

# IMPIANTI ELETTRICI

Appunti dalle lezioni

## 7. PROTEZIONE CONTRO I PERICOLI DELL'ELETTRICITÀ

### 7.3 Protezione contro i contatti indiretti

Generalità, definizioni

Classificazione dei sistemi di distribuzione in bassa tensione  
in relazione allo stato del neutro e delle masse

Circuiti di guasto nei sistemi TT, TN e IT

Protezione contro i contatti indiretti nei sistemi TT  
mediante interruzione automatica dell'alimentazione

Coordinamento tra la resistenza di terra e i dispositivi di protezione

Uso degli interruttori automatici magnetotermici  
e degli interruttori differenziali

Selettività tra interruttori differenziali

Le lezioni alle quali i presenti appunti si riferiscono sono state in parte svolte seguendo i Testi:

*G. Conte, Impianti Elettrici, 2 Volumi, Hoepli, Milano, 2002*

*V. Carrescia, Fondamenti di sicurezza elettrica, Edizioni TNE, Torino, 1997*

ai quali si rimanda per ulteriori dettagli sull'argomento trattato

Università degli Studi di Pavia  
Facoltà di Ingegneria  
Dipartimento di Ingegneria Elettrica

Queste dispense sono fornite gratuitamente agli studenti come ausilio alle lezioni impartite in aula

# 1. Protezione contro i contatti indiretti

## 1.1 Generalità e definizioni

- Si considerano i metodi di protezione delle persone contro i "contatti indiretti" applicabili agli impianti elettrici utilizzatori in corrente alternata a tensione nominale  $\leq 1000V$ . Il riferimento normativo è sostituito dalle Norme CEI 64-8.
- Una persona che tocchi contemporaneamente parti (conduttrici) a diverso potenziale elettrico è sottoposta ad una tensione elettrica. In pratica il contatto può avvenire in due modi diversi:
  - "contatto diretto" quando si toccano parti che sono normalmente in tensione (e divenute casualmente accessibili).
  - "contatto indiretto" quando si toccano (\*) parti conduttrici di componenti elettrici (normalmente accessibili) che non sono normalmente in tensione ma che possono assumere un potenziale diverso da zero in seguito ad un guasto d'isolamento.
- Le Norme CEI 64-8 utilizza una terminologia che qui di seguito viene possibilmente illustrata.

● L'**isolamento funzionale** è, in un apparecchio elettrico, ciò che rende possibile il funzionamento, isolando tra loro le parti a diversa tensione.

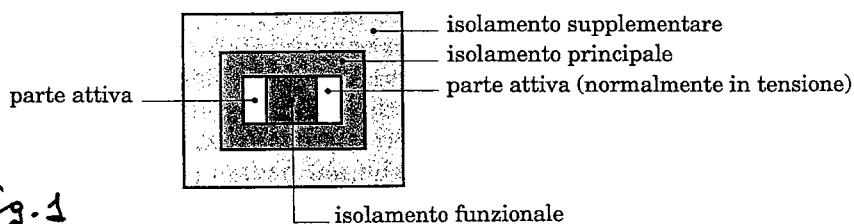
● L'**isolamento principale** è quello che isola le parti normalmente in tensione e ha lo scopo di proteggere dalle tensioni di contatto.

L'isolamento principale e quello funzionale non sempre coincidono: per esempio in una linea aerea con conduttori nudi vi è l'isolamento funzionale (l'aria tra i conduttori), ma non quello principale.

(\*) In presenza di un guasto a terra.

- L'**isolamento supplementare** è un isolamento indipendente, che viene aggiunto a quello principale per assicurare la protezione dalle tensioni di contatto in caso di cedimento di quest'ultimo. L'insieme dei due costituisce il **doppio isolamento**. Quando vi è un isolamento unico, in grado di assicurare lo stesso grado di protezione, si parla di **isolamento rinforzato**.

- I vari tipi di isolamento sono individuati nella seguente Fig. 1.



- I **componenti di classe 0** sono apparecchiature elettriche provviste del solo isolamento principale e non aventi alcun dispositivo per il collegamento delle masse a un conduttore di protezione.

Queste apparecchiature non possono essere collegate a terra; nel caso di guasto all'isolamento, la protezione è affidata soltanto alle caratteristiche dell'ambiente in cui si trovano.

- I **componenti di classe I** sono apparecchiature provviste del solo isolamento principale e aventi un dispositivo per il collegamento delle masse a un conduttore di protezione.
- I **componenti di classe II** sono apparecchiature provviste di isolamento doppio o rinforzato e non aventi alcun dispositivo di collegamento a un conduttore di protezione (\*).
- I **componenti di classe III** sono apparecchiature aventi isolamento ridotto in quanto destinate a essere alimentate soltanto da un sistema a bassissima tensione di sicurezza e in cui non si possono generare tensioni di valore superiore a quello del sistema di alimentazione.

(\*): Queste apparecchiature non devono essere collegate a terra; sono però ammessi morsetti per conduttori di protezione passanti.

- Sono **parti attive** tutti i conduttori o le parti conduttrici che sono in tensione durante il funzionamento normale, compreso il conduttore neutro. Si esclude, per convenzione, il conduttore PEN.

Il contatto di persone con le parti attive costituisce il contatto diretto prima definito. Per esempio, in un motore, sono parti attive gli avvolgimenti e i morsetti, mentre non lo è la carcassa.

- Si definiscono **masse** tutte le parti conduttrici, facenti parte di componenti elettrici e che possono essere toccate, che non sono in tensione in condizioni normali d'isolamento, ma possono andare in tensione in caso di guasto, con il cedimento dell'isolamento principale.
- Esempi tipici di masse sono le carcasse dei motori e gli involucri metallici degli apparecchi di classe 0 e I, mentre quelli dei componenti di classe II non sono masse perché non vanno in tensione se cede il solo isolamento principale, essendoci anche quello supplementare.

- È bene precisare che la possibilità di toccare le masse va intesa in senso lato; per esempio l'involucro esterno di una lampada per l'illuminazione stradale posta su un sostegno è una massa perché può essere toccata mediante una scala.

La norma precisa che non è da intendere come massa una parte conduttrice che può andare in tensione solo perché è in contatto con una massa. È questo, per esempio, il caso di cavi contenuti in tubi, poggiati su una passerella metallica. La passerella non è una massa perché se il tubo è metallico è esso stesso una massa, e quindi le parti a contatto con esso non lo sono; se invece il tubo è isolante costituisce un doppio isolamento e, nel caso di cedimento dell'isolamento principale, la passerella non va in tensione.

Nel caso in cui l'involucro metallico sia ricoperto di vernici e simili è ancora da considerare massa se va in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale; infatti lo strato protettivo non è, in generale, idoneo a garantire la sicurezza delle persone.

Il contatto indiretto è quindi quello di una persona con una massa, oppure con una parte conduttrice in contatto con una massa, durante un guasto che interessi l'isolamento principale.

- Per **massa estranea** si intende una parte conduttrice, che non fa parte dell'impianto elettrico, in grado di introdurre nell'impianto un potenziale.
- Un caso tipico di massa estranea sono le condutture interrate che, a causa dell'intimo contatto con il terreno, costituiscono dei dispersori con bassa resistenza di terra; esse conferiscono, nel caso vengano toccate, un potenziale prossimo a quello del punto del terreno in cui avviene il contatto.
- *Con riferimento alle situazioni mostrate in Fig. 2a) ove la persona è sottoposta alla tensione di contatto  $V_c$ , consideriamo la situazione modificata mostrata in Fig. 2b). In Fig. 2b), nel punto di appoggio dei piedi, vi è una massa estranea (p.es. una tubazione o un serbatoio interrati). Questa situazione è più pericolosa della*

della precedente in quanto nel circuito equivalente la resistenza  $R_{TC}$  va sostituita con la resistenza di terra  $R_{TA}$ ; si ha  $R_{TA} \ll R_{TC}$  per cui la tensione d'isolato  $V_C'$  viene quasi a coincidere con la tensione  $V_T$ .

In ambienti particolarmente pericolosi quali locali da bagno, piscine ecc., le masse estranee possono anche introdurre potenziali diversi da quello di terra. È tale il caso delle tubazioni idriche che, anche se isolate da terra, possono portare in altri luoghi il potenziale conseguente, per esempio, a guasti in uno scaldabagno elettrico.

Per decidere se si è in presenza di una massa estranea bisogna misurarne la resistenza verso terra, dato che un corpo conduttore a stretto contatto con il terreno ha una resistenza verso terra molto piccola, al limite nulla. La normativa considera masse estranee le parti metalliche aventi resistenza verso terra inferiore a  $1000 \Omega$  per gli ambienti ordinari e  $200 \Omega$  per quelli a maggior rischio, per i quali si assume  $U_L = 25 \text{ V}$ .

Fig. 2a)

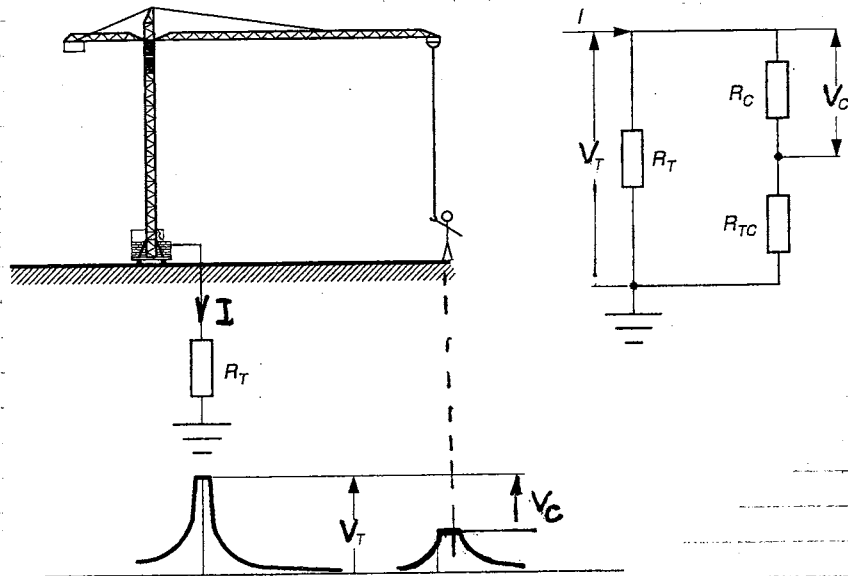
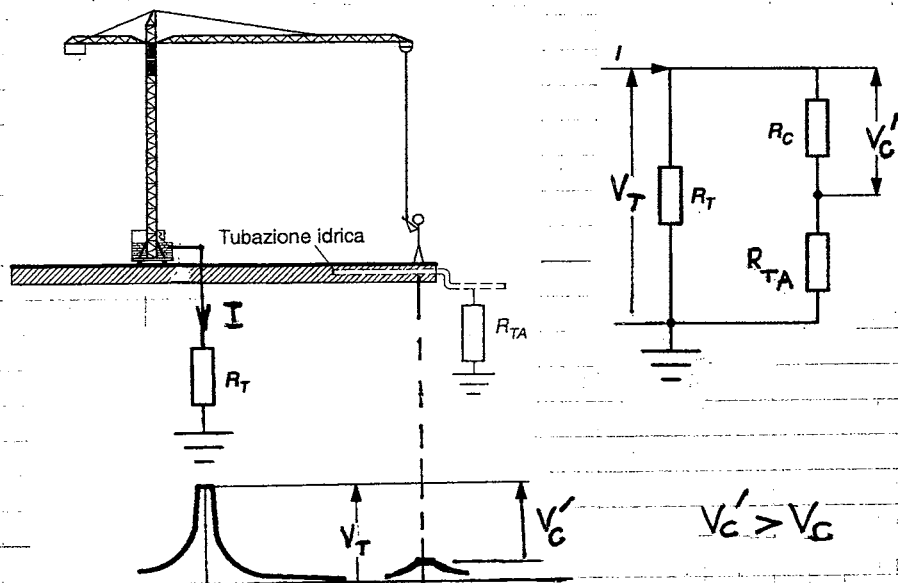


Fig. 2b)



- La norma CEI 64-8 definisce **impianto elettrico** l'insieme dei componenti elettrici elettricamente associati per soddisfare scopi specifici e aventi caratteristiche coordinate. Dell'impianto elettrico fanno parte tutti i componenti elettrici non alimentati tramite prese a spina e gli apparecchi utilizzatori fissi alimentati tramite prese a spina destinate unicamente alla loro alimentazione.

- Per esempio, l'impianto elettrico di un'abitazione comprende tutti i componenti (cavi elettrici, apparecchi di protezione e di comando, prese a spina, apparecchi illuminanti collegati direttamente), scelti in maniera coordinata e collegati tra loro per soddisfare lo scopo specifico di illuminare i locali e distribuire l'alimentazione nei vari punti dell'immobile. Non fanno parte dell'impianto quegli utilizzatori, come apparecchi radio e TV, asciugacapelli ecc., che possono essere alimentati tramite una qualsiasi presa a spina installata nei locali.

Qualora l'impianto sia costituito solo dai circuiti di alimentazione degli apparecchi utilizzatori e delle prese a spina, comprese le relative apparecchiature di manovra, protezione ecc., prende il nome di **impianto utilizzatore** e il suo **punto di origine** è il punto in cui avviene la consegna dell'energia elettrica. Nel caso prevalente di consegna dell'energia da parte di una rete di distribuzione pubblica, l'origine dell'impianto utilizzatore coincide con il punto in cui è installato il contatore elettrico per la misura dell'energia; se l'impianto è invece alimentato da una fonte di energia dell'utente (*autoproduttori*) il punto di origine corrisponde ai morsetti di uscita del generatore o del trasformatore (se esistente).

- Per **circuito elettrico** all'interno di un impianto elettrico si intende l'insieme di componenti alimentati da uno stesso punto e protetti contro le sovracorrenti da uno stesso dispositivo di protezione.

Per esempio in un impianto industriale, a valle di un quadro elettrico in cui sono centralizzati gli interruttori automatici di protezione, si possono distinguere vari circuiti elettrici per l'alimentazione delle diverse utenze (illuminazione, macchine, prese), ciascuno partente da un interruttore.

- Per **circuito di distribuzione** si intende il circuito che alimenta un quadro di distribuzione.

Nell'esempio precedente sono circuiti di distribuzione quelli che, partenti dal quadro elettrico generale, alimentano un quadro secondario.

- Il **circuito terminale** è quello direttamente collegato agli apparecchi utilizzatori o alle prese a spina.

Per esempio, in un appartamento sono circuiti terminali quelli che dalle cassette di derivazione alimentano i vari apparecchi illuminanti.

In quel che segue si farà riferimento alla "messa a terra di protezione" che riguarda, come è noto, le parti conduttrici di impianti e di apparecchi elettrici normalmente non in tensione ma che

possano divenire a seguito di guasti; lo scopo è quello di limitare le tensioni che possono essere applicate alle persone che vengono a contatto con questi elementi, oppure di favorire l'intervento di dispositivi di protezione, migliorando le condizioni di sicurezza.

## 1.2 Classificazione dei sistemi elettrici in relazione alla messa a terra

- Gli impianti utilizzatori vengono alimentati dalle sbarre di bassa tensione delle cabine di distribuzione. Nelle cabine sono installati uno o più trasformatori aventi l'avvolgimento secondario collegato a stella; sono così disponibili le tre fasi e il neutro. Durante il normale esercizio il neutro può essere collegato a terra oppure isolato da terra.
- Gli impianti utilizzatori possono avere le masse collegate o meno a terra.
- In relazione a quanto sopra detto gli impianti a tensione nominale  $\leq 1000$  V vengono classificati, per quanto riguarda il collegamento a terra, mediante una sigla formata da due lettere che indicano lo "stato del neutro" e lo "stato delle masse":

- **Prima lettera:** T collegamento diretto a terra (con impedenza trascurabile) del neutro; I isolamento da terra o collegamento mediante impedenza.
- **Seconda lettera:** T collegamento diretto a terra delle masse; N collegamento delle masse al punto del sistema (generalmente il neutro) connesso a terra.

- Si possono così considerare tre diversi "sistemi di distribuzione (in relazione alla messa a terra) che vengono denominati con le sigle TT, TN, IT.

### ● Sistema TT

- Il sistema TT ha il neutro collegato direttamente a terra e le masse collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del neutro (v. Fig. 3).
- Il sistema TT è comunemente impiegato in Italia per l'alimentazione degli impianti utilizzatori in bassa tensione delle reti di distribuzione pubblica (gli utilizzatori sono lontani dalla cabina di trasformazione).
- Il neutro è messo a terra in cabina (T1) mentre le masse sono collegate all'impianto di terra (T2) mediante il "conduttore di protezione" (indicato convenzionalmente con la sigla PE).

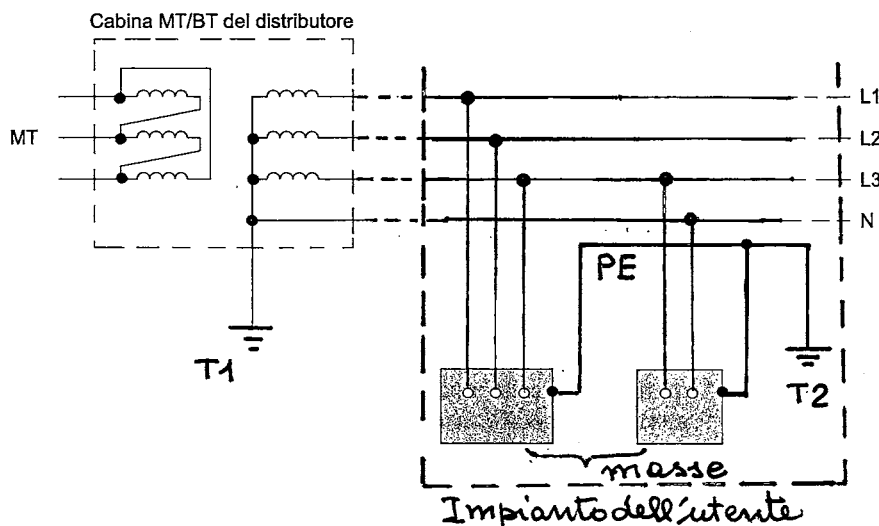


Fig. 3

### ● Sistema TN

- Il sistema TN ha il neutro collegato direttamente a terra e le masse collegate al conduttore di neutro. Il collegamento delle masse può essere effettuato direttamente (sistema



TN-C) o indirettamente attraverso un conduttore di protezione (sistema TN-S). Le lettere C e S specificano che:

- C: la funzione di conduttore di neutro e quello di conduttore di protezione sono svolte da un unico conduttore (denominato convenzionalmente con la sigla PEN) (v. Fig. 4).
- S: il conduttore di neutro e quello di protezione (PE) sono separati (v. Fig. 5).
- In Italia è consentito l'uso del sistema TN per gli impianti utilizzatori alimentati da una propria cabina o stazione di trasformazione.

Fig. 4

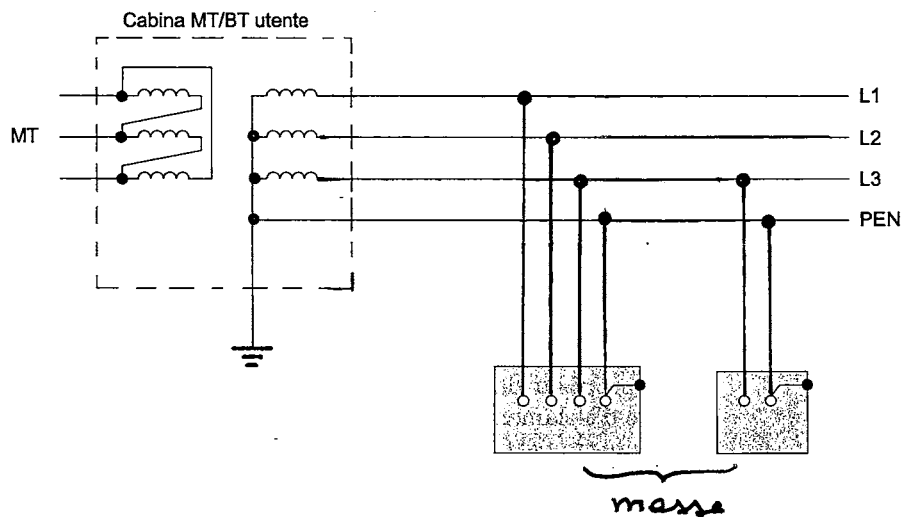
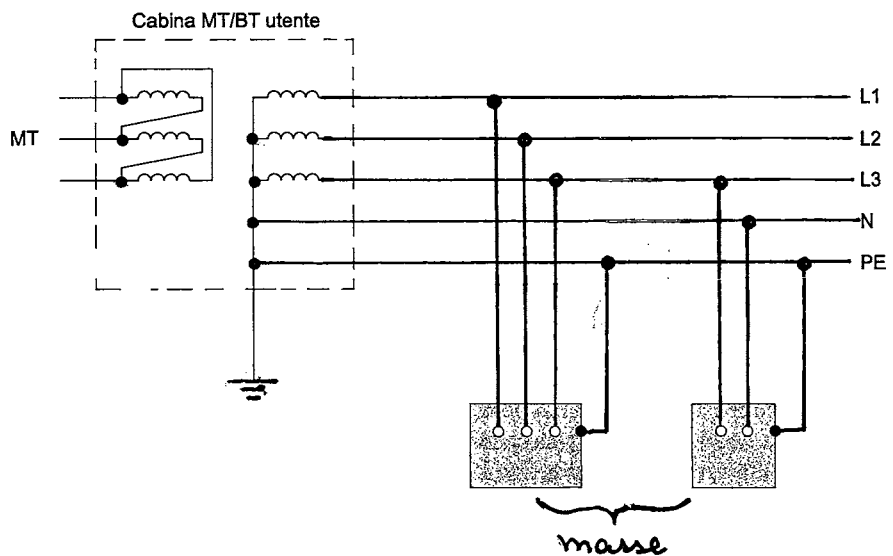
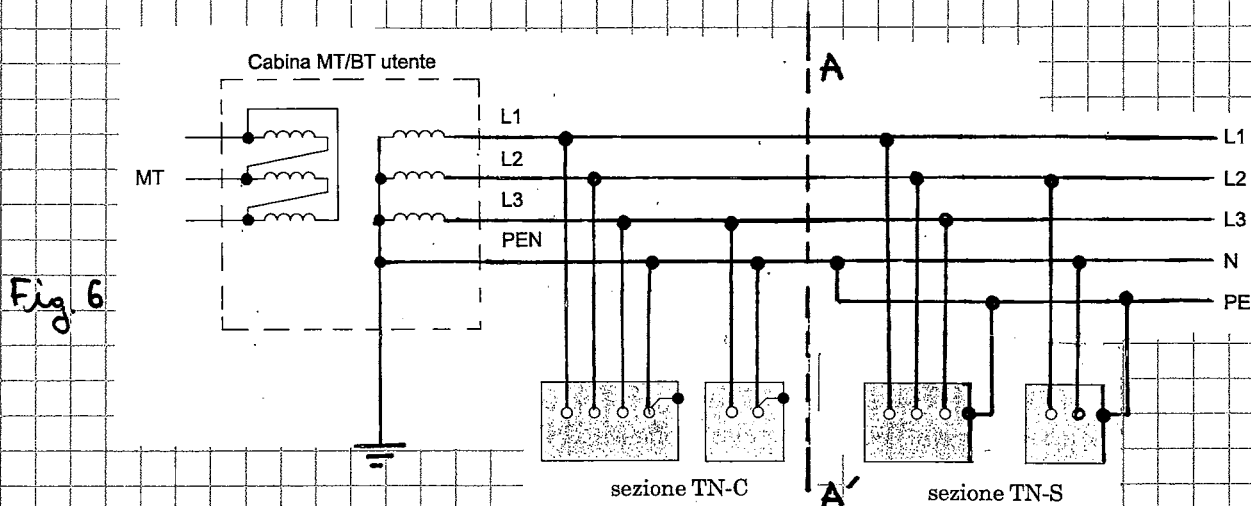


Fig. 5



- Si può considerare anche il sistema TN-C-S derivante dall'unione del TN-C e del TN-S; in questo caso la funzione di neutro e di protezione sono, per una parte dell'impianto, combinate in un solo conduttore e per un'altra parte separate (v. Fig. 6).



- In Fig. 6 è mostrato che il conduttore PEN dà origine a due conduttori, quello di neutro N e quello di protezione PE.
- Non è ammesso ricostruire il conduttore PEN a valle della sezione di separazione A-A'.

### ● Sistema IT

- Nel sistema IT il neutro è isolato da terra (o è messo a terra tramite un'impedenza) mentre le masse sono collegate ad un impianto di terra locale (che può essere separato o unito a quello eventuale del neutro) (v. Fig. 7).
- La caratteristica principale del sistema IT è che esso consente una maggior continuità di servizio in quanto un primo guasto a terra per difetto d'isolamento fa circolare una corrente molto piccola che si chiude attraverso le espai-

tà verso terra della linea; la tensione verso terra assunta dalle masse risulta generalmente contenuta.

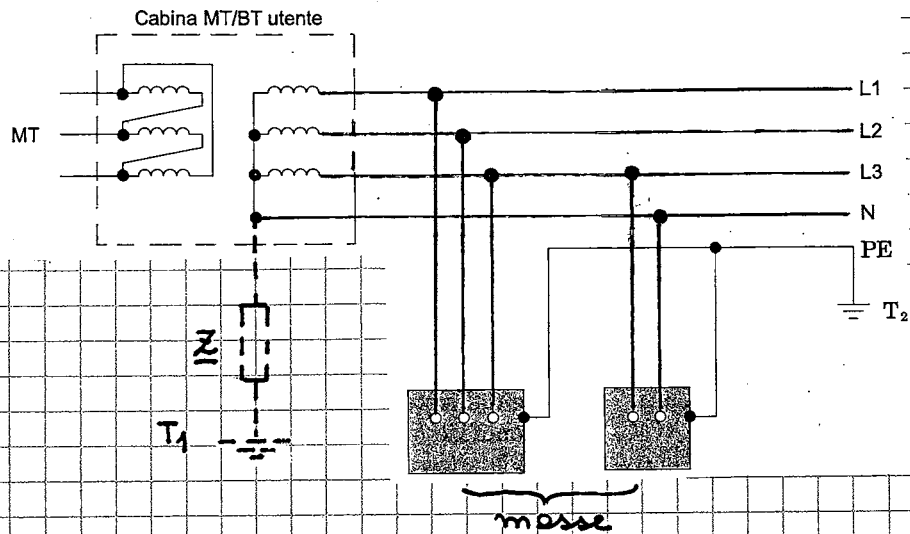


Fig. 7

### 1.3 Circuito di guasto

#### • Sistema TT

• In Fig. 8 è mostrato che un guasto d'isolamento all'interno di un apparecchio elettrico collegato a terra determina la creazione di un "circuitto di guasto" (testeggiato in figura) alimentato dalla tensione di fase  $E_0$  che si ha al secondario del trasformatore.

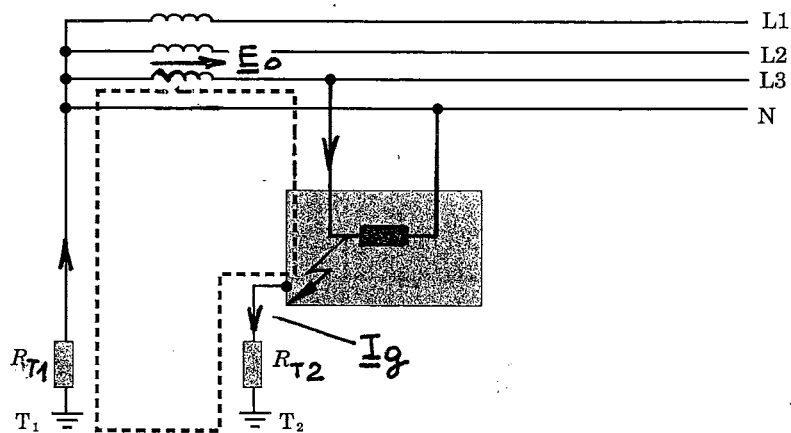


Fig. 8

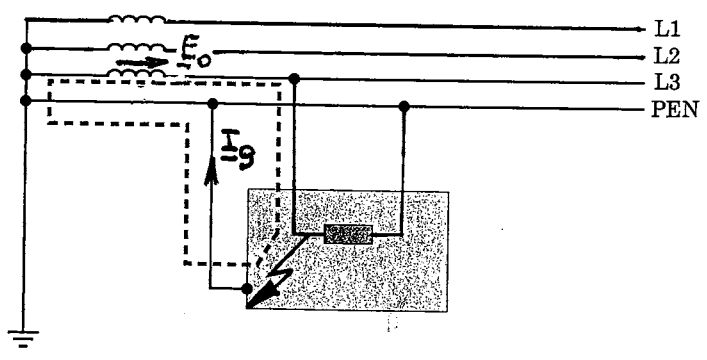
• La corrente di guasto a terra  $I_g$  è limitata dalle resistenze

$R_{T1}$  e  $R_{T2}$  dei due impianti (separati) di terra (trascurando le altre impedenze presenti nel circuito di questo). La corrente  $I_g$  potrebbe risultare anche molto piccola, mentre la tensione verso terra assunta dalla massa (pari  $R_{T1} I_g$ ) potrebbe risultare, in valore efficace, pari a  $E_0$  in quanto normalmente si ha  $R_{T2} > R_{T1}$ .

● Sistema TN

● In Fig. 9 è mostrato che un guasto all'interno di un apparecchio determina un corto circuito (tra fase e neutro) alimentato dalle  $E_0$ . Il "circuito di guasto" (mostrato a tratteggio in figura) non comprende il terreno (e non interessa la messa a terra del neutro): la corrente  $I_g$  è limitata dall'impedenza "dell'anello di guasto" costituito dal conduttore di fase sede del guasto e dal conduttore di protezione (PEN o PE) (trascurando l'impedenza interna del trasformatore e l'impedenza del guasto). Il valore della "impedenza dell'anello di guasto" può risultare molto piccola e quindi la  $I_g$  può assumere valori efficaci elevati.

Fig. 9



● la tensione verso terra assunta dalla massa risulta pari ad una frazione di  $E_0$ .

● Sistema IT

- In Fig. 10 è mostrato il "circuito di guasto" che viene a determinarsi in seguito ad un guasto all'interno di un apparecchio. La corrente  $I_g$  è generalmente piccola in quanto è limitata, oltre che dalle  $R_T$ , soprattutto dalle impedenze delle capacità verso terra della linea. La tensione verso terra assunta dalla massa (pari a  $R_T I_g$ ) è generalmente piccola.

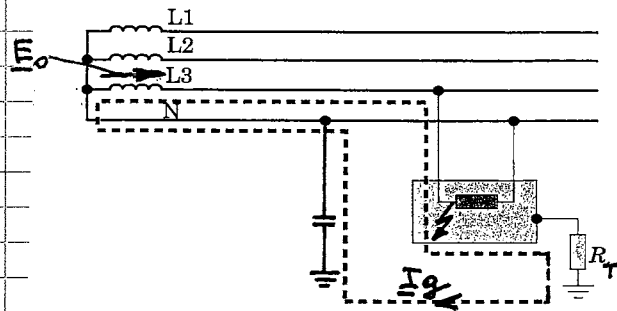


Fig. 10

- La massa può così rimanere in tensione senza pericolo per le persone e senza dover interrompere il servizio.
- Nel caso in cui, permanendo il primo guasto, se ne verificasse un secondo su una fase diversa, si ha la situazione mostrata in Fig. 11.

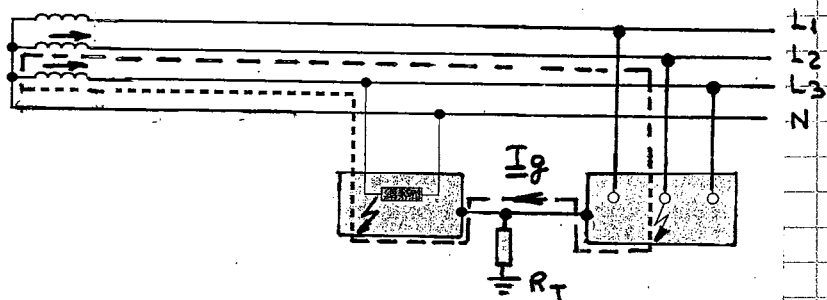


Fig. 11

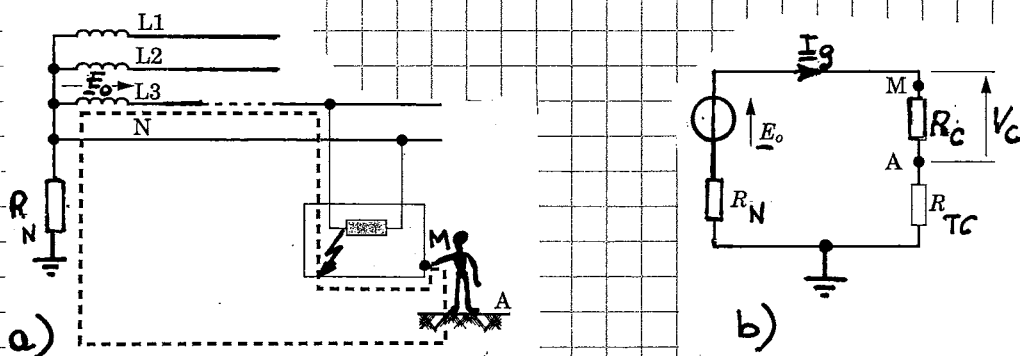
- Si crea così un corto circuito fase - fase alimentato dalla tensione concatenata; la corrente di guasto non interessa l'impianto di terra ed è limitata soltanto dall'impedenza del circuito di guasto.

## 2. Protezione contro contatti indiretti nei sistemi TT

### 2.1 Messa a terra di protezione

- Il collegamento a terra delle masse è una misura di protezione contro i contatti indiretti che va coordinata con i dispositivi di protezione che interrompono automaticamente l'alimentazione.
- Per comprendere come si espliciti la protezione, consideriamo dapprima la situazione in cui (v. Fig. 12a) si abbia un guasto d'isolamento all'interno dell'apparecchio la cui masse non sia collegata ad un impianto di terra (locale).
- In Fig. 12b) è riportato il circuito equivalente a cui si può ricondurre la situazione nell'ipotesi che la persona tocchi la massa ed abbia i piedi a contatto col terreno<sup>(\*)</sup>.

Fig. 12



- Le componenti di questo  $I_g$  (che attraversa la persona) e la tensione  $V_C$  applicata alla persona valgono, rispettivamente;

(\*) Si trascura la resistenza del filo di linea e l'induttanza del circuito di guasto.  
Le nomenclature utilizzate è quella della Dispensa 5.1.

$$I_g = \frac{E_0}{R_c + R_{TC} + R_N} \quad (1)$$

$$V_c = R_c I_g = \frac{R_c}{R_c + R_{TC} + R_N} E_0 \quad (2)$$

- Assumendo che la situazione non sia pericolosa per la persona se  $I_g \leq 10 \text{ mA}$  (v. Dispensa 7.1), si dovrebbe avere, con  $E_0 = 230 \text{ volt}$ :

$$R_c + R_{TC} + R_N \geq 23 \text{ k}\Omega \quad (3)$$

- In pratica la (3) risulta difficilmente verificata<sup>(\*)</sup>; pertanto la persona sarà attraversata quasi certamente da una corrente maggiore del limite di pericolosità convenzionale (p. es., in condizioni molto sfavorevoli potrebbe risultare  $I_g \cong 230 \text{ mA}$  se  $R_c + R_{TC} + R_N \cong R_c = 1 \text{ k}\Omega$ ).

la tensione  $V_c$  è tanto più prossima a  $E_0$  quanto

- più il rapporto  $R_c / (R_N + R_{TC} + R_c)$  è prossimo a 1 (v. la (1)).

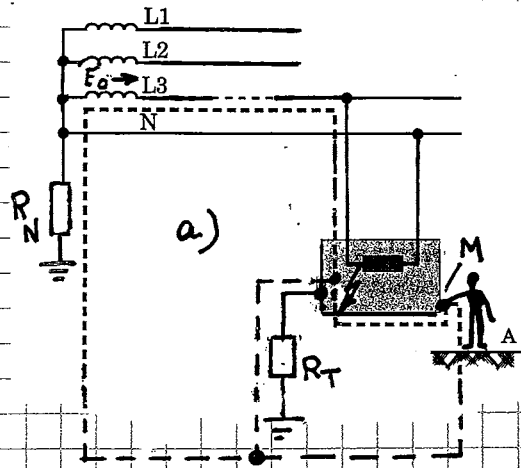
- Dalle considerazioni fatte si può concludere che:

- Il valore di  $I_g$  può risultare pericoloso per la persona, ma potrebbe non essere sufficiente a determinare l'apertura del dispositivo di massima corrente inserito nel circuito.

(\*) La resistenza della messa a terra del neutro in cabina è piccola (p. es.:  $R_N = 1 \Omega$ ) mentre il valore di  $R_{TC}$  è alquanto aleatorio dipendendo dal tipo di terreno, dalla presenza del pavimento, dal tipo di calzature, ecc.).

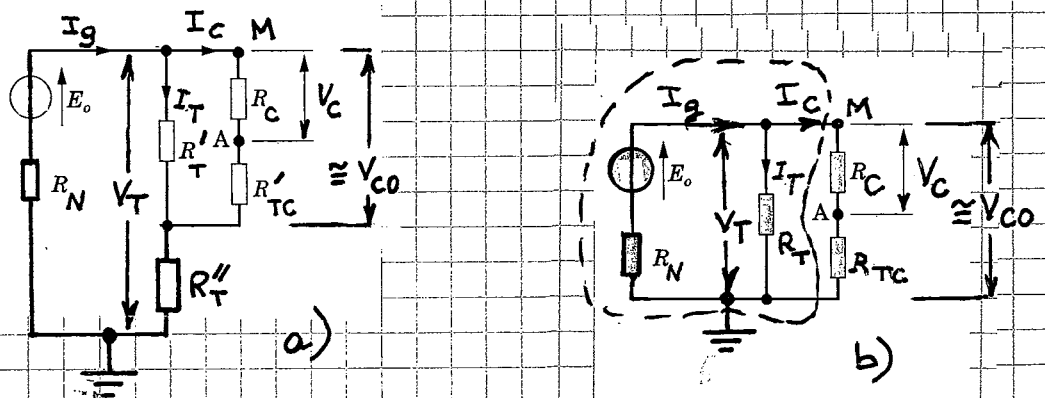
- Il valore di  $V_c$  (al limite pari a 230V) è sopportabile per un tempo molto breve; se la protezione di massima corrente non interviene in tempo utile (o non interviene affatto) la situazione risulta senz'altro di estremo pericolo per la persona in contatto con la massa.
- Supponiamo ora che la massa sia collegata ad un impianto di terra locale (come appunto si ha in un sistema TT). La situazione di questo cosiddetto si modifica come indicato in Fig. 13.

Fig. 13



- In Fig. 14a) è rappresentato il relativo circuito equivalente (v. Dispensa 5.1, Fig. 26).

Fig. 14



- In quel che segue si assume, per semplicità, che la persona sia abbastanza distante dal dispersore locale per cui si possa far riferimento alla Fig. 14b).



- Su tal caso si ha:  $V_c < V_{co} \cong V_T$  mentre la Fig. 14a mostra che, più in generale, si ha:  $V_c < V_{co} < V_T$ .
- Facendo l'approssimazione che, passando dal circuito di Fig. 12b (assenza di collegamento a terra) a quello di Fig. 14b, la  $E_0$  rimanga invariata, si ha che la corrente di guasto è quella che viene la persona subisce con le seguenti variazioni (\*):

$$I_g' = \frac{E_0}{R_c + R_{TC} + R_N} ; I_c' = I_g'$$

$$I_g'' = \frac{E_0}{\frac{(R_c + R_{TC})R_T}{R_c + R_{TC} + R_T} + R_N} ; I_c'' = \frac{R_T}{R_c + R_{TC} + R_T} I_g''$$

- Per fare un esempio, si suppone che le grandezze in gioco abbiano i seguenti valori:

$$E_0 = 230V ; R_c = 1000\Omega ; R_{TC} = 200\Omega ; R_N = 1\Omega ; R_T = 5\Omega$$

Si ottiene:

$$I_g' = I_c' = 0,1915A$$

$$I_g'' = 38,47A ; I_c'' = 0,1596A$$

Per  $R_T \rightarrow 0$  si ha  $I_c'' \rightarrow 0$  e cioè, come è evidente dalla Fig. 14b), tutte le correnti di guasto si chiuderanno attraverso l'impedimento di terra locale.

- Per quanto riguarda le tensioni si ha, nelle due situazioni:

$$V_c' = R_c I_g' = 191,5V ; V_T = (R_c + R_{TC}) I_g' = 229,8V$$

(\*) L'apice ' individua le grandezze relative alla Fig. 12b; l'apice '' invece si riferisce alla grandezza in Fig. 14b.

$$V_c'' = R_c I_c'' = 159,6 \text{ V} ; V_T'' = V_{c0}'' = (R_c + R_{Tc}) I_c'' = 191,52 \text{ A}$$

Per  $R_T \rightarrow 0$  si ha, ovviamente:  $V_c'' \rightarrow 0$ ;  $V_T'' = V_{c0}'' \rightarrow 0$ .

- Da quanto sopra detto si può concludere che il collegamento a terra della massa determina una riduzione (rispetto al caso di assenza di massa a terra) sia della corrente che attraverso il corpo delle persone che della tensione di contatto; si ha, in generale:

$$I_c = \frac{E_0}{R_c + R_{Tc} + R_N + \frac{R_N}{R_T} (R_c + R_{Tc})} \quad (4)$$

$$V_{c0} = \frac{E_0}{1 + \frac{R_N}{R_T} + \frac{R_N}{R_c + R_{Tc}}} \approx \frac{E_0}{1 + \frac{R_N}{R_T}} \quad (5)$$

- Volendo imporre che  $V_{c0}$  non superi la tensione di contatto (a vuoto) limite convenzionale  $U_L$  (v. Dispensa 6.1) si ha, dalle (5), la seguente condizione:

$$R_T \leq \frac{U_L}{E_0 - U_L} R_N \quad (6)$$

- Per  $U_L = 50 \text{ V}$  ("condizioni ordinarie") si ha:

$$R_T \leq 0,278 R_N$$

- Risulta quindi che nei sistemi TT una protezione efficace contro i contatti indiretti si potrebbe ottenere con il solo impianto di terra locale se la sua  $R_T$  fosse molto piccola (poiché la  $R_N$  è generalmente dell'ordine di  $1 \Omega$ ).
- Non è però né pratico né conveniente limitare la tensione di contatto (a vuoto) a valori  $\leq$  di  $U_L$  in quanto,

rissemando:

- occorrerebbero resistenze di terra  $R_T$  troppo basse (dell'ordine del decimo di ohm) non facilmente ottenibili negli impianti in bassa tensione;
- la sicurezza dipenderebbe dalle variazioni della resistenza di terra del neutro  $R_N$ ; tali variazioni non sono però note all'utente (il sistema TT è generalmente utilizzato nella distribuzione pubblica).

## 2.2 Protezione mediante l'interruzione automatica dell'alimentazione

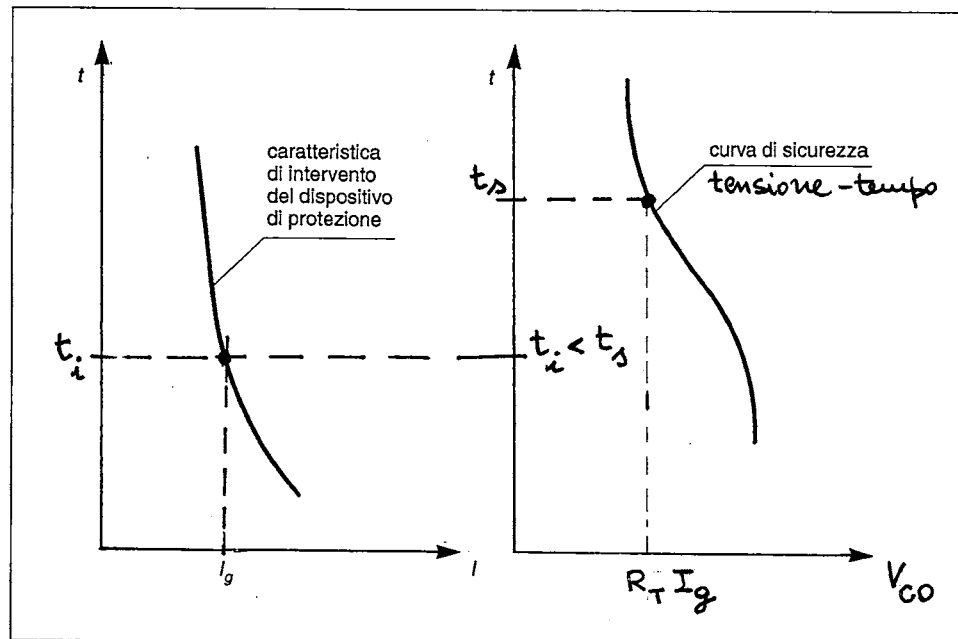
Il sistema TT ha come obiettivo l'ottenimento della sicurezza dell'utente indipendentemente dalle caratteristiche e dalle circostanze delle reti di distribuzione pubblica in bassa tensione e utilizzando impianti di terra locali con valori non troppo piccoli delle resistenze di terra.

- Non potendo limitare le tensioni sulle masse si deve ridurre il tempo per cui tale tensione permane; occorre cioè interrompere il circuito in un tempo tanto più breve quanto maggiore è la tensione di contatto in modo da renderla sopportabile dalla persona.
- Nella Dispensa 6.1 (o anche la Dispensa 6.2 per un maggior approfondimento) è stata definita la "curva di sicurezza tensione-tempo" che mette in relazione i valori della tensione di contatto e costo  $V_{co}$  con l'intervallo di tempo entro il quale occorre interrompere il circuito.
- La sicurezza si consegue quindi soddisfacendo la curva

di sicurezza tensione-tempo mediante il coordinamento delle resistenze di linea  $R_T$  con un dispositivo (amperometrico) di protezione (DP) che apre automaticamente il circuito al manifestarsi di una corrente di guasto  $I_g$  secondo la sua caratteristica di intervento corrente-tempo.

- La corrente  $I_g$  può assumere un valore qualsiasi (in relazione alle resistenze  $R_T$  e  $R_N$  e a quella  $R_g$  del guasto).
- Occorre pertanto fare in modo che, per ogni possibile valore di  $I_g$ , il tempo  $t_i$  impiegato dal dispositivo di protezione per aprire il circuito sia inferiore al tempo  $t_s$  equivalente, sulle curve di sicurezza tensione-tempo, alla tensione  $V_{co}$  relativa alla  $I_g$  (v. Fig. 15).
- Si ha  $V_{co} < V_T$  ma, a favore della sicurezza, si assume  $V_{co} = V_T = R_T I_g$ ; nell'applicazione delle curve di sicurezza si si riferisce quindi alla  $V_T$ .

Fig. 15



- Per concludere si può affermare che in un sistema TT il valore delle resistenze di linea  $R_T$  non è di per sé indicativo delle

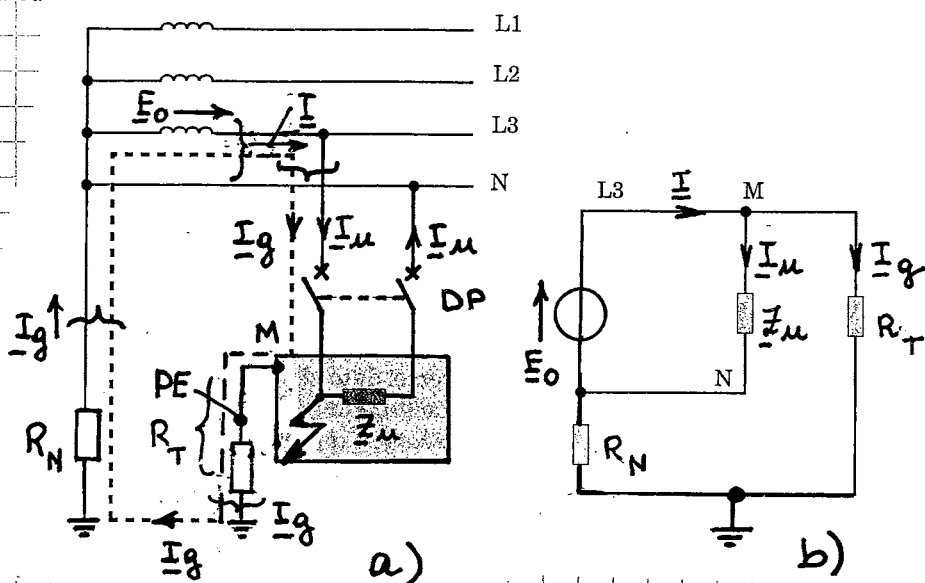
condizioni di sicurezza; deve invece essere realizzato il coordinamento tra  $R_T$  e la caratteristica d'intervento (corrente-tempo) del dispositivo di protezione in modo tale che la tensione totale di terra permanga per tempi non superiori a quelli previsti dalla curva di sicurezza tensione-tempo.

- I dispositivi che si possono utilizzare per l'interruzione automatica del circuito sono a massima corrente (fusibili e interruttori automatici) o a corrente differenziale; essi presentano, come è noto, caratteristiche d'intervento tra loro differenti e quindi l'analisi del coordinamento con  $R_T$  va condotta separatamente per ciascun tipo di dispositivo.

### 2.3 Coordinamento tra la resistenza di terra e i dispositivi di protezione

- Per fissare le idee consideriamo la situazione rappresentata in Fig. 16 a). Il secondario del trasformatore alimenta unicamente l'apparecchio monofase di impedenza  $Z_u$ ; la massa dell'apparecchio, collegata al conduttore PE, viene in contatto, per difetto d'isolamento, con il conduttore di fase L3; nessuna persona è in contatto con la massa.
- A tale situazione si può far corrispondere il circuito equivalente di Fig. 16 b);  $R_T$  è la resistenza complessiva del collegamento a terra della massa, pari alla somma delle resistenze di terra misurate sul collettore di terra e della resistenza complessiva dei conduttori PE che collegano la massa al collettore (tale resistenza è, in molti casi, trascurabile).

Fig. 16



• Nel morsetto del dispositivo di protezione DP collegato a L3 entra la corrente  $\underline{I} = \underline{I}_g + \underline{I}_u$ , mentre dal morsetto collegato ad N esce la corrente  $\underline{I}_u$ .

a) Se il dispositivo di protezione è di massima corrente a tempo inverso (interruttore automatico magnetotermico, fusibile), l'intervento avviene quando la corrente  $\underline{I}$  supera quello nominale della protezione, con un tempo d'intervento dipendente dalle sue caratteristiche.

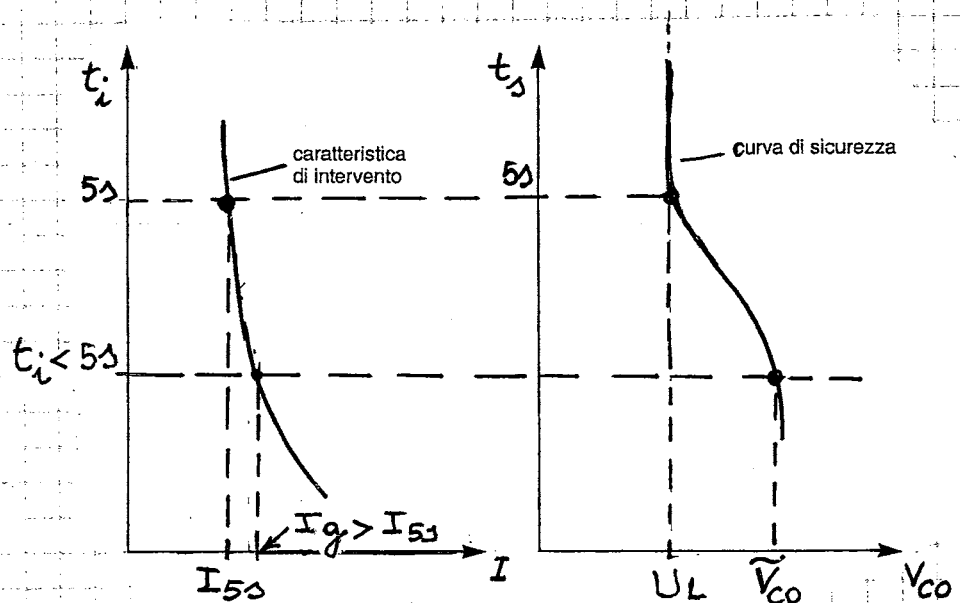
b) Se il dispositivo di protezione è un interruttore differenziale, esso scatta una "corrente differenziale" pari a  $\underline{I} - \underline{I}_u = \underline{I}_g$  che, qualora superi la soglia di intervento, fa intervenire il dispositivo interrompendo l'alimentazione.

• La tensione di contatto a vuoto (identificata come  $V_T$ ) vale  $V_{co} = R_T I_g$ . Nel caso a) l'intervento del dispositivo è determinato dalla corrente totale  $\underline{I} > \underline{I}_g$ ; considerando il caso più sfavorevole (in cui si abbia  $\underline{I}_u$  trascurabile)

robile rispetto a  $I_g$ ) si può assumere  $V_{co} = R_T I$ .

- Il coordinamento tra la resistenza di terra e i dispositivi di protezione si realizza in generale secondo le modalità descritte al punto 2.2 (e con riferimento alla Fig. 15).
- Considerando dapprima il caso relativo ai dispositivi di protezione con caratteristica di intervento a tempo inverso, le modalità del coordinamento considerate in sede normativa impongono che venga direttamente rispettato il punto  $(U_L, 5s)$  della curva di sicurezza tempo-sicurezza.
- La Fig. 17 mostra che il punto  $(U_L, t_s = 5s)$  sulla curva di sicurezza corrisponde il punto  $(I_{5s}, t_i = 5s)$  sulla caratteristica d'intervento.

Fig. 17



- a) Se  $I_g = I_{5s}$  ( $I_{5s}$  è la corrente corrispondente al tempo di intervento in 5 secondi) il coordinamento è rispettato: per  $V_{co} = R_T I_g = \boxed{R_T I_{5s} = U_L}$ , il dispositivo interviene in 5 secondi ( $t_i = t_s = 5s$ ).
- b) Se  $I_g < I_{5s}$  si ha  $t_i > 5s$  e  $V_{co} < U_L$  e quindi la sicurezza è rispettata.

- In entrambi i casi a) e b) la sicurezza è rispettata a maggior ragione, se è verificata la condizione:

$$R_T I_{5s} \leq U_L \quad (7)$$

c) Se  $I_g > I_{5s}$ , affinché la sicurezza sia rispettata occorre che sia (v. Fig. 17):

$$V_{co} = R_T I_g \leq \tilde{V}_{co} \quad (8)$$

In questo caso il rispetto della condizione (7) non assicura che sia verificata la (8). La tensione sulle masse supera la  $U_L$  ma il tempo di intervento della protezione è minore di 5s; in sede normativa si è ritenuto che per  $V_{co} > U_L$  il tempo di intervento soddisfi le curve di sicurezza.

- La (7) viene quindi assunta come condizione da soddisfare per ottenere il coordinamento.

Dalla (7) si ottiene:

$$R_T \leq \frac{U_L}{I_{5s}} \quad (9)$$

- La (9) viene assunta come condizione a cui occorre fare riferimento per il dimensionamento dell'impianto di terra.

- Se il dispositivo di protezione è un interuttore differenziale (o un dispositivo a massima corrente a "scatto istantaneo") l'intervento si ha in corrispondenza di una corrente di guasto  $I_g \geq$  di un certo valore di corrente  $I_a$  caratteristico del dispositivo, e il tempo di intervento è  $\leq 5s$ .



- Generalizzando la (7), la Norma CEI 64-8 considera come condizione da soddisfare per ottenere il coordinamento la seguente:

$$\boxed{R_T I_a \leq U_L} \quad (10)$$

- Nella (10) la corrente  $I_a$  rappresenta:
  - la corrente di intervento in SS per i dispositivi con caratteristica di intervento a tempo inverso (interuttori magnetotermici e fusibili);
  - la corrente differenziale nominale per i dispositivi differenziali;
  - la corrente minima che provoca l'intervento istantaneo per i dispositivi a massima corrente o scatto istantaneo.
- Con  $R_T$  s'intende la resistenza complessiva del collegamento a terra della massa.
- Dalla (10) si ottiene la condizione a cui deve soddisfare la resistenza di terra:

$$\boxed{R_T \leq \frac{U_L}{I_a}} \quad (11)$$

- Per quanto riguarda  $U_L$  (denominata "tensione di contatto (a vuoto) limite convenzionale") si ricorda che il suo valore è assunto pari a 50 V per condizioni ambientali ordinarie, e pari a 25 V nel caso di condizioni ambientali particolari, con riferimento alle curve di sicurezza tensione-tempo.
- Si osserva infine che: per l'interuttore magnetotermico (e per il fusibile) l'ordine di grandezza di  $I_a$  può anche essere

pari alle centinaia di ampere (e dipende dalla corrente nominale del dispositivo di protezione); per l'interruttore differenziale  $I_a$  varia dalle frazioni di ampere alla decina di ampere (ed è indipendente dal valore della corrente nominale del dispositivo).

#### 2.4 Esempio numerico

- Si consideri la situazione rappresentata in Fig. 16a, assumendo  $E_0 = 400/\sqrt{3}$  volt; si supponga che la corrente di guasto  $I_g$  si possa approssimare come:

$$I_g = \frac{E_0}{R_N + R_T} \quad (12)$$

- a) Il dispositivo di protezione sia un interruttore automatico magneto-termico; la sua caratteristica di intervento è mostrata in Fig. 18 ( $I_{5s} = 6 I_n$ ).

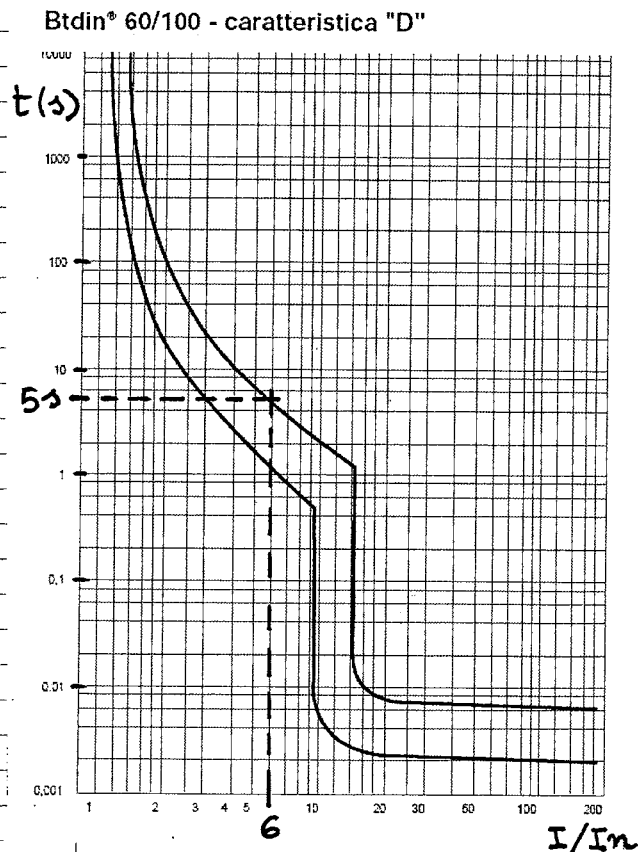


Fig. 18

- Assumendo  $I_n = 16 \text{ A}$  si ha  $I_{53} = 96 \text{ A}$ ; per ambienti normali deve essere verificata la condizione:  $R_T \leq 0,52 \Omega$ .
- Nel caso  $R_n = 1 \Omega$ , e per diversi valori di  $R_T$ , si hanno i valori riportati nella seguente Tabella 1.

Tab. 1

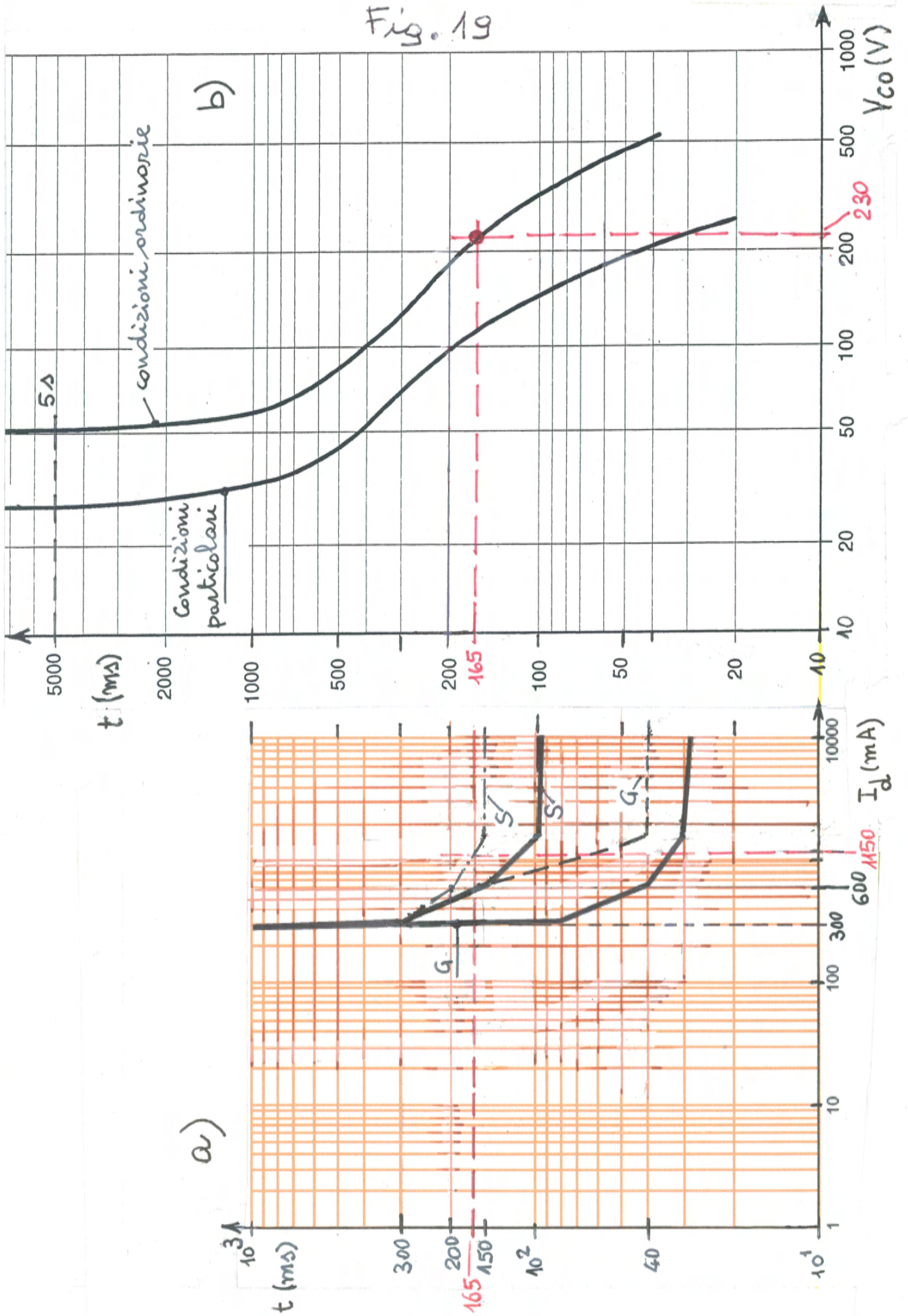
$R_T (\Omega)$	$I_g (\text{A})$	$I_g / I_{53}$	$I_g / I_n$	$V_{co} (\text{V})$
0,3	178	1,85	11,125	53,5
0,5	154	1,60	9,625	47,0
1	116	1,20	7,250	36,0

- Nei tre casi considerati si ha  $I_g > I_{53}$  per cui per stabilire se la sicurezza è rispettata, occorre verificare che sia rispettata la curva di sicurezza tensione-tempo.
- Riportando sulle ascisse delle caratteristiche di intervento mostrate in Fig. 19a) i valori di  $I_g / I_n$  di Tab. 1 si individuano i corrispondenti tempi di intervento del DP.
- Riportando sulle ascisse delle curve di sicurezza tensione-tempo mostrate in Fig. 19b) i valori di  $V_{co}$  di Tab. 1 si individuano i corrispondenti tempi per i quali le tensioni di contatto sono tollerabili.
- Dal confronto delle Figg. 19a) e 19b) si vede che la curva di sicurezza è rispettata nel caso  $R_T = 0,3 \Omega$ ; non è rispettata nel caso  $R_T = 0,5 \Omega$  (sebbene in questo caso sia rispettata la (9)) e, a maggior ragione, nel caso  $R_T = 1 \Omega (> 0,52 \Omega)$ .
- Il confronto è anche mostrato nella seguente Tabella 2.

Tab. 2

$R_T (\Omega)$	Tempo tollerabile (ms)	Tempo di intervento (ms)
0,3	1800	1800
0,5	570	2400
1	350	3500

Fig. 19



- Per vedere l'influenza sul valore di  $R_N$ , consideriamo il caso  $R_N = 2 \Omega$  per il quale si hanno i valori riportati in Tabella 3.

Tab. 3

$R_T (\Omega)$	$I_g (A)$	$I_g / I_{5s}$	$I_g / I_n$	$V_{co} (V)$
0,3	101	1,05	6,31	30,3
0,5	92	0,96	5,75	46,0
1	77	0,80	4,81	77,0

- Procedendo come nel caso precedente si ha che la sicurezza è rispettata per  $R_T = 0,3 \Omega$  ( $R_T < 0,52$ ;  $I_g > I_{5s}$ ) e per  $R_T = 0,5 \Omega$  ( $R_T < 0,52$ ;  $I_g < I_{5s}$ ). La sicurezza non è rispettata per  $R_T = 1 \Omega$  ( $R_T > 0,52$ ;  $I_g < I_{5s}$ ).

- Il confronto è mostrato sinteticamente nella Tabella 4.

Tab. 4

$R_T (\Omega)$	Tempo tollerabile (ms)	Tempo di intervento (ms)
0,3	$\infty$	3400
0,5	$\infty$	5300
1	570	7600

- Ancora con riferimenti alle caratteristiche di intervento di Fig. 18 e a  $R_N = 1 \Omega$ , una diversa corrente nominale del dispositivo di protezione richiede una diversa condizione per  $R_T$ .

- Assumiamo, per esempio,  $I_n = 40 A$  si ha  $I_{5s} = 240 A$  e  $R_T \leq 0,208 \Omega$ .

Si lascia allo studente il compito di verificare che in questo

caso, per i valori di  $R_T$  riportati in Tab. 5, la sicurezza non è rispettata (si ha  $I_f \leq I_{SS}$  ma  $R_T > 0,208 \Omega$ ).

- Per  $R_T = 0,2 \Omega < 0,208 \Omega$  si ha  $I_f = 192,5 < I_{SS}$  e quindi la sicurezza è verificata.

b) Il dispositivo di protezione sia un interruttore differenziale; le caratteristiche di intervento per diversi tipi di interruttori differenziali e diversi valori di  $I_{dn}$ , sono mostrate in Fig. 20.

- Applicando la (11) si ricavano, con i valori normalizzati di  $I_{dn}$ , i limiti superiori della resistenza di terra; per sublimiti normali essi sono riportati nella successiva Tabella 5.

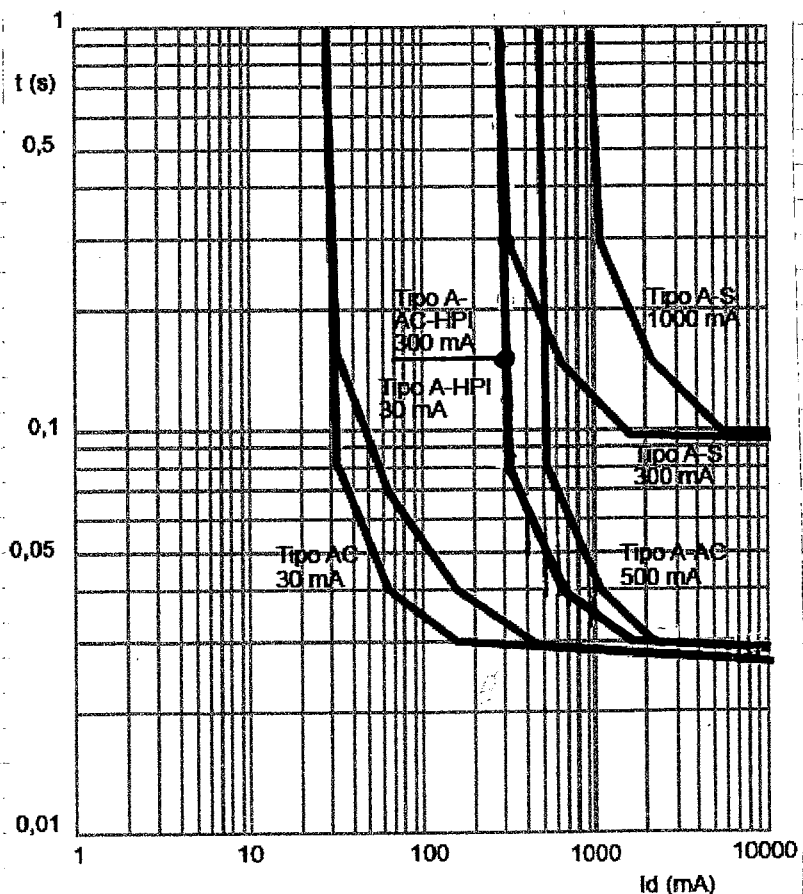


Fig. 20

Tab. 5

$I_{dn}$ (A)	0,005	0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1	3	5	10
$R_T$ ( $\Omega$ )	10 000	5000	1667	500	167	100	50	16,7	10	5

- Consideriamo, per esempio, un interruttore differenziale (di tipo generale (G) o di tipo selettivo (S)) con  $I_{dn} = 300$  mA. Le caratteristiche all'intervento sono prese dalla Fig. 20 e riportate in Fig. 21 insieme alle "caratteristiche di intervento limite" (v. Dispensa 3.3): a tratteggio quella di tipo G; a tratto e punto quella di tipo S.

- Assumendo  $R_N = 1 \Omega$ , dalla (12) si ottengono, per diversi valori di  $R_T$ , i valori di  $I_d = I_g$  e di  $V_{co}$  riportati nella Tabella 6.

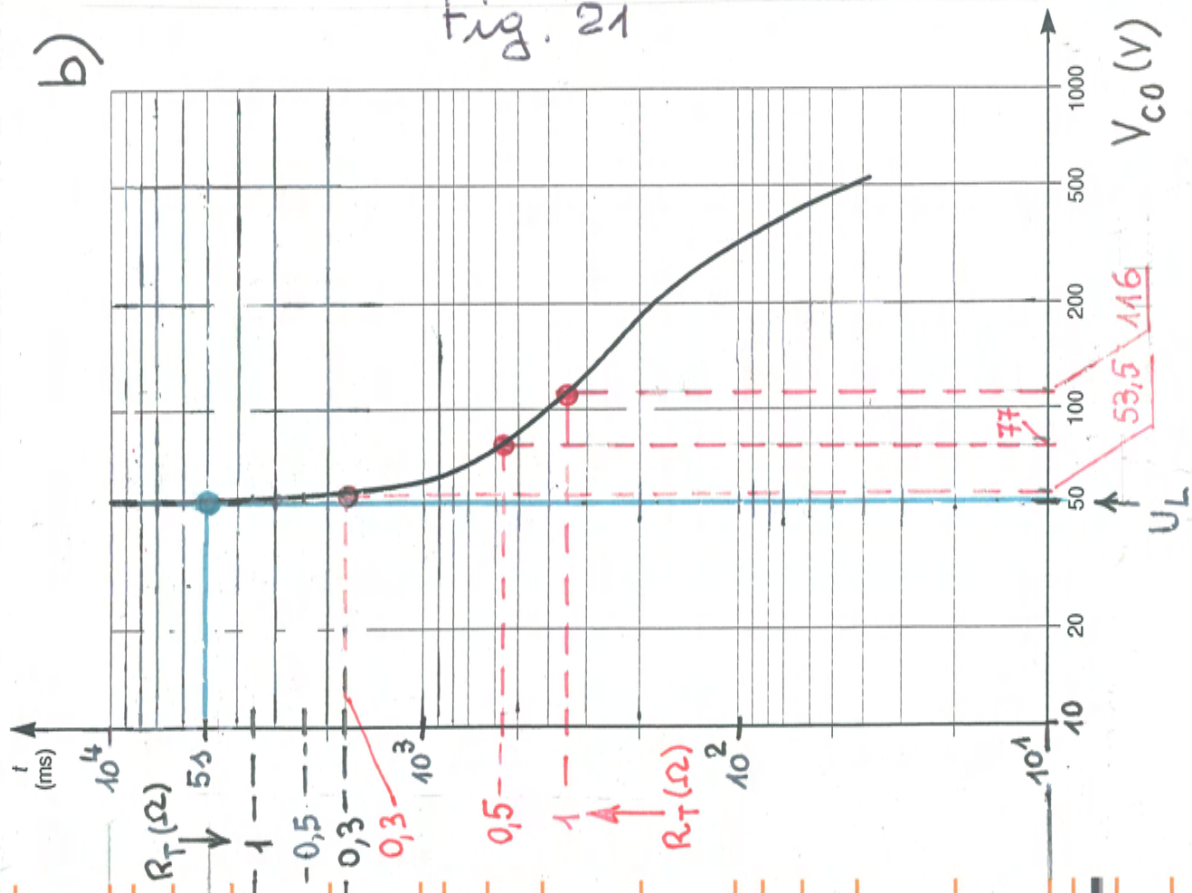
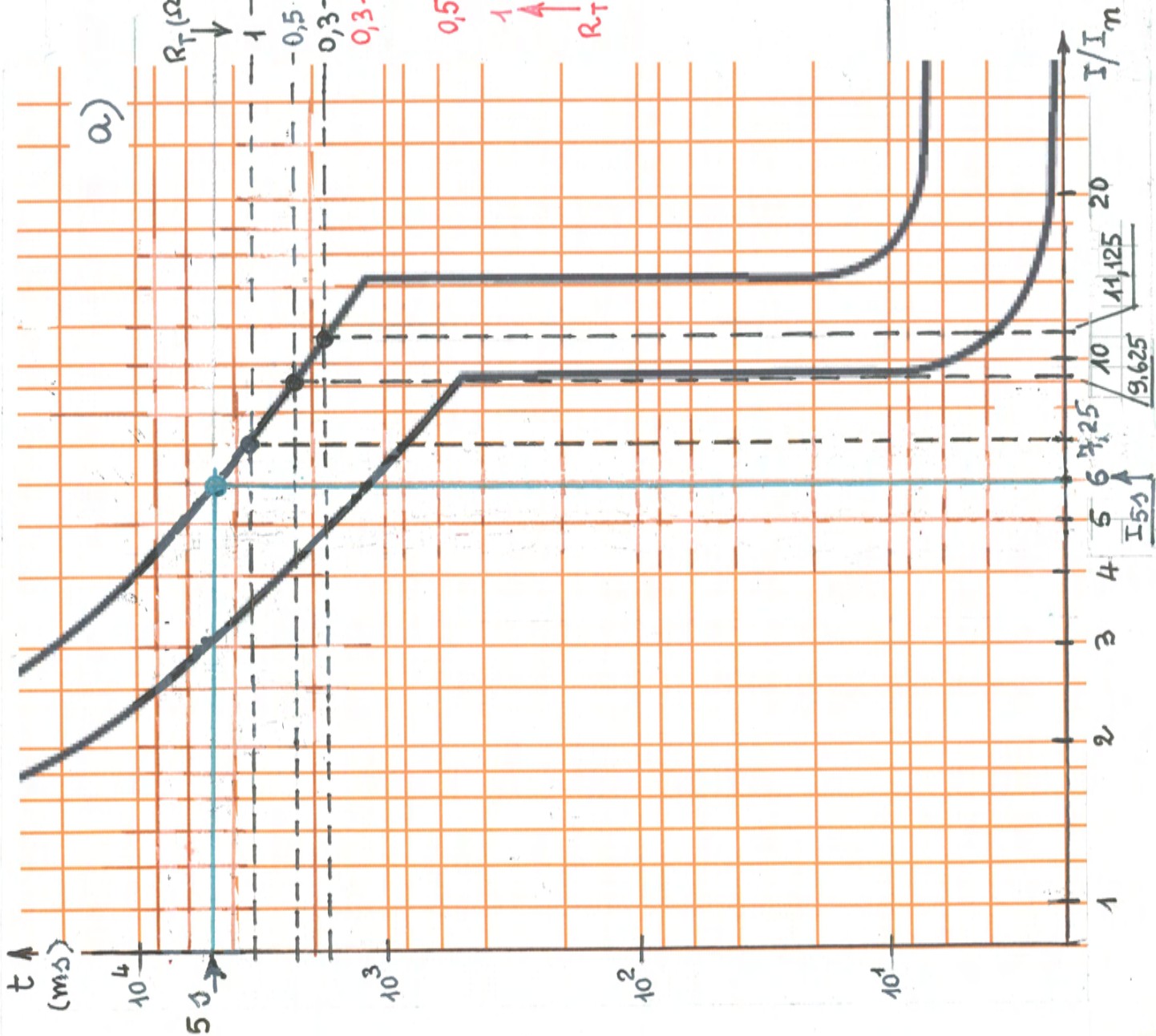
Tab. 6

$R_T$ ( $\Omega$ )	5	20	50	150	200
$I_d$ (A)	38,50	11,00	4,53	1,53	1,15
$V_{co}$ (V)	1925	219,9	226,4	229,4	230

- Consideriamo il caso  $R_T = 200 \Omega$  ( $>$  del valore limite di 167  $\Omega$  riportato in Tab. 5) e cui corrisponde una  $V_{co}$  pari a 230 V.
- Al valore  $V_{co} = 230$  V corrisponde, sulla curva di sicurezza tensione-tempo (per esempio nel caso di condizioni ordinarie), una durata ammissibile del contatto pari a circa 165 ms (v. Fig. 21b).

Il valore della corrispondente corrente differenziale, pari a 1150 mA, è riportato sulle ascisse delle caratteristiche di intervento. Come si può vedere dalla Fig. 21a, a tale

Fig. 21





valore di  $I_d$  corrispondente, per tutte le caratteristiche, tempi di intervento  $< 165$  ms; la protezione contro i contatti indiretti è così assicurata.

- La protezione è, a maggior ragione, assicurata se  $R_T \leq 16 \Omega$ .
- Si può ancora accertare, con il procedimento sopra descritto, che la protezione è assicurata anche per  $R_N = 0$  e per valori di  $R_N > 1 \Omega$ .
- Nei casi in cui si abbia  $I_d < 300$  mA l'interruttore differenziale può non intervenire<sup>(\*)</sup>, permanendo così la situazione di pericolo. Per esempio, per  $R_N + R_T = 780 \Omega$  si ha  $I_d \cong 296$  mA e  $V_{co} \cong 231$  V: l'interruttore differenziale non interviene mentre la  $V_{co}$  è sopportabile solo per circa 165 ms.
- Nell'esempio è stato considerato un interruttore differenziale a "bassa sensibilità" ( $I_{dn} > 30$  mA); considerando invece un interruttore ad "alta sensibilità", la protezione risulta assicurata anche per valori elevati di  $R_T$  come si può desumere dalle Tab. 5.

(\*) Non interviene sicuramente per  $I_d \leq 0,5 I_{dn}$

## 2.5 Situazioni particolari relative all'uso degli interruttori differenziali

### A) Impianto di terra comune a più derivazioni

- Consideriamo il caso, in pratica molto frequente negli impianti utilizzatori in bassa tensione, in cui le masse di apparecchi alimentati da diverse derivazioni sono collegate allo stesso impianto di terra. Per la protezione contro i contatti indiretti, ciascuna derivazione sia protetta da un proprio dispositivo (v. Fig. 22).
- Nel caso generale in cui i dispositivi abbiano correnti di intervento diverse, nella relazione di coordinamento (11):

$$R_T \leq \frac{U_L}{I_a}$$

Si deve porre  $I_a$  pari alla corrente di intervento più elevata.

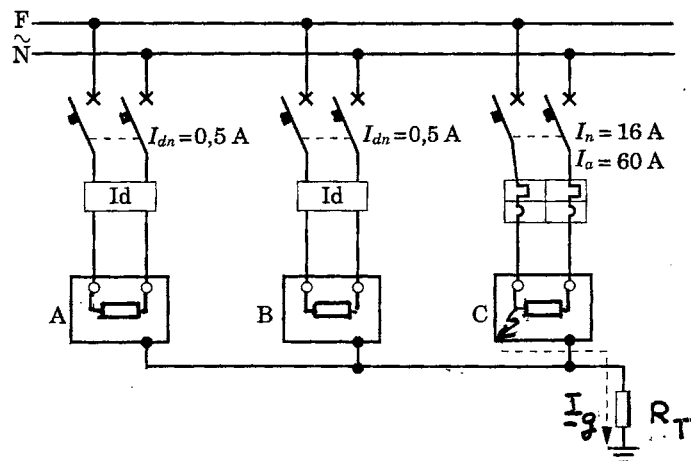


Fig. 22

- Nel caso esotante di Fig. 22 in cui la derivazione C è protetta con un interruttore automatico magneto-termico, il coordinamento andrà fatto per  $I_a = 60 \text{ A}$ , ottenendo per  $R_T$  (con  $U_L = 50 \text{ V}$ ) valori molto piccoli ( $R_T \leq 0,833 \Omega$ ) e quindi troppo onerosi da realizzare.

- Per conseguire la sicurezza sulle derivazioni A e B basterebbe invece che la  $R_T$  dell'impianto di terra non superasse il valore:

$$\frac{50}{0,5} = 100 \Omega$$

- In pratica è pertanto opportuno che tutte le derivazioni che utilizzano lo stesso impianto di terra siano protette con interruttori differenziali.

- E' inoltre opportuno tener presente quanto segue:

a) Quanto sopra detto vale per più derivazioni dello stesso impianto e anche per impianti distinti aventi in comune l'impianto di terra (per esempio, gli impianti delle diverse unità immobiliari di uno stesso edificio).

b) Se l'impianto di una unità immobiliare non è protetto con un interruttore differenziale, un guasto a terra in questa unità immobiliare può dar luogo a tensioni pericolose sulle masse di tutte le altre unità immobiliari, senza che i relativi interruttori differenziali siano chiamati ad intervenire.

c) La situazione di cui al punto b) si ha anche nel caso di mancato intervento di un interruttore differenziale (a causa di un guasto al suo interno).

## B) Corrente di dispersione verso terra

- Per corrente di dispersione verso terra si intende la corrente che fluisce verso terra in assenza di un guasto all'isolamento. Le correnti di dispersione sono dovute alle condutture verso terra dei cavi o all'esistenza di punti dell'impianto non esattamente isolati.

a) Come già detto al punto 8 della Dispensa 3.3, se le correnti di dispersione dei conduttori (di un circuito protetto con un interruttore differenziale) sono diverse tra loro, si può avere una corrente differenziale in grado di provocare "scatti intempestivi" (cioè in assenza di guasto a terra); tali eventi sono, evidentemente, più probabili nel caso in cui si tratti di interruttori differenziali ad alta sensibilità.

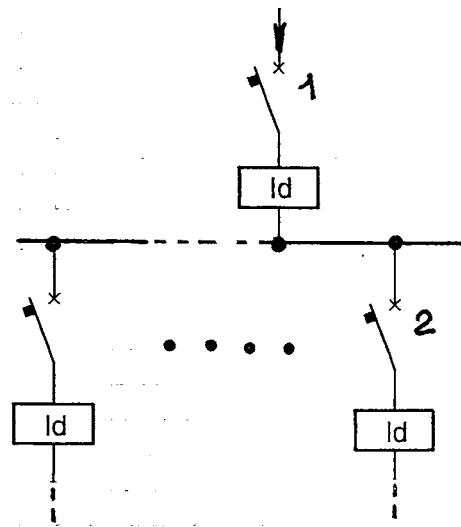
b) Nel caso di impianto di terra comune a più derivazioni si potrebbero avere, sulle singole derivazioni, correnti di dispersione inferiori alla soglia di intervento dei corrispondenti interruttori differenziali. La somma (in generale vettoriale) di tali correnti potrebbe però risultare  $>$  della  $I_a$  utilizzata per il coordinamento. In tal caso le misse potrebbero assumere valori di tensione pericolosi senza che i dispositivi di protezione siano in grado di intervenire.

- Per prevenirsi contro tale eventualità sarebbe sufficiente (anche se oneroso) dimensionare l'impianto di terra assumendo la  $I_a$  pari alla somma delle  $I_{dn}$  di tutti gli interruttori differenziali installati sulle derivazioni che fanno capo allo stesso impianto di terra.
- In sede normativa, comunque, le possibilità che l'evento sopra descritto possa verificarsi sono state ritenute trascurabili; si può pertanto ritenere sufficiente il coordinamento fatto in base alla (11), ove  $I_a$  sia pari alla corrente di intervento più elevata.

### C) Selettività

- Riprendendo il caso di più derivazioni ciascuna protetta con un interruttore differenziale si può senz'altro affermare che la "selettività orizzontale" è assicurata in quanto a seguito di un guasto a terra interviene solo il dispositivo posto a protezione della derivazione sede del guasto.
- Nel caso in cui la linea a monte che alimenta le derivazioni sia anch'essa protetta da un interruttore differenziale si presenta il problema di verificare se esiste la "selettività verticale" tra gli interruttori differenziali in cascata.
- Considerando la possibilità di ottenere la selettività verticale su "due livelli", si prende in considerazione lo schema di Fig. 23.

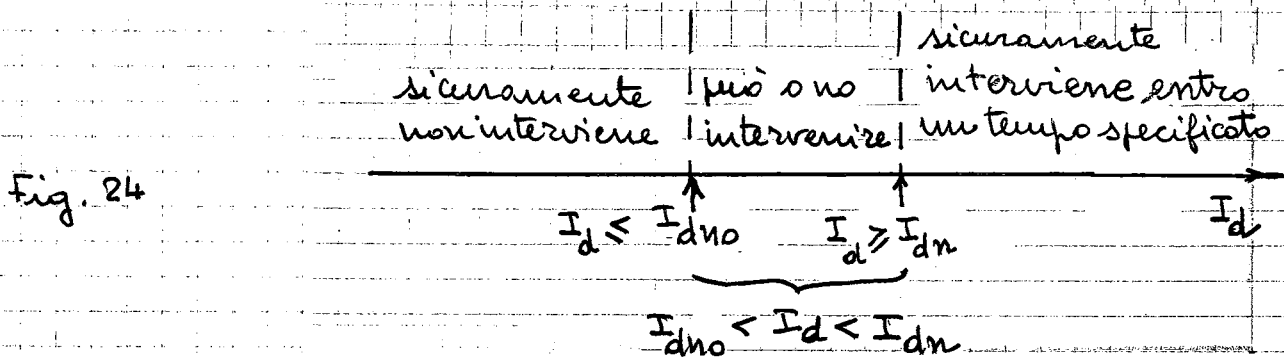
Fig. 23



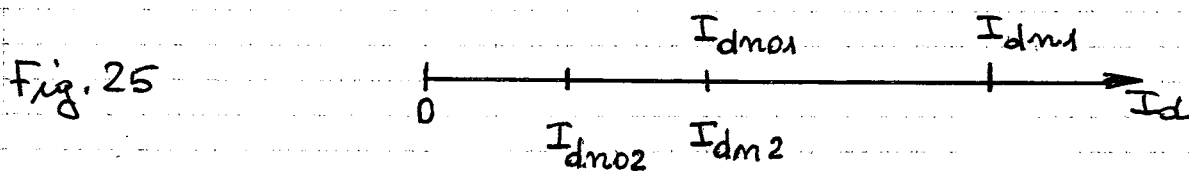
- Supponendo che il guasto a terra interessi l'apparecchio alimentato dalla derivazione protetta dall'interruttore 2, si vuole stabilire se è verificata la selettività verticale tra l'interruttore differenziale a valle 2 e quello a monte 1.
- Occorre tenere presenti le definizioni delle seguenti grandezze

Tipiche degli interruttori differenziali (v. Dispensa 3, punto 8):

- Corrente differenziale nominale d'intervento  $I_{dn}$
- corrente differenziale nominale di non intervento  $I_{dno}$
- Il significato di tali grandezze è descrivibile direttamente dalla seguente Fig. 24.



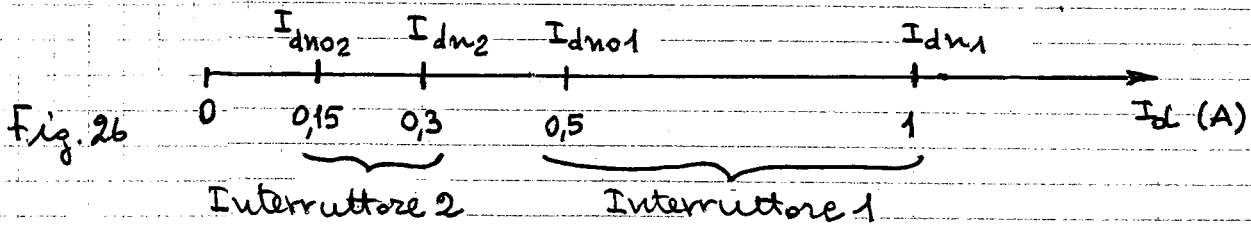
- Con riferimento al caso di Fig. 23, la situazione per quanto riguarda gli interruttori 1 e 2 si presenta come in Fig. 25 ove si è assunto  $I_{dn1} > I_{dn2}$  (e, come si ha normalmente,  $I_{dnoi} = 0,5 I_{dni}$ ). In particolare, nella Fig. 25 si è assunto  $I_{dn1} = 2 I_{dn2}$ .



- Tenendo presente la Fig. 24, dall'esame della Fig. 25 risulta che l'interruttore a monte 1 può intervenire, contemporaneamente all'interruttore a valle 2, se  $I_d > I_{dno1}$ ; la selettività verticale si ha quindi soltanto per  $I_d \leq I_{dn2}$ .
- Per aumentare la zona di selettività occorre assumere  $I_{dn1} > 2 I_{dn2}$  e quindi si generale dovrà essere:

$$\frac{(I_{dn})_{a\ monte}}{(I_{dn})_{a\ valle}} > 2 \quad (13)$$

- In Fig. 26 è rappresentato il caso in cui il rapporto (13) è pari a 1/0,3.



- Nel caso delle (13), la selettività verticale è assicurata fino al valore di  $I_d$  pari a  $I_{dno1} > I_{dn2}$ .
- Per avere alla selettività incerta o nulla per  $I_d > I_{dno1}$  si deve ritardare l'intervento dell'interruttore a monte.
- Si ottiene la selettività completa se il tempo massimo di interruzione dell'interruttore a valle è, per ogni valore di  $I_d$ , minore del tempo minimo di non funzionamento dell'interruttore a monte. Occorre pertanto confrontare le caratteristiche che riportano, in funzione di  $I_d$ , i tempi sopracitati che sono individuati dalle seguenti definizioni:

- tempo di interruzione: intervallo di tempo che intercorre tra l'istante in cui la corrente differenziale è applicata e l'istante in cui l'arco elettrico si estingue su tutti i poli dell'interruttore differenziale.
- tempo di non funzionamento: intervallo di tempo durante il quale una corrente differenziale  $I_d > I_{dn}$  può permanere senza che l'interruttore differenziale inizi la manovra di apertura.

• Il confronto è mostrato in Fig. 27.

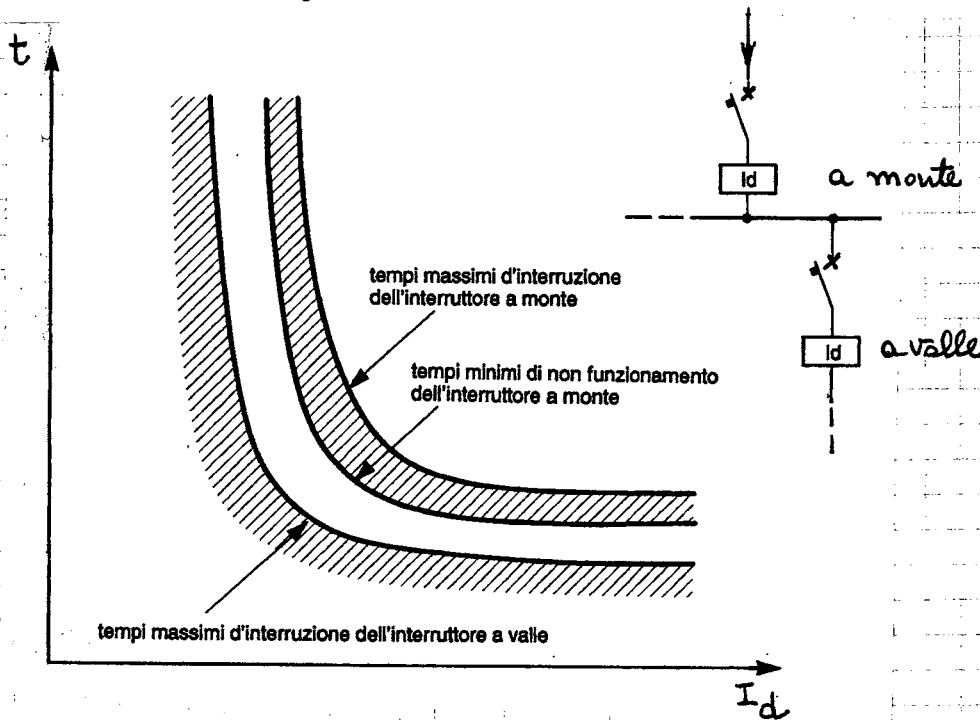


Fig. 27

• Considerando il caso degli "interuttori differenziali" per uso domestico e similare si distinguono, come è noto, il tipo G (generale) e il tipo S (selettivo). Per essi, i tempi massimi di interruzione e, per il tipo S, i tempi minimi di non funzionamento, sono riportati in Tabella 7.

Tipo di interruttore differenziale		Corrente differenziale			
		$I_{dn}$	$2 I_{dn}$	$5 I_{dn}$	500 A
Tipo generale	tempo massimo di interruzione	0,3 s	0,15 s	0,04 s	0,04 s
Tipo S	tempo massimo di interruzione	0,5 s	0,2 s	0,15 s	0,15 s
	tempo minimo di non funzionamento	0,13 s	0,06 s	0,05 s	0,04 s

Tab. 7

• Le caratteristiche d'intervento che si ottengono dalle Tab. 7 sono "caratteristiche limite"; le caratteristiche di intervento effettive dovranno posizionarsi entro le regioni tratteggiate mostrate in Fig. 28.



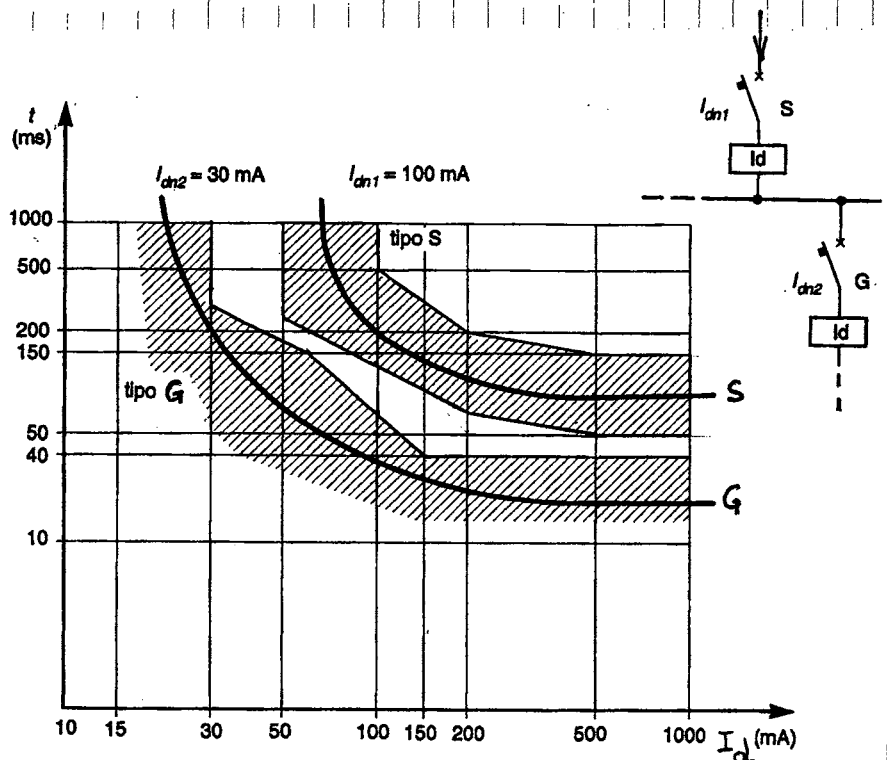


Fig. 28

- Si precisa che gli interruttori differenziali di tipo S hanno una  $I_{dn} > 30 \text{ mA}$  e una  $I_n > 25 \text{ A}$ ; essi sono previsti per garantire la selettività con un interruttore a valle di tipo G se:

$$\frac{(I_{dn})_{\text{a monte}}}{(I_{dn})_{\text{a valle}}} \geq 3$$

- Volendo conseguire la selettività totale su 3 (o più livelli) occorre utilizzare interruttori differenziali (di potenza) "regolabili" che consentono la scelta del tempo d'intervento tra diversi valori prefissati. La Norma CEI 64-8 ammette un ritardo nell'intervento delle protezioni fino a 1 secondo sui circuiti di distribuzione.

- In Fig. 29 è mostrata una disposizione in cui si hanno tre livelli di selettività.

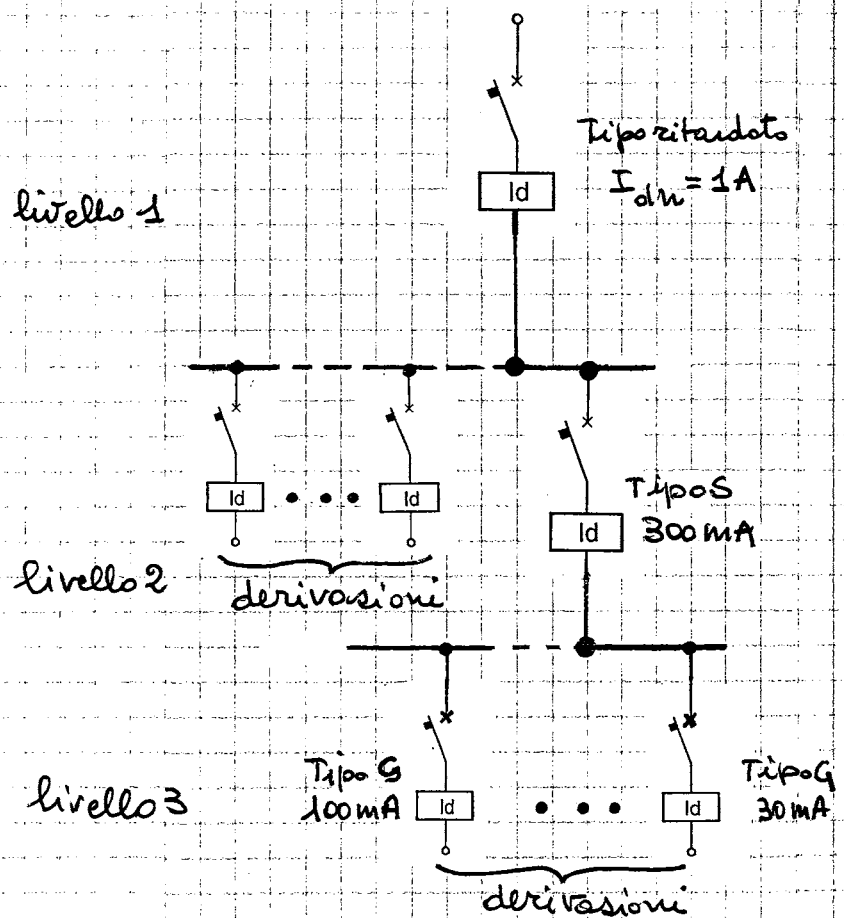


Fig. 29

- L'insieme dei dispositivi situati a valle (livello 3) è costituito da interruttori differenziali di tipo G; la  $(I_{dn})_{max}$  di tale insieme sia pari, ad esempio, a  $100mA$ .
- Il dispositivo in cascata al livello 2 sia di tipo S con  $I_{dn} = 300mA$ ; secondo la Norma 64-8 la selettività tra il livello 3 e il livello 2 può considerarsi ottenuta in quanto  $\frac{300}{100} = 3$ .
- Il dispositivo al livello 1 è di tipo ritardato (con ritardo fino a  $1s$ ) ed ha, per esempio, una  $I_{dn} = 1A$ . In questo modo la selettività sui tre livelli dovrebbe essere verificata.
- Si fa notare che i dispositivi posti sulle derivazioni al livello 2 possono essere di tipo G con una  $(I_{dn})_{max} < 500mA$  affinché

si possa conseguire la selettività tra i dispositivi del livello 2 e quello del livello 1.

- Per quanto riguarda il coordinamento con l'impianto di terra, è ovvio che esso deve essere fatto utilizzando la  $I_{dn}$  più elevata e quindi quella del dispositivo al livello 1.
- Per quanto riguarda il soddisfacimento delle curve di sicurezza tensione-corrente in caso di guasto a terra, questo si ottiene senz'altro nel caso di intervento di un interruttore di tipo G; anche l'interruttore di tipo S dovrebbe permettere di soddisfare la curva di sicurezza, ciò che invece generalmente non si ottiene con un dispositivo ad intervento ritardato.
- Con il ritardo massimo pari a 1 s ammesso dalla Norma (CEI 64-8), la curva di sicurezza non è pienamente rispettata; si ritiene che si tratti di un rischio accettabile in quanto un guasto a terra tra il livello 1 e il livello 2 dovrebbe essere poco probabile.

#### D) Esempio

- Con riferimento alla Fig. 30, supponiamo che il guasto a terra interessi la derivazione protetta dal dispositivo A.

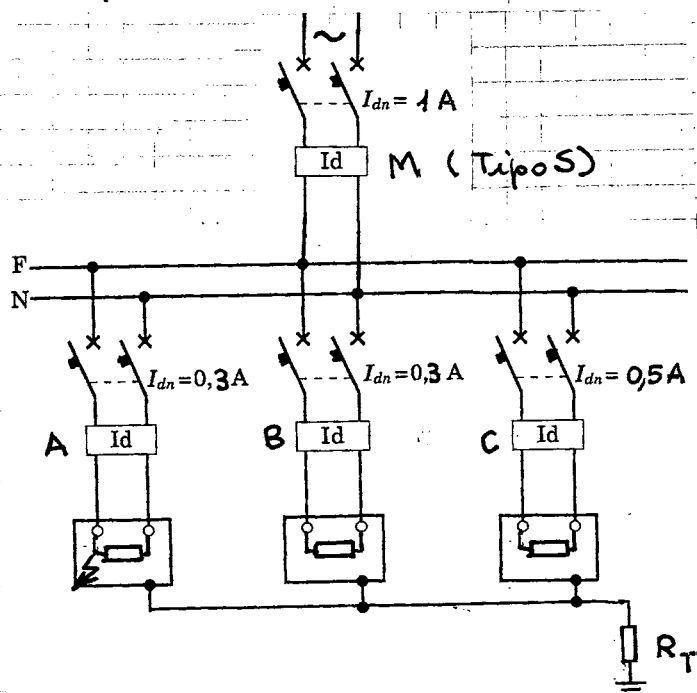


Fig. 30

- d'impedimento di terra sono dimensionato per ottenere una  $R_T \leq 50 \Omega$ . La situazione è quella rappresentata in Fig. 26, per cui la selettività verticale è senz'altro verificata se  $I_d \leq 0,5 A$ .
- In Fig. 31 è mostrato il confronto tra la caratteristica del tempo massimo di interruzione del dispositivo A (di tipo G con  $I_{du} = 0,3 A$ ) e quella del tempo minimo di non funzionamento dell'interruttore M (di tipo S con  $I_{du} = 1 A$ ).
- Il confronto tra le caratteristiche limite mostra che la selettività verticale è assicurata (e maggior ragione, c. Fig. 28, se le caratteristiche sono quelle effettive) per tutti i valori di  $I_d$ .
- Se invece il guasto a terra avviene sulle derivazione C (protetta con dispositivo di tipo G con  $I_{du} = 0,5 A$ ) si ha la situazione mostrata in Fig. 32. È evidente che in questo caso la selettività verticale non è verificata; l'interruttore a monte M può intervenire contemporaneamente al dispositivo C o anche in tempi minori. Le considerazioni fatte dovrebbero riviste considerando le caratteristiche di intervento effettive.

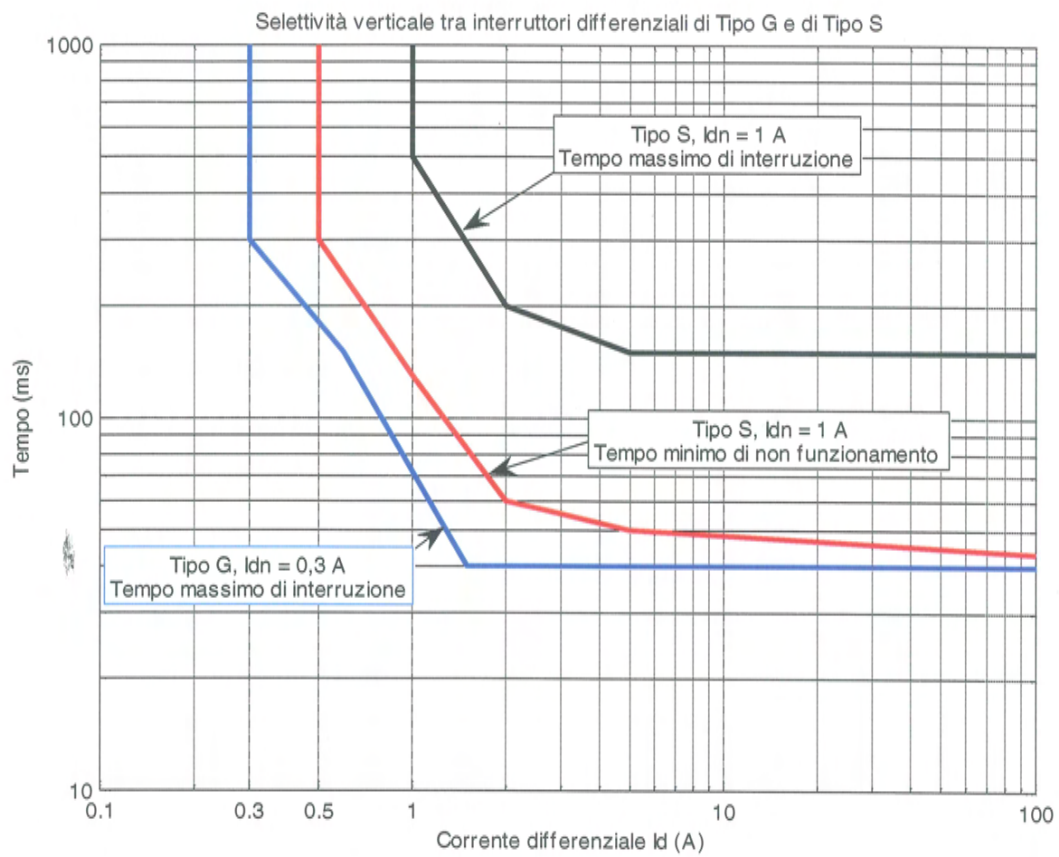


Fig. 31

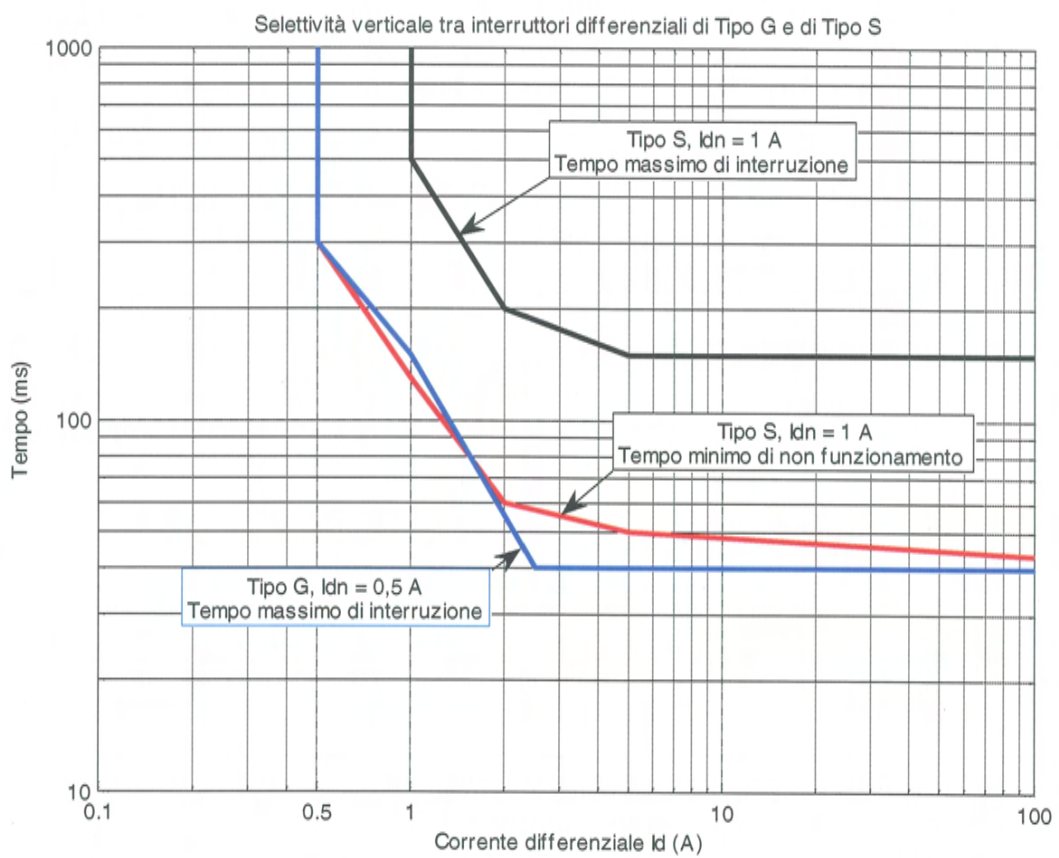


Fig. 32