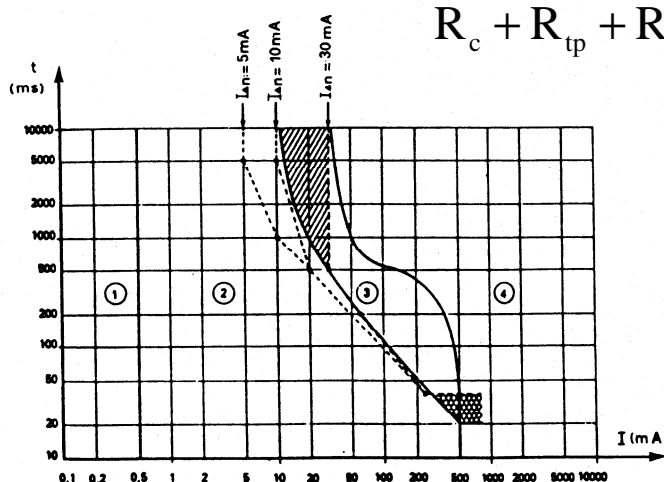


$$I_{\Delta} = \frac{E_0}{R_c + R_{tp} + R_{tn}}$$

Fig. 11.1 Contatto diretto unipolare.

Il differenziale interviene quando $I_{\Delta} \geq I_{\Delta n}$ ed ha un tempo di intervento proprio. Ciò limita la protezione del differenziale, come mostrato in figura. Come si nota dal grafico, la corrente di 250 mA è una soglia di estrema pericolosità. Tale valore si ha quando

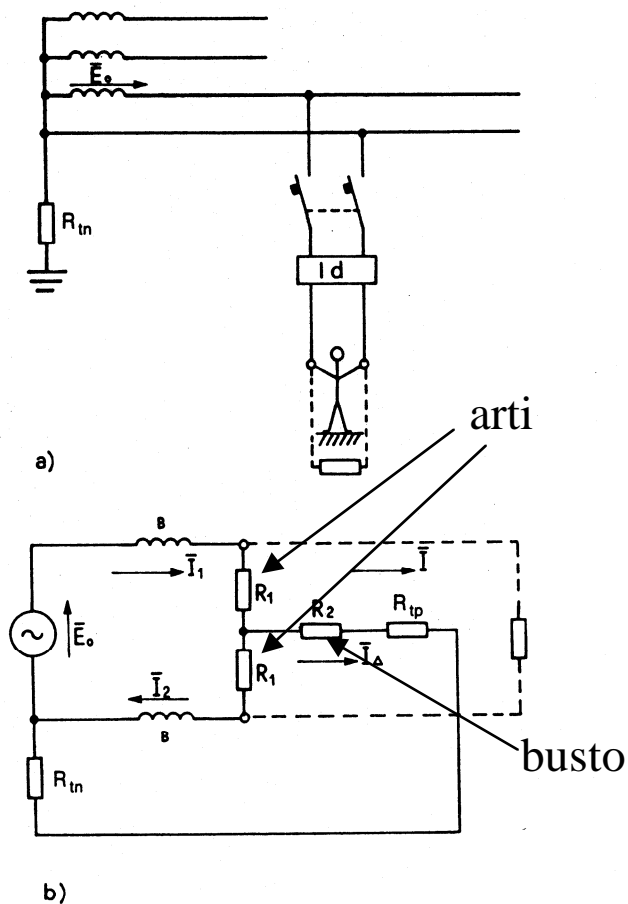
$$R_c + R_{tp} + R_{tn} \leq \frac{220}{0.250} = 880 \quad \Omega$$



Tali valori sono tipici nei locali da bagno.

Fig. 11.2 Protezione dai contatti diretti con interruttore differenziale, confronto con la curva di pericolosità convenzionale.

Ancora più pericoloso é il contatto bipolare.



In questo caso, se il corpo è isolato da terra, la corrente che fluisce nel busto è praticamente nulla; tale corrente è proprio la corrente differenziale e quindi quest'ultimo non entra in azione.

In tali casi si deve far ricorso a misure di protezione addizionale.

Fig. 11.3 a) Contatto diretto bipolare. b) Circuito equivalente.