

6. Misure di protezione contro i contatti diretti

6.1 Protezione totale

☐ **Isolamento**

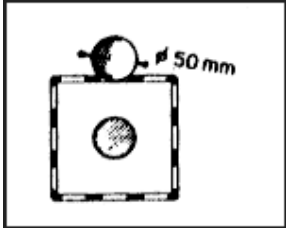
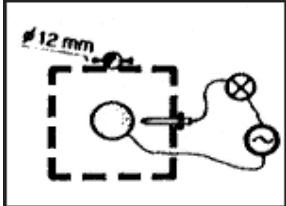
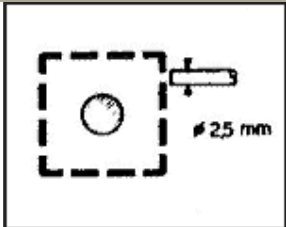
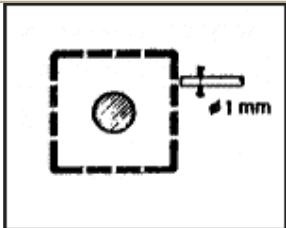
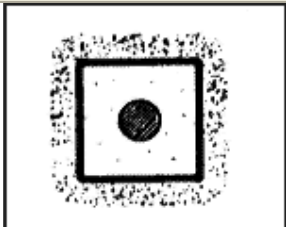
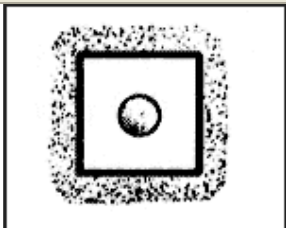
Le misure di protezione totali consistono nell'isolamento delle parti attive e nell'uso di involucri o barriere. Le parti attive devono essere ricoperte completamente da uno strato di isolante avente spessore adeguato alla tensione nominale verso terra del sistema elettrico ed essere resistenti agli sforzi meccanici, elettrici, termici e alle alterazioni chimiche cui può essere sottoposto durante il funzionamento. Se si considera per esempio un cavo elettrico, per renderlo resistente alle normali sollecitazioni meccaniche occorre adottare un'appropriata modalità di posa (Cavo armato o concentrico, tubi protettivi, passerelle, cunicoli, interrati ad almeno 0,5 m, segnalati e protetti con mattoni, tegole ecc.). Vernici, lacche, smalti e prodotti simili non sono considerati idonei a garantire una adeguata protezione contro i contatti diretti.

☐ **Involucri e barriere**

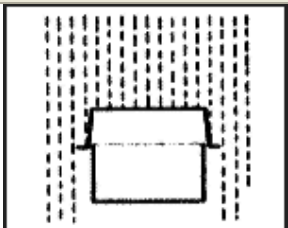
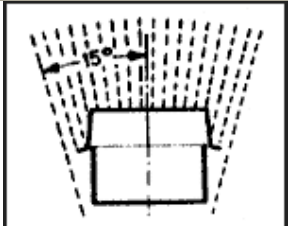
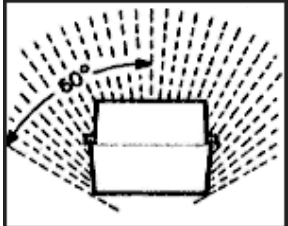
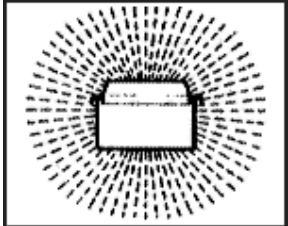
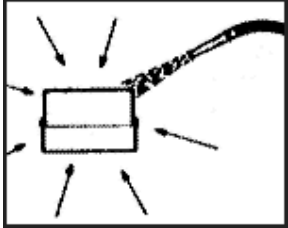
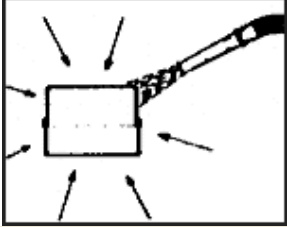
L'involucro garantisce la protezione dai contatti diretti quando esistono parti attive (ad es. morsetti elettrici) che devono essere accessibili e quindi non possono essere completamente isolate. La barriera è un elemento che impedisce il contatto diretto nella direzione normale di accesso. Questi sistemi di protezione assicurano un certo grado di protezione contro la penetrazione di solidi e di liquidi. Le barriere e gli involucri devono essere saldamente fissati, rimovibili solo con attrezzi, apribili da personale addestrato oppure solo se l'accesso alle parti attive è possibile dopo avere aperto il dispositivo di sezionamento con interblocco meccanico o elettrico. In ogni caso il personale addestrato deve di regola sezionare il circuito prima di operare su parti attive o nelle loro vicinanze. In alcuni casi di comprovata necessità e solo con l'approvazione del diretto superiore e dopo aver preso le necessarie misure di sicurezza, è ammesso lavorare su parti in tensione non superiore a 1000 V. L'interruttore differenziale con corrente nominale d'intervento non superiore a 30mA è riconosciuto come protezione aggiuntiva (non è riconosciuto come unico mezzo di protezione) contro i contatti diretti in caso di insuccesso delle altre misure di protezione o di incuria da parte degli utenti.

6.2 Gradi di protezione

Per identificare il grado di protezione, convenzionalmente in sede IEC si è adottato un codice composto dalle lettere IP seguite da due cifre ed eventualmente da un terza lettera addizionale (tab. 6.1.1- a e 6.1.1 - b: la prima cifra indica il grado di protezione contro i corpi estranei e contro i contatti diretti, la seconda contro la penetrazione di liquidi mentre la lettera addizionale (deve essere usata solo se la protezione contro l'accesso è superiore a quella definita con la prima cifra caratteristica) ha lo scopo di designare il livello di inaccessibilità dell'involucro alle dita o alla mano, oppure ad oggetti impugnati da una persona. Deve essere assicurato almeno il grado di protezione IPXXB (si possono avere aperture più grandi per permettere la sostituzione di parti, come ad esempio alcuni porta lampade e fusibili, purché in accordo con le relative norme) e il grado di protezione IPXXD per le superfici orizzontali delle barriere o degli involucri che sono a portata di mano (a portata di mano sono da intendere le pari conduttrici poste nel volume che si estende attorno al piano di calpestio, normalmente occupato o percorso da persone, delimitato dalla superficie che una persona può raggiungere con la mano estendendo completamente il braccio senza l'uso di mezzi ausiliari). Nelle tabelle in figura sono riassunti i gradi di protezione contro i corpi estranei e contro i liquidi stabiliti dalle Norme.

<i>Grado di protezione contro corpi estranei</i>	<i>Disegno schematico della prova</i>	<i>Prova di validazione della protezione</i>
1		Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 50mm e contro l'accesso a parti pericolose col dorso della mano. Una sfera di $\varnothing 50$ mm non deve poter passare attraverso l'involucro e/o entrare in contatto con parti attive o in movimento.
2		Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 12 mm e contro l'accesso a parti pericolose con un dito. Il cosiddetto dito di prova non deve entrare in contatto con parti attive o in movimento. Inoltre una sfera di $\varnothing 12$ mm non deve poter passare attraverso l'involucro.
3		Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 2,5mm e contro l'accesso a parti pericolose con un attrezzo (ad es. cacciavite). Un filo di $\varnothing 2,5$ mm non deve poter passare attraverso l'involucro.
4		Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 1,0mm. Un filo di $\varnothing 1,0$ mm non deve poter passare attraverso l'involucro.
5		Con l'apparecchiatura in una camera a polvere di talco in sospensione, si deve verificare che la quantità di polvere che entra nell'apparecchiatura stessa non superi un certo quantitativo.
6		Con l'apparecchiatura in una camera a polvere di talco in sospensione, si deve verificare che la quantità di polvere che entra nell'apparecchiatura stessa sia nulla.

Tab. 6.1-a - Grado di protezione contro corpi estranei

<i>Grado di protezione contro i liquidi</i>	<i>Disegno schematico della prova</i>	<i>Prova di validazione della protezione</i>
1		L'apparecchiatura deve essere protetta contro la caduta di gocce in verticale.
2		L'apparecchiatura deve essere protetta contro la caduta di gocce con una angolazione massima di 15 gradi.
3		L'apparecchiatura deve essere protetta contro la pioggia.
4		L'apparecchiatura deve essere protetta contro gli spruzzi.
5		L'apparecchiatura deve essere protetta contro i getti d'acqua.
6		L'apparecchiatura deve essere protetta contro le ondate.

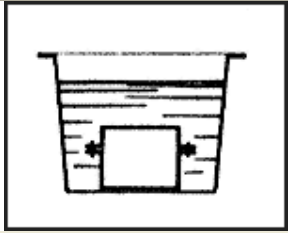
7		L'apparecchiatura deve essere protetta contro l'immersione.
8		L'apparecchiatura deve essere protetta contro l'immersione a tempo indefinito e a profondità specificata.

Tabella 6.1-b - Grado di protezione contro i liquidi

6.3 Protezione parziale

Le misure di protezione parziale si ottengono mediante ostacoli e mediante allontanamento. Hanno il compito di proteggere dai contatti accidentali e di realizzare l'allontanamento di parti a tensione diversa simultaneamente accessibili (Le norme CEI 64/8 considerano parti simultaneamente accessibili quelle che si trovano a distanza inferiore a 2,5 m sia in verticale che in orizzontale e che quindi non possono convenzionalmente essere toccate contemporaneamente da una persona) ma non hanno efficacia verso i contatti intenzionali. Sono destinate solo alla protezione di personale addestrato e vengono applicate nelle officine elettriche. Non devono poter essere rimosse accidentalmente, ma la rimozione intenzionale deve poter avvenire senza chiave o attrezzo.

6.4 Classificazione dei componenti e degli apparecchi elettrici

In relazione al sistema di protezione adottato contro i contatti indiretti i componenti elettrici si suddividono nelle seguenti Classi :

- **Componenti di Classe 0** - sono dotati soltanto di isolamento principale e l'involucro metallico è sprovvisto di morsetto per il collegamento di messa a terra. Devono essere allacciati solo a sistemi di Categoria 0 o a sistemi di categoria I isolati da terra (separazione elettrica) o installati in locali isolanti e non possono essere installati negli impianti per edifici civili o similari;
- **Componenti di classe I** - sono provvisti di isolamento principale e gli involucri sono muniti di morsetto per la messa a terra. Sono utilizzabili in tutti i sistemi (TN,TT,IT) di categoria 0 e I ;
- **Componenti di Classe II** - sono provvisti di isolamento supplementare e sono privi di morsetto di messa a terra. La messa a terra non è necessaria (potrebbe addirittura essere controproducente per la sicurezza) in quanto gli eventuali involucri metallici esterni sono separati dalle parti attive interne da un isolamento doppio o rinforzato. Vengono impiegati, solo nei sistemi elettrici di I categoria, in alternativa a quelli di classe I quando non sia possibile attuare il collegamento a terra delle masse o quando si ritenga poco sicuro tale collegamento;
- **Componenti di classe III** - le parti in tensione possono essere scoperte poiché la protezione contro i contatti indiretti è assicurata dal tipo di alimentazione a bassissima tensione di sicurezza. Non sono dotati di morsetto per la messa a terra.

In relazione al loro grado di mobilità gli apparecchi si classificano in :

- **Apparecchio fisso** - apparecchio ancorato o fissato ad un supporto o comunque fissato, anche in altro modo, in un posto preciso, oppure apparecchio che non può essere facilmente spostato;
- **Apparecchio trasportabile** - apparecchio che, pur potendo essere spostato con facilità, non viene normalmente spostato durante il suo funzionamento ordinario ;
- **Apparecchio mobile** - apparecchio trasportabile che deve essere spostato manualmente da chi lo utilizza mentre è collegato al circuito di alimentazione ;

- **Apparecchio portatile** - apparecchio mobile destinato ad essere sorretto dalla mano di chi lo utilizza durante il suo impiego normale, nel quale il motore, se esiste, è parte integrante.

6.5 Protezioni passive

Metodi per rendere impossibile il manifestarsi di tensioni di contatto pericolose:

- Impiego di apparecchi con isolamento doppio o rinforzato - Apparecchi di classe II (Non hanno masse, sono provvisti di isolamento speciale, sono privi del morsetto di terra e sono adatti per proteggere piccoli apparecchi portatili o per apparecchi fissi da installare in impianti senza impianto di terra) ;
- Protezione per isolamento elettrico - Apparecchi di classe III. Si realizza mediante l'impiego di opportuni trasformatori di isolamento o alimentando i circuiti con sorgenti autonome di energia aventi caratteristiche d'isolamento uguali a quelle indicate dalle norme per i trasformatori d'isolamento (CEI 96-2) (Le parti in tensione possono essere scoperte. Non è presente il morsetto di terra) ;
- Locali isolanti con l'impiego di apparecchi di classe 0 (Provvisti solo di isolamento principale necessario per assicurare il normale funzionamento. L'involucro metallico non possiede il morsetto di terra. E' vietata l'installazione negli impianti in edifici civili e similari). Tale protezione consiste nel realizzare locali in cui il pavimento e le pareti presentino una resistenza verso terra di 50000Ω per tensioni fino a 500V e 100000Ω per tensioni superiori a 500V. Non possono essere utilizzati negli edifici civili, non possono essere installate prese a spina e il conduttore di protezione PE. I locali devono essere mantenuti costantemente sotto controllo da personale specializzato onde evitare che vengano introdotte masse estranee o che vengano collegate a terra le apparecchiature. Gli ingressi devono essere costruiti in modo tale che l'accesso ai locali delle persone avvenga senza che le stesse siano sottoposte a potenziali pericolosi; per questo scopo si possono usare pedane o scarpe isolanti. Tutte le masse estranee entranti nel locale devono essere interrotte con una o più giunzioni isolanti tali da impedire l'introduzione di potenziali pericolosi nel locale isolato. Gli apparecchi e gli elementi fissi devono avere tra di loro una distanza minima di due metri se a portata di mano e di 1,25 metri se non a portata di mano ;
- Locali resi equipotenziali e non connessi a terra.

6.6 Protezioni attive

Le misure di protezione indicate nel paragrafo precedente sono finalizzate ad evitare il contatto diretto. Può tuttavia avvenire un contatto diretto a causa del cedimento della protezione passiva o più semplicemente per imprudenza da parte dell'utente. Per proteggere le persone da tale eventualità può essere impiegato, come metodo addizionale, il sistema di interruzione automatica che non esime, però, dall'applicazione delle misure di protezione fin qui descritte. Non essendo la corrente che attraversa il corpo umano in grado di far intervenire i dispositivi di massima corrente, l'unico dispositivo in grado di aprire il circuito in casi del genere è l'interruttore ad alta sensibilità (I_{dn} non superiore a 30 mA).

6.7 L'interruttore differenziale come protezione addizionale contro i contatti diretti

La corrente I_{dn} di 30 mA dell'interruttore differenziale ad alta sensibilità, non corrisponde esattamente a quella che il corpo umano può sopportare per un tempo imprecisato, ma è frutto di un compromesso tra le esigenze di sicurezza per le persone e la continuità di servizio dell'impianto. L'interruttore differenziale non limita il valore della corrente ma solamente il tempo in cui questa corrente permane e la sicurezza della persona è assicurata solo se, per ogni valore di corrente, il circuito viene aperto in un tempo compatibile con la protezione del corpo umano. In caso di contatto diretto l'interruttore differenziale da 30mA, a parità di corrente, interviene in un tempo inferiore rispetto a quello ammesso per la protezione contro i contatti indiretti. Occorre però sottolineare che nei contatti indiretti si ha un vantaggio : normalmente la persona, nel momento in cui si verifica il guasto, non è a contatto con la massa e la corrente si chiude a terra tramite il conduttore di protezione determinando l'intervento dell'interruttore differenziale, senza che la persona sia percorsa da nessuna corrente. Questo non può accadere nei contatti diretti in quanto il dispositivo differenziale è attivato dalla stessa corrente che attraversa la persona, il che non ci permette di escludere che nell'infortunato non possano insorgere fenomeni di fibrillazione ventricolare. Oltre ai limiti fin' ora descritti la protezione differenziale contro i contatti diretti presenta le seguenti limitazioni (l'argomento verrà ripreso in un successivo capitolo):

□ *Contatto fra due parti attive del sistema* - se la persona è isolata da terra il dispositivo differenziale sicuramente non interviene mentre se la persona non è isolata da terra il differenziale può anche intervenire. Se il contatto non è simultaneo, ma prima viene toccata la fase, il dispositivo può intervenire se la corrente verso terra è maggiore di I_{dn} e se il tempo di contatto sulla sola fase permane per il tempo minimo di non funzionamento del dispositivo. Un caso particolare si ha quando il neutro presenta un guasto a terra a valle dell'interruttore differenziale. Se il neutro è a potenziale prossimo a zero il guasto può permanere per un tempo non definito. Il contatto simultaneo da parte di una persona di una fase e della massa è riconducibile ad un guasto bipolare e il dispositivo differenziale non interviene. Il sistema di distribuzione potrebbe non essere perfettamente equilibrato ed il neutro potrebbe assumere un potenziale diverso da zero dovuto alla corrente di squilibrio che lo percorre. L'interruttore differenziale potrebbe intervenire, dipendendo questo dal valore del potenziale assunto dal conduttore di neutro e dal valore della resistenza di terra delle masse. E' sufficiente una differenza di potenziale di 3V e una resistenza di terra di 100 Ω per far fluire verso terra la corrente di 30mA che è in grado di far intervenire l'interruttore differenziale ad alta sensibilità da 30mA (potrebbe essere un buon motivo per abbassare il noto valore della R_T di 1666 Ω da associare all'interruttore differenziale da 30mA).

□ *Correnti di dispersione* - la presenza di correnti di dispersione può diminuire la protezione offerta dall'interruttore differenziale. Come esempio consideriamo un sistema trifase in cui la risultante della somma delle correnti di dispersione su due fasi potrebbe non far intervenire l'interruttore differenziale. Siano la corrente I_{d1} e la corrente I_{d2} uguali a 20mA. La somma vettoriale risulta ancora uguale a 20mA senza che l'interruttore differenziale riesca ad intervenire. Il contatto con la terza fase di una persona che derivi una corrente di 30mA non provoca l'intervento del dispositivo. L'interruttore differenziale, infatti, rileva solo la risultante di 10 mA e quindi non apre il circuito.

□ *componenti continue verso terra* - in presenza di componenti continue verso terra il dispositivo differenziale potrebbe non essere in grado di aprire il circuito. Per questo motivo occorre scegliere l'interruttore differenziale adatto al tipo di corrente di guasto verso terra. In commercio esistono tre tipi di interruttori differenziali denominati AC, A, B differenziale (per una descrizione più dettagliata si rimanda al fascicolo 'Dispositivi di manovra e protezione').

6.8 Protezione per limitazione della corrente

Alcune apparecchiature speciali (antenne televisive, recinzioni elettriche, apparecchi elettromedicali, interruttore di prossimità ecc..) hanno parti metalliche accessibili collegate a circuiti attivi tramite un'impedenza di valore elevato. Per garantire dal pericolo dell'elettrocuzione il costruttore deve fare in modo che la corrente che può attraversare il corpo di una persona durante il servizio ordinario non sia superiore a 1mA in corrente alternata o a 3mA in corrente continua. Le parti metalliche che non devono essere toccate durante il servizio ordinario devono presentare una tensione di contatto che non deve dar origine, attraverso il corpo della persona, a correnti non superiori a 3,5 mA in corrente alternata e a 10 mA in corrente continua.

6.9 Protezione per limitazione della carica elettrica

I condensatori devono essere protetti contro il contatto diretto quando viene superato un determinato valore di capacità per evitare che un'eventuale corrente di scarica, anche se impulsiva, possa provocare effetti pericolosi sulle persone. Per le parti che devono essere toccate il limite di carica elettrica stabilito dalle Norme è di 0,5 μ C mentre per le altre parti è di 50 μ C. I valori massimi di capacità in rapporto al valore efficace della tensione di carica del condensatore sono : 0,16 μ F a 230 V, 0,09 a 400V, 0,07 μ F a 500V, 0,03 μ F a 1000V. Al di fuori di questi valori è necessario dotare i condensatori di una resistenza di scarica in parallelo che riduca in meno di 5s la tensione ai loro capi ad un valore inferiore a 60V c.c. oppure devono essere protetti contro il contatto accidentale con un grado di protezione minimo di IP2X.

Protezione attiva dai contatti indiretti in relazione al sistema di distribuzione

7.1 Sistemi TT

7.1.1 Circuito equivalente

La tensione di contatto a vuoto U_{C0} diventa uguale alla tensione totale U_T se la persona, sufficientemente lontana dal dispersore, si trova ad un potenziale prossimo allo zero. Essendo questa la condizione più pericolosa che si può verificare, per studiare il problema si può assumere, a favore della sicurezza, la tensione U_T .

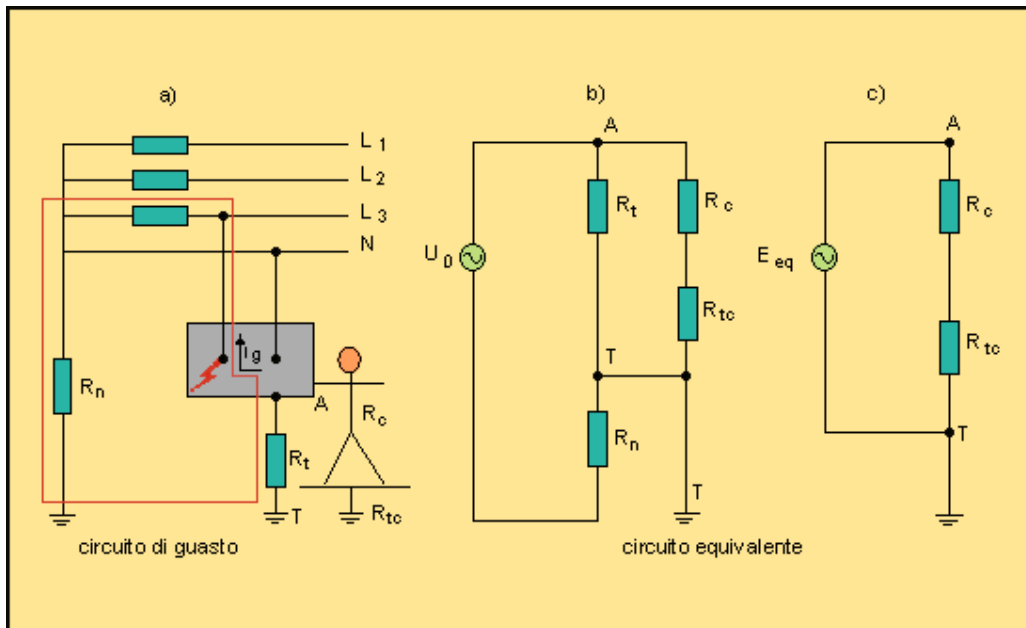


Fig. 7.1 - a) Circuito di guasto a terra in un sistema TT b) Circuito elettrico equivalente c) Il circuito di guasto si comporta come un generatore di tensione E_{eq} , essendo R_{eq} trascurabile rispetto a $R_c + R_{tc}$.

La resistenza del conduttore di fase e le impedenze del trasformatore (dell'ordine della decina di ohm) sono trascurabili rispetto alle altre resistenze del circuito di guasto e, applicando il teorema di Thévenin-Norton (1) tra i punti A e T (fig. 7.1), si può ricondurre il circuito di guasto ad un generatore ideale di tensione di f.e.m. (E_{eq}) avente in serie la sola R_{eq} :

$$E_{eq} = R_t \times I_g ; U_0 = (R_t + R_n) \times I_g ; I_g = \frac{E_{eq}}{R_t} = \frac{U_0}{R_t + R_n} ;$$

$$E_{eq} = \frac{U_0 \times R_t}{R_t + R_n} \quad (7.1)$$

Sempre tra i punti A e T col generatore U_0 cortocircuitato si ottiene:

$$R_{eq} = \frac{R_t \times R_n}{R_t + R_n} \quad (7.2)$$

La R_{eq} è trascurabile (dell'ordine degli Ohm) rispetto alla resistenza di carico $R_c + R_{tc}$ (dell'ordine delle migliaia di Ohm) ed inoltre questa approssimazione è senz'altro a favore della sicurezza. Il contatto di una persona ($R_c + R_{tc}$) non modifica

in modo sensibile la tensione preesistente. Per assicurare la sicurezza delle persone occorre contenere la tensione sulla massa entro il limite di sicurezza U_L , dovrebbe perciò essere verificata la condizione:

$$E_{eq} = \frac{U_0 \times R_t}{R_t + R_n} \leq U_L \quad (7.3)$$

da cui:

$$R_t \leq \frac{U_L \times R_n}{U_0 - U_L} \quad (7.4)$$

La resistenza R_n del neutro è in genere piuttosto bassa e in un sistema trifase 380/220 V con una U_L uguale a 50V la R_t dovrebbe essere inferiore a circa 0,3 Ohm :

$$R_t = \frac{U_L \times R_n}{U_0 - U_L} = \frac{50 \times 1}{220 - 50} = 0,29 \Omega$$

(1) - Data una rete comunque complessa, formata da generatori elettrici e da elementi passivi tutti lineari, ai fini della corrente che circola in un qualsiasi suo tronco (ad esempio $R_c + R_{ic}$) o della tensione ai suoi capi (punti A e T), è sempre possibile, per il principio di Thévenin-Norton, schematizzare la restante rete, di cui il tronco considerato fa parte, con un solo generatore ideale di tensione, la cui forza elettro motrice indicheremo con E_{eq} (rappresenta la d.d.p. che esiste fra i punti della rete tra i quali vi è il tronco considerato, quando però questo è stato tolto dalla rete - tensione a vuoto tra i punti A e T) e la cui resistenza in serie con R_{eq} (rappresenta la resistenza vista entro la rete del tronco considerato quando tutti i generatori ideali di tensione sono stati cortocircuitati). In generale il calcolo di E_{eq} e di R_{eq} viene eseguito applicando i principi di Kirchhoff.

7.1.1 Caratteristiche della protezione

Non essendo facile contenere la tensione sulla massa entro il limite di sicurezza U_L , perché sarebbero necessari valori di R_t troppo bassi e non potrebbero essere facilmente controllate le eventuali variazioni che la resistenza di terra del neutro potrebbe subire col tempo (Il sistema TT è utilizzato prevalentemente come sistema di distribuzione pubblica e l'utente non conosce il valore della R_n . Si vogliono infatti distinguere i problemi della sicurezza dell'utente da quelli della rete di distribuzione pubblica in bassa tensione), per conseguire la sicurezza occorre ridurre il tempo di permanenza di tale tensione. Il circuito deve essere interrotto in un tempo tanto più breve quanto maggiore è la tensione sulle masse in modo da soddisfare la curva di sicurezza. Come già si è detto, nell'applicare la curva di sicurezza si può utilizzare la tensione totale U_t anziché la tensione di contatto a vuoto U_{co} proteggendo in questo modo anche una persona in contatto con una massa e un punto all'infinito a potenziale zero (situazione più pericolosa). Gli interruttori automatici aprono il circuito secondo una curva caratteristica tempo-corrente. La corrente di guasto I_g può assumere qualsiasi valore dipendente dalla resistenza R_n , R_t ed R_g (resistenza del guasto sulla massa). Un guasto non franco a terra potrebbe diventare pericoloso se la I_g che circola non fosse in grado di aprire il circuito in un tempo t_i inferiore al tempo t_s corrispondente alla tensione $U_t = R_t I_g$. Si può quindi affermare che la R_t deve avere un valore coordinato con la caratteristica d'intervento del dispositivo di protezione in modo che la tensione totale sia eliminata in tempi inferiori a quelli previsti dalla curva di sicurezza. A tal proposito la Norma 64-8, in relazione ai sistemi TT, prescrive che: "Per attuare la protezione mediante dispositivi di massima corrente a tempo inverso o dispositivi differenziali deve essere

soddisfatta la seguente condizione $R_t \leq 50 / I$ dove R_t è la resistenza, in ohm, dell'impianto di terra nelle condizioni più sfavorevoli; I è il valore, in ampere, della corrente di intervento in 5 secondi per gli interruttori magnetotermici o per i fusibili o in 1 secondo per gli interruttori differenziali; se l'impianto comprende più derivazioni protette da dispositivi con correnti di intervento diverse, deve essere considerata la corrente di intervento più elevata".

7.1.1 Protezione con dispositivi di massima corrente

Dalle curve di sicurezza si ricava che per tensioni di 50V (luoghi normali) e 25V (luoghi particolari) un contatto può permanere per un tempo massimo di 5s. Essendo questa la condizioni limite occorre individuare una protezione di massima corrente che abbia una caratteristica tale per cui sia soddisfatta la relazione:

$$R_t \leq \frac{U_L}{I_{5s}} \quad (7.5)$$

Per correnti superiori ad I_{5s} le caratteristiche degli interruttori dovrebbero essere in grado di soddisfare la curva di sicurezza mentre per correnti minori anche se si supera il tempo di 5s se la 7.5 è soddisfatta, le masse non assumono tensioni (U_L) superiori a 50 V o 25 V e il contatto può permanere per tempi pressoché infiniti. Poiché normalmente un impianto di terra è comune a più masse protette con dispositivi di protezione collegati tra loro in serie o in parallelo, per proteggersi contro i contatti indiretti, in caso di dispositivi collegati in serie, nella scelta della corrente da introdurre nella 7.5, può essere considerato il dispositivo che ha la corrente I_{5s} più bassa mentre in caso di dispositivi collegati in parallelo la maggiore tra le correnti I_{5s} (Se a causa di un guasto d'isolamento una massa disperde una corrente di guasto I_g tutte le masse collegate allo stesso impianto di terra assumono la stessa tensione $R_t I_g$ e quindi, se si vuole rispettare

la relazione $R_t \leq U_L / I_{5s}$ la I_{5s} in caso di dispositivi in parallelo deve essere la più elevata corrente che determina

l'intervento entro 5s). Soddisfare la condizione $R_t \leq U_L / I_{5s}$ con dei normali interruttori magnetotermici non è facile. La I_{5s} in genere varia dalle quattro alle dieci volte la I_n dell'interruttore e quindi per interruttori con grandi correnti nominali può essere anche molto alta. La R_t per contro deve essere tanto più bassa quanto più è alto il valore di I_{5s} . Se l'utilizzatore è costituito da un carico di 1 kW o 20 kW ai fini della protezione delle persone non cambia nulla per cui occorre approntare un impianto di terra che nel caso del secondo carico deve avere, per mantenere la sicurezza dell'impianto, una R_t venti volte più piccola che non per il primo caso: si arriva al paradosso di dover dimensionare l'impianto di terra in base alla potenza dell'impianto da proteggere e non in base alla tensione. Questo si spiega col fatto che gli interruttori di massima corrente sono stati studiati per la protezione dei cavi e non per la protezione dai contatti indiretti.

7.1.4 Protezione con dispositivi differenziali

Il relè differenziale è un dispositivo che rileva una differenza tra le correnti entranti e uscenti da un circuito (in condizioni normali sia in monofase, sia in trifase, sia in trifase con neutro, la somma delle correnti è sempre uguale a zero). Nel caso che si verifichi un guasto a terra una parte della corrente fluisce verso il terreno e la risultante della somma delle correnti non è più uguale a zero. La corrente risultante produce un flusso che induce su di un terzo avvolgimento una corrente che è in grado di fare intervenire l'interruttore differenziale quando la corrente differenziale $I_{\Delta n}$ supera il valore di soglia per la quale è tarato. Impiegando un interruttore differenziale la relazione che deve essere verificata diventa:

$$R_t \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}} \quad (7.6)$$

L'unica differenza tra la relazione 7.6 e la 7.5 consiste nel denominatore: mentre le correnti I_{5s} dipendono dalla corrente nominale dell'interruttore e possono essere dell'ordine delle centinaia di ampere, la corrente $I_{\Delta n}$ è indipendente dalla corrente nominale del dispositivo differenziale e può assumere valori variabili da qualche millesimo di ampere a qualche ampere. Risulta in questo modo più agevole il coordinamento con l'impianto di terra (Ad es. con U_L uguale a 50V e con

$I_{\Delta n}$ 0,03 A la resistenza di terra R_t può essere $\leq 1666 \Omega$) di quanto non lo fosse con i dispositivi di massima corrente. La caratteristica d'intervento dell'interruttore differenziale è stata studiata proprio per soddisfare completamente la curva di sicurezza. I tempi massimi di interruzione degli interruttori differenziali per uso generale sono riportati nella tabella 7.1.

$I_{\Delta n}$	t
$I_{\Delta n}$	0,3 s
$2I_{\Delta n}$	0,15 s
$5I_{\Delta n}$	0,04 s

Tab. 7.1 - Tempi massimi di interruzione degli interruttori differenziali per uso generale

7.1.5 Alcune considerazioni sui relè differenziali

- Impianto di terra comune a più derivazioni

Se ad un impianto di terra sono collegate masse alimentate da più derivazioni protette con interruttori differenziali deve essere soddisfatta la solita relazione $R_t \leq U_t / I_{\Delta n}$ dove $I_{\Delta n}$ deve essere, come sappiamo, la minor corrente differenziale nominale per dispositivi differenziali collegati in serie e la maggior corrente differenziale nominale per dispositivi differenziali collegati in parallelo. Lo stesso principio vale anche nel caso di più derivazioni protette in parte con dispositivi a massima corrente e in parte con dispositivi differenziali. La R_t dovrà essere calcolata in base alla $I_{\Delta n}$ del dispositivo a massima corrente essendo questa la corrente nominale d'intervento più elevata tra i due tipi di dispositivi, annullando però tutti i benefici derivanti dall'uso dei relè differenziali. In pratica è opportuno che tutte le derivazioni facenti parte dello stesso impianto di terra siano protette con interruttori differenziali. Questo vale anche per edifici con più unità immobiliari perché se un'unità immobiliare è sprovvista di interruttore differenziale le tensioni pericolose prodotte da un guasto a terra in tale unità immobiliare si trasferiscono sulle masse delle altre unità immobiliari senza che i corrispondenti interruttori differenziali intervengano.

- Problemi derivanti dall'installazione dell'interruttore differenziale

Se, a causa di un guasto su di una massa, il neutro fosse a terra a valle dell'interruttore differenziale, potrebbe essere resa inoperante la protezione differenziale. Il neutro a terra (solitamente a potenziale zero salvo particolari casi anomali) non provoca l'intervento del dispositivo differenziale per cui il guasto permane per un tempo indefinito. Un successivo guasto di una fase su di un'altra massa, provoca una corrente di guasto che si richiude tramite il conduttore di neutro a contatto con la massa stessa e solo in parte verso terra. Il collegamento del neutro all'impianto di terra locale trasforma di fatto il sistema TT in un sistema TN e per garantire la sicurezza dai contatti indiretti dovrebbero essere soddisfatte le condizioni indicate per tale sistema di distribuzione (questo vale anche nel caso che il neutro sia collegato all'impianto di terra locale a monte dell'interruttore differenziale ed è inutile ricordare come sia importante non collegare, ad esempio scambiandolo col conduttore di terra, il neutro a terra).

- Selettività tra interruttori differenziali

Si definisce corrente differenziale nominale di non intervento il massimo valore di corrente per il quale sicuramente l'interruttore differenziale non interviene. Il valore normale di questa corrente è $I_{\Delta n}/2$ ed entro questo valore il dispositivo non ha un comportamento definito: può intervenire come può non intervenire. La scelta della $I_{\Delta n}$ è condizionata oltre che dal coordinamento con l'impianto di terra anche dalla somma delle correnti di dispersione di tutto l'impianto utilizzatore. Per garantire la continuità del servizio la somma vettoriale di tali correnti di dispersione non dovrebbe superare $I_{\Delta n}/2$. A tal proposito occorre ricordare che le correnti di terra possono essere eccessive se: l'impianto è in cattivo stato di conservazione, gli apparecchi utilizzatori hanno correnti di dispersione che eccedono i valori normali, l'impianto è molto vasto e sono collegati numerosi apparecchi utilizzatori. Per rendere selettivo l'intervento dei dispositivi può essere utile proteggere le singole derivazioni con più dispositivi differenziali garantendo così una discreta selettività orizzontale del sistema ed evitando che un guasto in un punto qualsiasi del circuito provochi la messa fuori servizio di tutto l'impianto. In questo modo però non si è protetti dai guasti che avvengono tra l'interruttore generale e gli interruttori differenziali. Sarà necessario evitare masse lungo questo tratto ovvero, ove non fosse possibile (interruttore generale nello stesso quadro metallico in cui sono alloggiati anche gli interruttori differenziali), bisogna dotare la parte di circuito compresa tra l'interruttore generale e gli interruttori differenziali di isolamento doppio o rinforzato. Diverso è il caso in cui anche l'interruttore generale è differenziale perché nascono problemi di selettività verticale. Per ottenere una completa selettività occorre in questo caso utilizzare interruttori differenziali ritardati.

7.1.6 I collegamenti equipotenziali nei sistemi TT

Se il terreno ed ogni parte conduttrice simultaneamente accessibile fossero allo stesso potenziale non vi sarebbe alcun pericolo per le persone. Tecnicamente questa condizione ideale non può essere raggiunta. Ci si può avvicinare a tale condizione collegando all'impianto di terra, tramite il conduttore equipotenziale, non solo le masse ma anche le masse estranee. In un sistema TT la tensione totale assunta da una massa a causa di un guasto verso terra deve essere eliminata in un tempo inferiore a quello previsto dalla curva di sicurezza rispettando le note condizioni (come già detto assumendo la tensione a vuoto uguale alla tensione totale di terra e rispettando le relazioni $R_t \leq U_t / I_{\Delta n}$, o meglio

$R_t \leq U_t / I_{\Delta n}$). Risulta perciò evidente che una persona è protetta per le condizioni più sfavorevoli, compreso il contatto tra una massa e una massa estranea anche quando manca il collegamento equipotenziale. E' comunque buona norma effettuare i collegamenti equipotenziali (tubazioni dell'acqua, del gas, riscaldamento, armature di ferro delle fondazione in cemento armato degli edifici ecc..) perché diminuisce la resistenza di terra dell'impianto (la massa estranea funge da dispersore e quindi si riduce la tensione totale U_t e si riducono le tensioni di contatto tra una massa e il terreno), si riducono le tensioni di contatto tra una massa e una massa estranea perché diventano equipotenziali e si riducono i rischi per le persone nel caso in cui dovessero venire meno le condizioni di rispetto delle relazioni $R_t \leq U_t / I_{\Delta n}$, oppure $R_t \leq U_t / I_{\Delta n}$ (ad esempio a causa di un mal funzionamento dei dispositivi di protezione oppure di mutamenti stagionali della resistenza di terra). A favore dei collegamenti equipotenziali resta infine da considerare che la curva di sicurezza si basa su dati statistici della resistenza del corpo umano e che quindi potrebbe risultare non sufficiente per la sicurezza di tutte le persone. Durante un guasto d'isolamento, essendo trascurabile la caduta di tensione sui conduttori di protezione, tutte le masse si trovano allo stesso potenziale. Per portare allo stesso potenziale tutte le masse e una massa estranea (ad esempio tubazione idrica entrante in uno stabile) è sufficiente effettuare un collegamento equipotenziale in prossimità della parte disperdente della massa estranea (radice) trascurando tutta la restante parte che non è in contatto col terreno (ad esempio tubazione idrica annegata nella muratura). Se le parti disperdenti della massa estranea fossero più di una, cioè se le radici fossero più di una, il collegamento deve essere ripetuto in corrispondenza di ciascuna di esse.

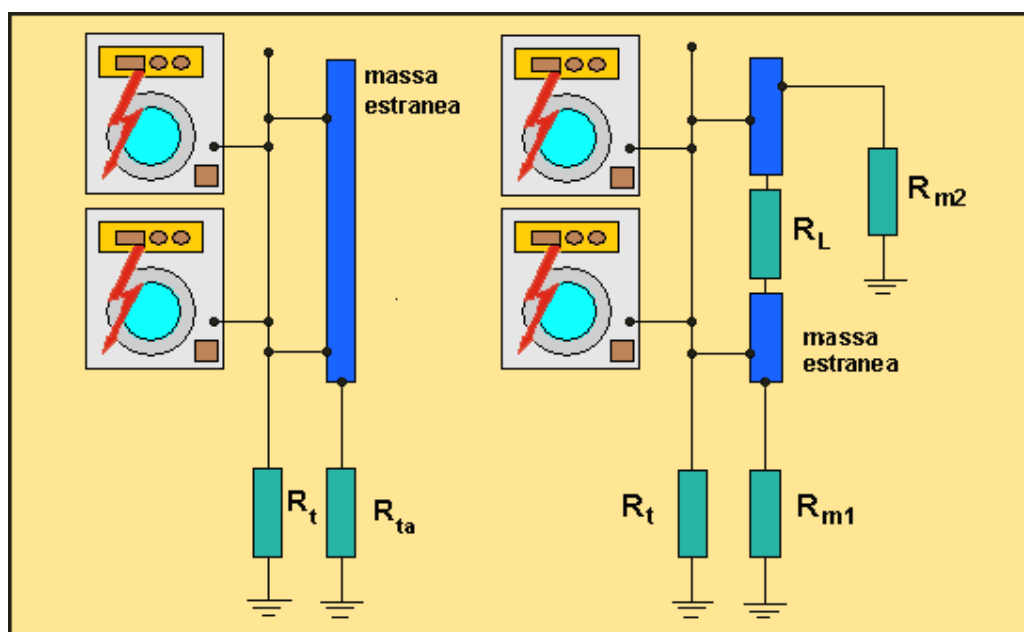


Fig. 7.2 - Il collegamento equipotenziale principale nei sistemi TT annulla la tensione di contatto tra le masse e la massa estranea anche se questa presenta una resistenza R_L .

Circuito di guasto	La corrente di guasto si richiude attraverso il terreno dalla terra degli utilizzatori verso la terra di cabina
Impianto di terra	Utilizzatori e cabina hanno impianti di terra separati
Protezione dai contatti indiretti	La protezione è assicurata dal coordinamento tra interruttori differenziali e impianto di terra. Le carcasse degli utilizzatori sono tutte collegate all'impianto di terra dell'utente. La tensione totale di terra applicata agli utilizzatori in caso di guasto dipende dal valore della resistenza di terra della cabina e dell'utente.
Fornitura	Alimentazione in bassa tensione direttamente dalla rete di distribuzione.
Vantaggi	Il guasto viene interrotto tempestivamente all'insorgere del primo difetto di isolamento. Impianto di terra di semplice realizzazione.
Svantaggi	E' richiesto l'uso capillare di relè differenziali

Tab. 7.2 – Principali caratteristiche di un sistema TT

7.2 Sistemi TN

7.2.1 Circuito equivalente

Si consideri il caso di un contatto indiretto in un sistema TN-S (conduttore di protezione completamente distinto dal conduttore di neutro per tutta l'estensione dell'impianto). Se trascuriamo come al solito l'impedenza interna del trasformatore, indichiamo con Z_f l'impedenza della fase L3, con Z_{pe} l'impedenza del conduttore di protezione, con $R_c + R_{tc}$ la resistenza della persona e con R_{tn} quella di terra del neutro, la situazione di guasto a terra è rappresentabile dal seguente circuito equivalente:

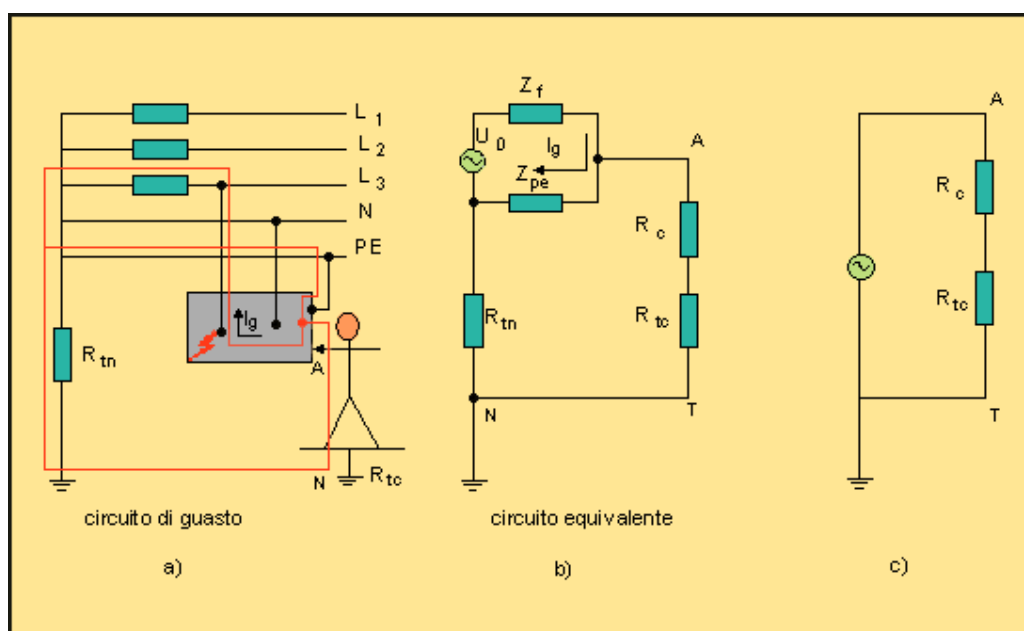


Fig. 7.3 - a) Circuito di guasto franco a terra in un sistema TN b) circuito equivalente c) Il circuito di guasto si comporta come un generatore ideale di tensione.

Tra i punti A e N (fig. 7.3) in assenza del carico $R_c + R_{tc}$ (in assenza del contatto da parte della persona) nell'anello di guasto, costituito da Z_f e Z_{pe} , circola la corrente :

$$\bar{I}_s = \frac{\bar{U}_0}{\bar{Z}_f + \bar{Z}_{pe}} = \frac{\bar{U}_0}{\bar{Z}_s} \quad (7.7)$$

dove:

$Z_f + Z_{pe} = Z_s$ impedenza dell'anello di guasto

Nello studio del circuito di guasto in un sistema TN si ipotizza un guasto franco a terra; se il guasto a terra non fosse franco, a tale impedenza andrebbe aggiunta l'impedenza localizzata nel punto di guasto. Nei sistemi TT si utilizzano gli interruttori differenziali e la protezione contro i contatti indiretti è comunque assicurata (l'efficacia della protezione non dipende dal valore della eventuale resistenza di guasto). Uno dei vantaggi dei sistemi TN sta nell'utilizzare le protezioni di massima corrente contro i contatti indiretti, ma solo ipotizzando un guasto franco a terra perché altrimenti sarebbe

impossibile garantire la protezione dai contatti indiretti. La casistica disponibile ha comunque dimostrato che il rischio è accettabile in quanto un guasto non franco a terra è poco frequente anche perché tende ad evolvere rapidamente in un guasto franco. Come vedremo in seguito, ogni rischio viene eliminato utilizzando gli interruttori differenziali rinunciando però al vantaggio di usare gli interruttori magnetotermici.

Tra i punti A ed N si ha la tensione di contatto a vuoto U_{C0} :

$$\bar{U}_{C0} = \bar{Z}_{pe} \times \bar{I}_f = \frac{\bar{Z}_{pe}}{\bar{Z}_f + \bar{Z}_{pe}} \times \bar{U}_0 = \frac{1}{\frac{\bar{Z}_f}{\bar{Z}_{pe}} + 1} \bar{U}_0 \quad (7.8)$$

La U_{C0} risulta pertanto proporzionale alla U_0 per mezzo del rapporto Z_f / Z_{pe} e, nel caso particolare di conduttori di fase e di protezione con sezione uguale (nei circuiti terminali quando $Z_{pe}=Z_f$), dalla 7.8 si ricava:

$$U_{C0} = \frac{1}{2} U_0 \quad (7.9)$$

Se invece, caso piuttosto frequente (nelle linee di distribuzione principale, quando la sezione del conduttore di fase è maggiore di 16 mm², la sezione del conduttore di protezione può essere minore di quella di fase), la sezione del conduttore di protezione è la metà di quella di fase ($Z_{pe}=Z_f/2$), sempre dalla 7.8 si ottiene:

$$\bar{U}_{C0} = \frac{2}{3} \bar{U}_0 \quad (7.10)$$

Applicando il teorema di Thévenin-Norton tra i punti A e N la Z_{eq} vale :

$$\bar{Z}_{eq} = \frac{\bar{Z}_f \times \bar{Z}_{pe}}{\bar{Z}_f + \bar{Z}_{pe}} + R_{te} \quad (7.11)$$

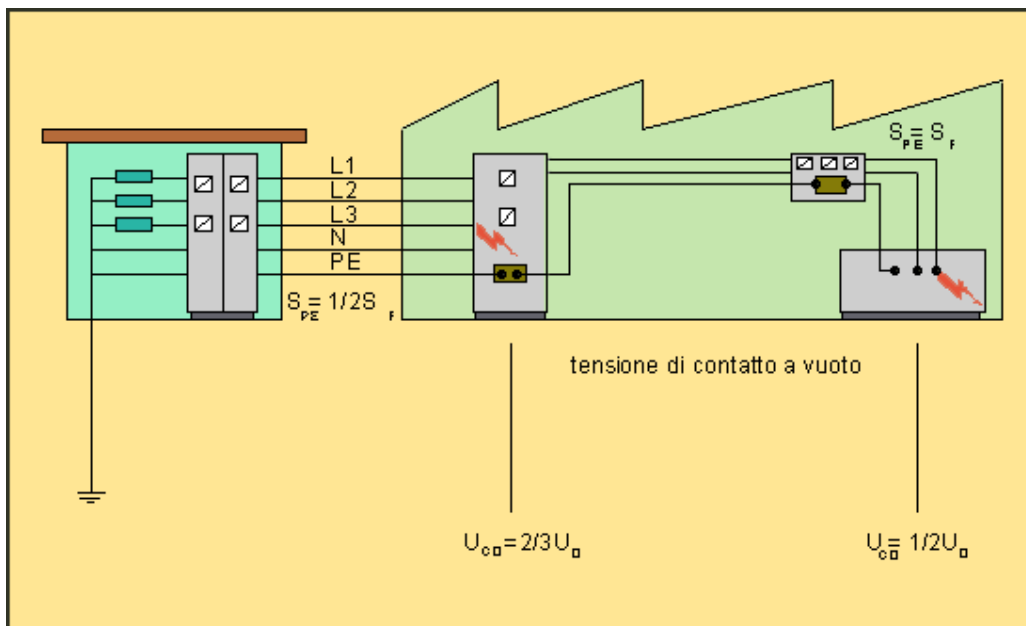


Fig.7.4 – In quella parte dell'impianto dove la sezione del conduttore di protezione è la metà del conduttore di fase la tensione di contatto a vuoto tende al valore 2/3 U_0 . Nei circuiti terminali la tensione di contatto a

vuoto diminuisce tendendo al valore di $\frac{1}{2} U_0$ in quanto l'impedenza del tratto terminale diventa prevalente rispetto a quella a monte e i conduttori di fase e protezione hanno la medesima sezione.

La Z_{eq} è in genere trascurabile rispetto alla $R_c + R_{lc}$ della persona (qualche Ω rispetto a $10^3 \Omega$) e quindi il contatto della persona non altera significativamente la tensione preesistente sulla massa. Il circuito di guasto si comporta, nei confronti del corpo umano, come un generatore ideale di tensione. Risulta evidente che in questo caso il guasto franco a massa rappresenta un cortocircuito perché la corrente è limitata dalla sola impedenza del circuito di guasto Z_s (l'anello di guasto non interessa alcuna resistenza di terra essendo costituito esclusivamente da elementi metallici). Per uno stesso circuito, sempre nell'ipotesi che l'impedenza del trasformatore sia trascurabile e che il conduttore di protezione PE segua nel suo percorso i conduttori di fase, si può notare che, aumentando la distanza del punto di guasto rispetto la cabina, $Z_f + Z_{pe}$ aumenta mentre il rapporto Z_f / Z_{pe} rimane costante (nello stesso circuito le sezioni di Z_f e di Z_{pe} rimangono costanti per tutto il tratto) col risultato che la U_{C0} rimane costante mentre la I_g diminuisce. Da queste considerazioni si può capire come non sia sempre possibile interrompere il circuito in tempi sufficientemente brevi da rendere la tensione sulla massa non pericolosa, soprattutto se l'interruzione del circuito è affidata ad un dispositivo di massima corrente perché, allontanandosi col punto di guasto rispetto la cabina (guasto in fondo alla linea di un circuito terminale), al diminuire della I_g aumenta il suo tempo d'intervento. La U_{C0} , dipendendo solamente dal rapporto Z_f / Z_{pe} , è difficilmente quantificabile nei vari punti dell'impianto perché varia a seconda della distanza del punto di guasto dalla cabina. Da quanto detto, sempre ipotizzando di trascurare l'impedenza interna del trasformatore e assumendo che il conduttore di protezione segua lo stesso percorso dei conduttori di fase (stessa lunghezza, stesso tipo di posa ecc..) si può notare che :

- ☐ la tensione di contatto a vuoto è costante lungo uno stesso circuito, qualunque sia il punto in cui si verifica il guasto d'isolamento ;
- ☐ la tensione di contatto a vuoto è massima nel punto più lontano dal trasformatore quando la sezione del PE è inferiore a quella del conduttore di fase (circuiti di distribuzione principali dove $Z_{pe} = Z_f / 2$ e U_{C0} tende al valore $\frac{2}{3} U_0$) ;
- ☐ quando la sezione del PE diventa uguale a quella del conduttore di fase (nei circuiti terminali l'impedenza di fase è uguale all'impedenza del PE) la U_{C0} diminuisce tendendo al valore $\frac{1}{2} U_0$ in quanto l'impedenza dei circuiti terminali diventa prevalente rispetto quelli a monte ;

Un discorso particolare fa fatto per un guasto che si verificasse, nelle vicinanze del trasformatore (vedi anche capitolo "Cabina elettrica d'utente MT/BT"), su di una massa all'inizio dell'impianto (ad esempio il quadro generale di distribuzione nella cabina di trasformazione). Normalmente una situazione di questo tipo non introduce tensioni di contatto pericolose se la distanza della massa dal trasformatore non è eccessiva (a seconda della potenza del trasformatore e della sezione del PE la distanza limite può essere compresa tra i 10 e i 30 metri), data la prevalenza dell'impedenza del trasformatore Z_T rispetto a quella del conduttore di protezione. Per mantenere una tale condizione anche all'aumentare della distanza del quadro generale rispetto al trasformatore si potrebbe operare una maggiorazione della sezione del conduttore di protezione. Alla luce di queste considerazioni non sembra quindi conveniente ridurre la sezione del PE dal trasformatore al quadro generale di cabina.

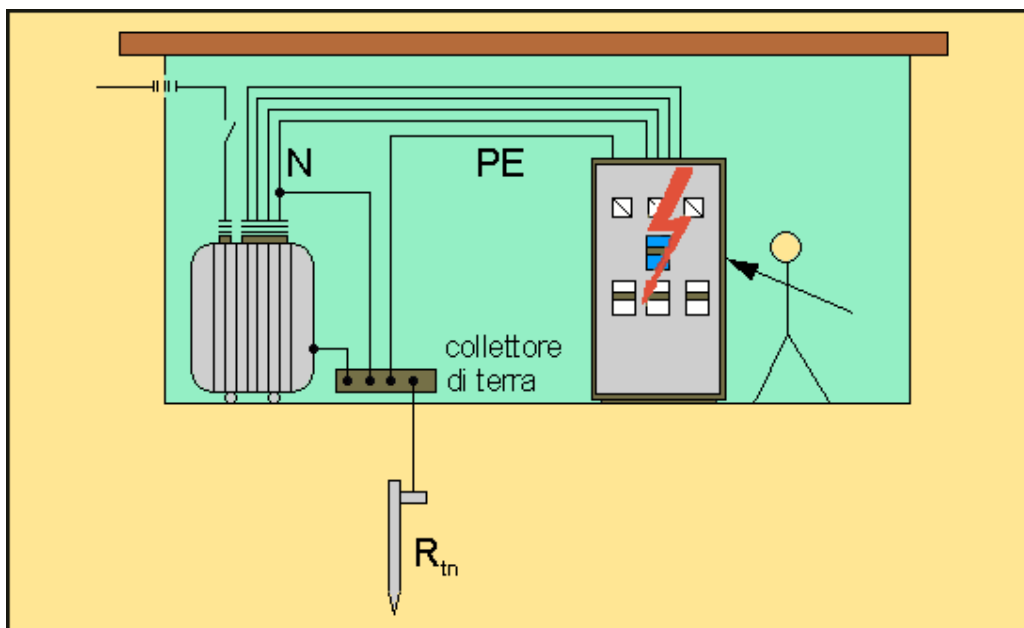


Fig. 7.5 – Un guasto franco a terra sul quadro generale in cabina in un sistema TN non è in genere pericoloso

Nei pressi del trasformatore di cabina, dove Z_i e Z_{pe} sono in genere molto piccole e prevale la Z_T , si ha:

$$\bar{U}_0 = \frac{\bar{Z}_{pe}}{\bar{Z}_i + \bar{Z}_f - \bar{Z}_{pe}} \times \bar{U}_0 = \frac{1}{1 + \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_{pe}} + \frac{\bar{Z}_f}{\bar{Z}_{pe}}} \times \bar{U}_0 = \frac{1}{1 + \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_{pe}} + \frac{\bar{Z}_f}{\bar{Z}_{pe}}} \times \bar{U}_0 \approx 0 \quad (7.12)$$

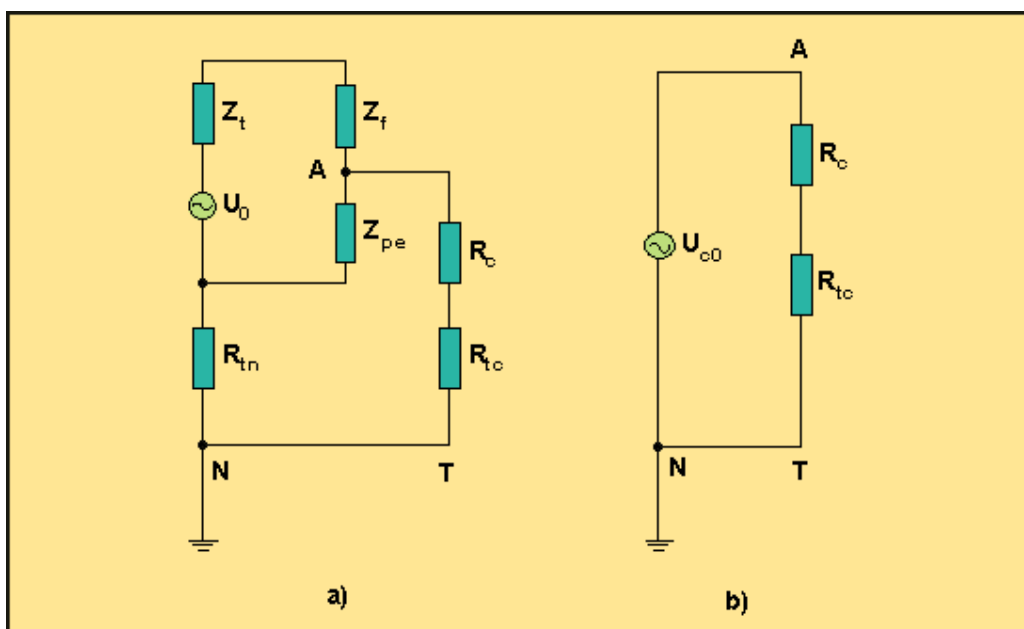


Fig. 7.6 – Circuito equivalente di un guasto sul quadro generale di cabina in un sistema TN

.2.2 I collegamenti equipotenziali

La situazione descritta nel paragrafo precedente corrisponde al caso limite di una persona all'aperto in cui la tensione di contatto a vuoto coincide con la tensione totale. All'interno di un edificio le condizioni di sicurezza migliorano perché con i collegamenti equipotenziali si può ridurre la tensione di contatto ad una parte della tensione totale. I collegamenti equipotenziali sono molto più importanti per la sicurezza nei sistemi TN che non nei sistemi TT.

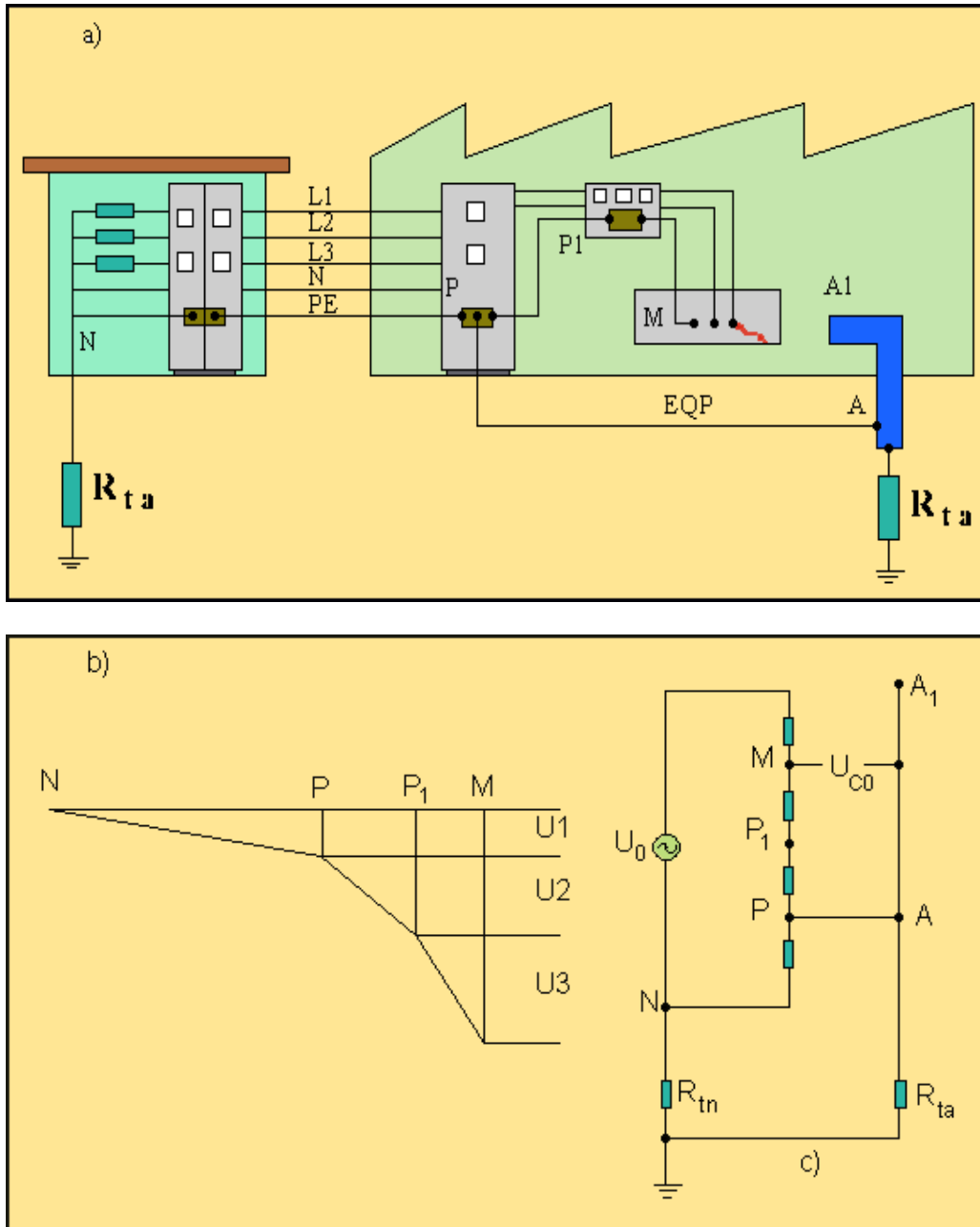


Fig. 7.7 – a) A causa di un guasto tutte le masse assumono un potenziale che dipende da Z_f / Z_{pe} . Si ha una caduta di tensione sul PE che non può essere trascurata. b) Circuito equivalente. Si possono stabilire differenze di potenziale tra le masse e tra queste e le masse estranee. Un guasto che avvenisse su di una massa all'inizio dell'impianto (in cabina) in genere non introduce potenziali pericolosi

In un sistema TT il conduttore di protezione, essendo di resistenza trascurabile rispetto alla resistenza di terra, è praticamente equipotenziale per tutta la sua lunghezza. In un sistema TN il conduttore di protezione (PE) ha

un'impedenza uguale o superiore all'impedenza del conduttore di fase ed assume un potenziale diverso lungo il suo percorso. Può essere costituito dall'insieme di più tratti a sezione diversa:

- ☐ un primo tratto, dalla massa al quadro di settore ;
- ☐ un secondo tratto, dal quadro di settore al collettore principale nel quadro di distribuzione ;
- ☐ un terzo tratto, dal collettore principale alla cabina.

$$U_t = U_1 + U_2 + U_3 \quad (7.13)$$

A seguito di un guasto sulle masse si stabilisce una tensione totale pari alla somma delle cadute di tensione nei tre tratti del conduttore di protezione e la tensione sarà diversa a seconda che le masse in oggetto si trovino a monte o a valle del punto di guasto. In particolare tutte le masse a valle del punto di guasto si porteranno ad un potenziale pari alla tensione di contatto a vuoto nel punto di guasto (sulla massa più vicina o sede del guasto), mentre, per quelle a monte, i valori di tensione saranno decrescenti fino ad annullarsi all'origine dell'impianto (cabina). Se si effettua il collegamento equipotenziale (principale-EQP) all'ingresso di una massa estranea nell'edificio (ad esempio tubazione idrica) l'intera massa estranea si porta alla tensione U_1 e quindi la tensione tra massa e massa estranea si riduce a U_2+U_3 (la serie della resistenza del neutro in cabina e la resistenza della massa estranea verso terra, $R_{tn}+R_{me}$, sono in parallelo col conduttore (PE) che collega il collettore principale con la cabina ma la sua impedenza è trascurabile rispetto alla serie $R_{tn}+R_{me}$ quindi la tensione U_1 non diminuisce in modo apprezzabile). Se il collegamento equipotenziale viene effettuato in prossimità della massa (collegamento equipotenziale supplementare-EQS) la sicurezza migliora ulteriormente in quanto la massa ora assume la sola tensione U_3 (da notare che la tensione U_3 si stabilisce non solo tra l'apparecchio guasto e la massa estranea ma anche sulle altre masse collegate al nodo di terra del quadro di piano). In definitiva la resistenza verso terra di una persona dipende dal collegamento equipotenziale tramite una resistenza R_{eq} . Il collegamento equipotenziale riduce tanto più la tensione di contatto quanto più il collegamento equipotenziale è prossimo al punto di guasto e risulta indispensabile se i dispositivi di protezione non possono intervenire in un tempo inferiore a quello indicato sulla curva di sicurezza per la tensione totale $U_t=U_1+U_2+U_3=U_{C0}$.

7.2.3 La sicurezza all'esterno degli edifici

Diverso risulta il problema della sicurezza all'esterno di un edificio dove la resistenza verso terra di una persona non può più dipendere dal collegamento equipotenziale. La tensione di contatto a vuoto assume il valore dato dalla 7.8 e i tempi di intervento dei dispositivi potrebbero non soddisfare la curva di sicurezza (le statistiche dimostrano che i rischi più elevati si riscontrano per i sistemi TN all'aperto ad esempio nei giardini). Per migliorare la sicurezza si potrebbe collegare localmente a terra la massa anche se i risultati non sono molto lusinghieri in quanto la situazione migliora tanto più quanto è minore il rapporto R_t/R_n . Purtroppo, spesso R_t ha valori più elevati di R_n e quindi, per ottenere dei benefici dalla messa a terra locale, sarebbe necessaria una più efficiente (con costi notevolmente superiori) configurazione del sistema dispersore. Solo con l'installazione di un dispositivo differenziale a bassa sensibilità ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$) installato sulle derivazioni all'esterno è possibile rispettare i tempi d'intervento richiesti dalla curva di sicurezza (questo però non protegge dai pericoli derivanti dalla presenza di eventuali tensioni sul neutro).

7.2.4 Caratteristiche della protezione dai contatti indiretti

Per attuare la protezione con dispositivi di massima corrente o differenziali in un sistema TN è richiesto che sia soddisfatta in qualsiasi punto del circuito la seguente condizione:

$$I_{\Delta} \leq \frac{U_0}{Z_s} \quad (7.14)$$

Dove :

U_0 = tensione nominale in valore efficace tra fase e neutro in volt dell'impianto relativamente al lato in bassa tensione

Z_s = Impedenza totale in ohm dell'anello di guasto che comprende il trasformatore il conduttore di fase e quello di protezione tra il punto di guasto e il trasformatore

I_a = Corrente in ampere che provoca l'intervento del dispositivo di protezione entro il tempo indicato in tabella 7.3.

Se si impiega un dispositivo differenziale, I_a è la corrente $I_{\Delta n}$ differenziale nominale, se invece si utilizza lo stesso dispositivo impiegato per la protezione contro le sovracorrenti si può usare, per la verifica della relazione, la corrente di intervento della protezione magnetica I_m che fa intervenire la protezione in tempi inferiori a quelli prescritti dalla norma.

$U_0(V)$	Tempo di interruzione (s)	
	Ambienti normali	Ambienti particolari
120	0,8	0,4
230	0,4	0,2
400	0,2	0,06
>400	0,1	0,02

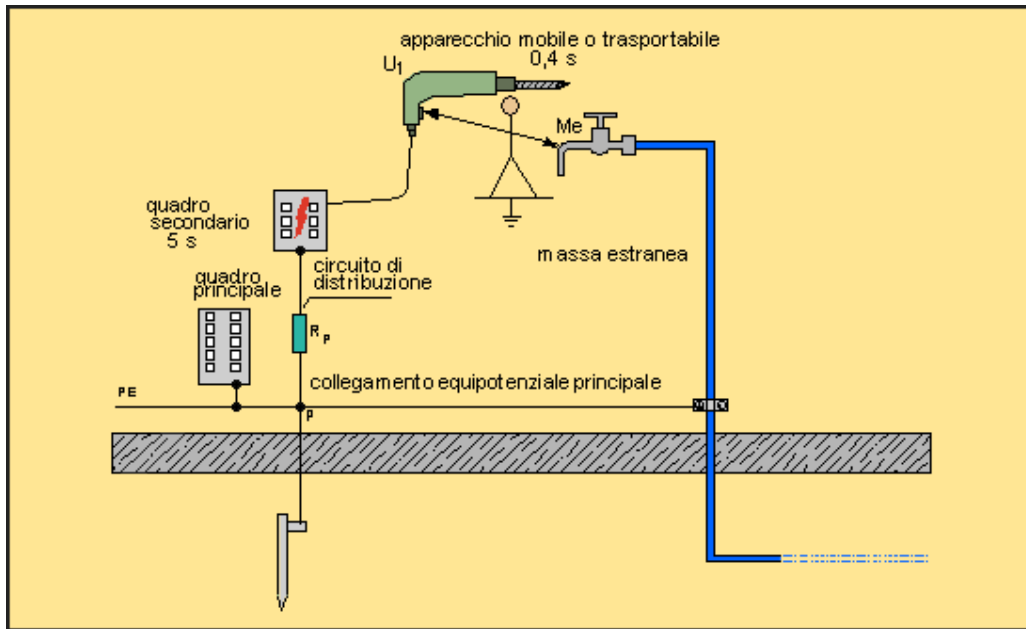
Tab. 7.3

Per un guasto franco a terra le norme CEI richiedono l'intervento dei dispositivi di protezione entro un tempo tanto più piccolo quanto maggiore è la tensione di fase; ad esempio dalla tabella 7.3 per $U_0 = 230V$ (nuovo valore unificato a livello europeo) il tempo d'interruzione non deve superare 0,4 s con l'eccezione dei circuiti di distribuzione e dei circuiti terminali che alimentano apparecchi fissi per i quali è ammesso un tempo d'intervento non superiore ai 5s purché sia soddisfatta una delle seguenti condizioni enunciate dall'art. 413.3.5 delle Norme CEI 64-8:

- l'impedenza del conduttore di protezione che collega il quadro di distribuzione al punto nel quale il conduttore di protezione è connesso al collegamento equipotenziale principale (generalmente il collettore di terra) non deve essere superiore a $Z_{PE} = Z_s \times 50 / U_0$;
- esiste un collegamento equipotenziale supplementare che collega localmente al quadro di distribuzione gli stessi tipi di masse estranee indicati per il collegamento equipotenziale principale che soddisfa le prescrizioni riguardanti il collegamento equipotenziale principale di cui al Capitolo 54 delle Norme CEI 64-8.

Un **circuito terminale** è un circuito che alimenta un apparecchio utilizzatore o una presa a spina mentre un **circuito di distribuzione** è un circuito e che fa capo generalmente ad un quadro elettrico dal quale si distribuiscono più circuiti terminali. Un guasto a terra su di un circuito di distribuzione è poco probabile (fig. 7.8); potrebbe avvenire su di in canale metallico o sul quadro di distribuzione, meno probabile comunque che sugli apparecchi utilizzatori o sui componenti dell'impianto. Se a questo si aggiunge la difficoltà di garantire la selettività tra le protezioni, sia di sovracorrente che differenziali, si comprende perché si sia adottato il tempo di 5s per questi circuiti (fig. 7.9). Anche per gli apparecchi fissi di grande potenza sarebbe stato arduo rispettare i tempi di 0,4s e, dal momento che solitamente sono meno pericolosi degli apparecchi trasportabili, la Norma ci concede di interrompere il circuito in 5s. Su di un apparecchio fisso la probabilità che si manifesti un guasto non è comunque del tutto trascurabile e le tensioni che vi si stabiliscono per 5s possono trasferirsi sulle masse degli apparecchi trasportabili e portatili (Gli apparecchi trasportabili sono più pericolosi di quelli fissi anche se in genere, come prescrive il DPR 547/55 all'art. 315, sono di classe II e quindi protetti per costruzione dai contatti indiretti. In sede internazionale sono però ammessi anche apparecchi di classe I ed ecco che la Norma prescrive l'interruzione automatica del circuito e il rispetto dei tempi della tabella 7.3 per tutti gli apparecchi elettrici trasportabili anche se alimentati da presa a spina). E' così che si spiegano le due condizioni prescritte dalle Norme che tengono conto, a differenza dei circuiti di distribuzione in cui la probabilità di guasto è minore, della maggior probabilità che si possano verificare guasti sugli apparecchi fissi. In un sistema TN, in caso di guasto a terra, il potenziale che assume l'apparecchio guasto, in questo caso l'apparecchio fisso, sappiamo che dipende dalla caduta di tensione sul conduttore di protezione per cui il potenziale varia da una massa all'altra (a differenza del sistema TT in cui, a causa di un guasto in un punto qualsiasi dell'impianto, tutte le masse assumono uno stesso potenziale dipendendo questo dal rapporto tra la resistenza di terra dell'impianto e la resistenza di terra del neutro). Un'eventuale massa estranea assume il potenziale che ha il conduttore di protezione all'ingresso del fabbricato, dove è stato effettuato il collegamento equipotenziale principale. Tra massa e massa estranea si stabilisce una differenza di potenziale che dipende dalla caduta di tensione che si ha sul PE dall'ingresso dell'edificio alla massa. Il potenziale assunto dall'apparecchio fisso viene trasferito anche alla massa di un'eventuale apparecchio trasportabile che, proprio perché trasportabile, può

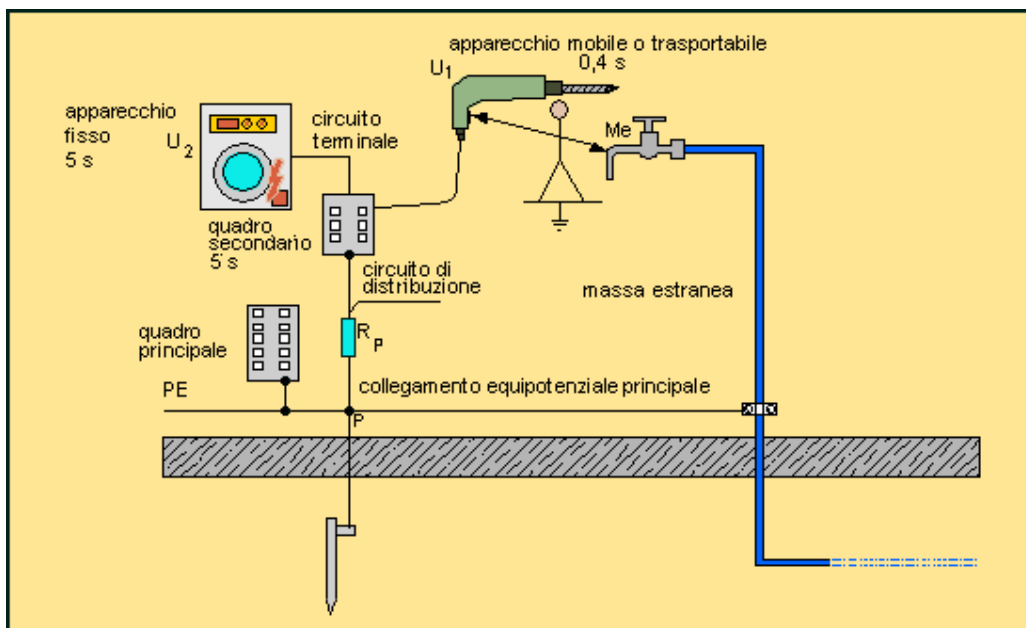
mettere l'operatore in condizione di toccare contemporaneamente la massa dell'apparecchio trasportabile e la massa estranea (fig. 7.10).



$$U_{co} = U_{U1Me} = R_p \frac{U_0}{Z_s}$$

Fig. 7.8 - Un guasto sul circuito di distribuzione non è molto frequente per cui la Norma accetta che, a causa di tale guasto, tra l'utilizzatore U_1 e la massa estranea si stabilisca una differenza di potenziale $U_{U1Me} = R_p \times U_0 / Z_s$ per un tempo non superiore a 5s.

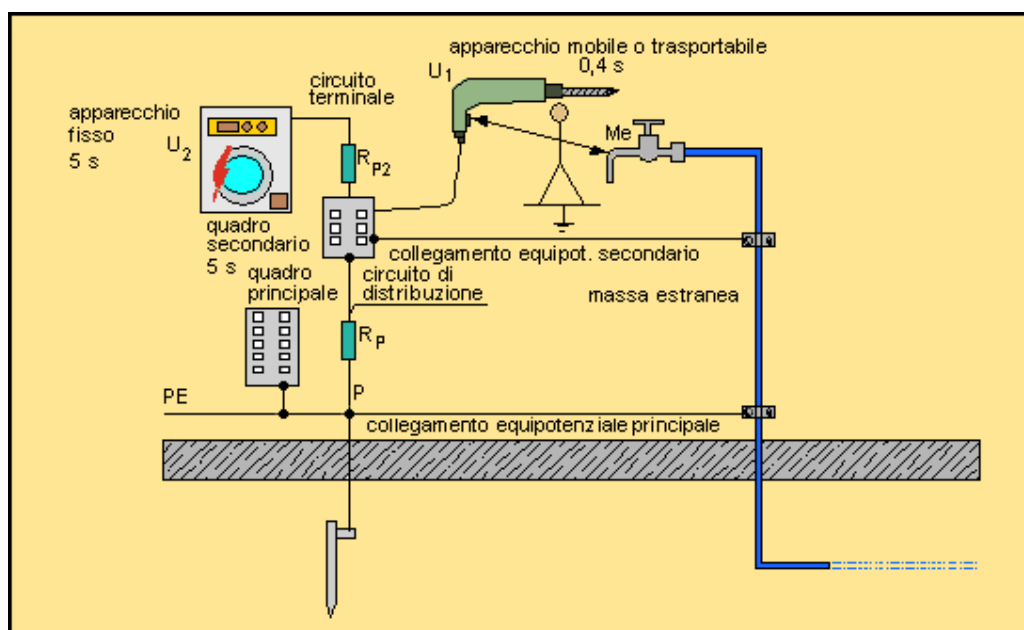
L'operatore potrebbe essere così sottoposto per cinque secondi ad una differenza di potenziale che però non deve essere superiore a 50V.



$$U_{20} = U_{U1Me} = R_p \frac{U_0}{Z_s} \leq 50V$$

Fig. 7.9 - A causa di un guasto sull'utilizzatore fisso U_2 , tra l'apparecchio U_1 e la massa estranea si stabilisce la tensione $R_p \times U_0/Z_s$ che è accettata dalla Norma per un massimo di 5 secondi solo se è minore o uguale a 50V.

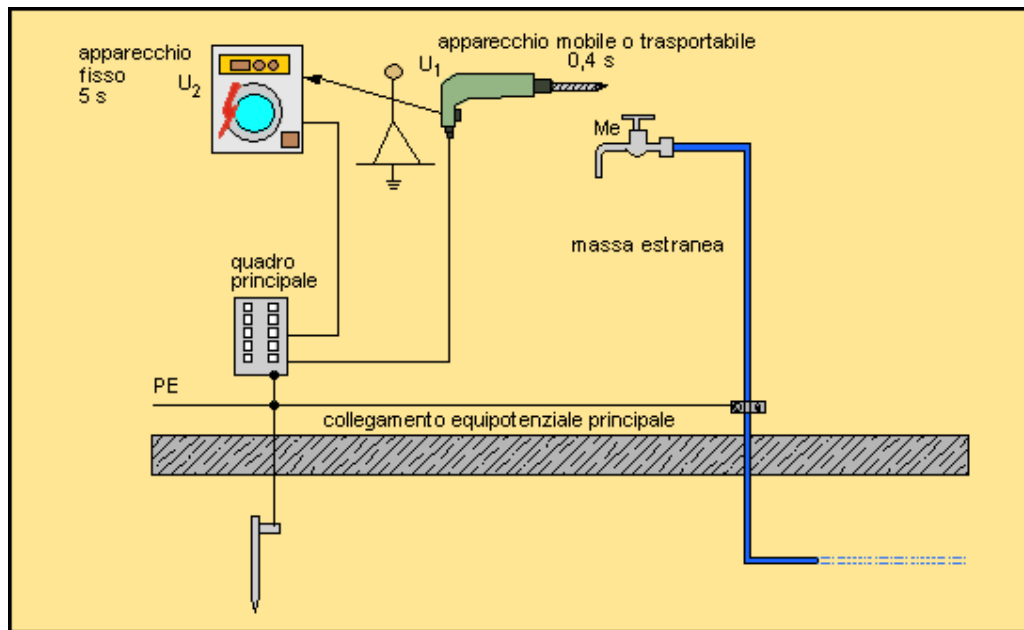
In alternativa, se la tensione di contatto è superiore a 50V bisogna effettuare un collegamento equipotenziale supplementare a livello del quadro secondario che alimenta sia l'apparecchio fisso che l'apparecchio mobile. La tensione tra l'apparecchio trasportabile e la massa estranea si riduce così alla caduta di tensione sul PE che collega la massa dell'apparecchio fisso al quadro secondario.



$$U_{20} = U_{U1Me} = R_p \frac{U_1}{Z_s} > 50V$$

Fig. 7.10 - Se si verifica un guasto sull'utilizzatore fisso U_2 , tra l'utilizzatore U_1 e la massa estranea si stabilisce la tensione $R_p \times U_0/Z_s$ per un tempo massimo di 5 secondi. Se è maggiore di 50 V la norma richiede un collegamento equipotenziale supplementare.

La tensione assunta dalla massa dell'apparecchio fisso si trasferisce sulla massa dell'apparecchio mobile a causa del tratto comune di PE che collega il collettore principale al quadro secondario. Se i due apparecchi fossero alimentati separatamente e direttamente dal quadro generale questo non accadrebbe (Fig.7.11). Una differenza di potenziale si manifesta comunque tra i due utilizzatori ma la Norma ritiene questo pericolo accettabile entro i 5s di permanenza del guasto a terra.



$$U_{m2} = R_{m2} \frac{U_0}{Z_s}$$

Fig. 7.11 - Gli utilizzatori U_1 e U_2 sono alimentati con due circuiti distinti dal quadro principale. Se si verifica un guasto sull'utilizzatore fisso U_2 , tra l'utilizzatore U_1 e la massa estranea la tensione è nulla essendo gli apparecchi alimentati da due linee distinte. La tensione che si stabilisce tra i due apparecchi è accettata dalla Norma in quanto è ritenuto poco probabile il contatto entro i cinque secondi di durata del guasto.

Abbiamo visto in precedenza come la curva di sicurezza faccia riferimento alla tensione di contatto a vuoto e che tale tensione dipende dal rapporto tra l'impedenza di fase e l'impedenza del conduttore di protezione (nel caso molto frequente in cui le due impedenze sono uguali risulta $U_{c0}=U_0/2$). In presenza del collegamento equipotenziale principale sappiamo che la tensione a cui è sottoposta una persona normalmente si riduce. Inoltre, dal momento che un guasto a terra può essere paragonato ad un corto circuito, la Norma assume convenzionalmente che la tensione si riduca del 20%. Se U_0 vale 230V e se Z_f è uguale a Z_{pe} (fino a sezioni di 16 mm² il conduttore di protezione ha normalmente la stessa sezione del conduttore di fase $Z_f=Z_{pe}$) dalla 7.8 si ottiene la tensione di contatto a vuoto:

$$\frac{0,8 \times 230}{1 + \frac{Z_f}{Z_{pe}}} = \frac{184}{1+1} = U_{c0} = 92V$$

Alla tensione di 92 V, sulla curva di sicurezza in condizioni ordinarie, corrisponde il tempo di 0,4 s. Per sezioni del conduttore di fase superiori a 16 mm² la sezione del conduttore di protezione è in genere la metà del conduttore di fase, Z_f è minore di Z_{pe} e la situazione peggiora essendo $Z_f/Z_{pe} = 0,5$.

La tensione di contatto U_{c0} diventa:

$$\frac{0,8 \times 230}{1,5} = U_{c0} = 122,7V$$

In questo caso la curva di sicurezza non è del tutto verificata. Nonostante le apparenze il sistema TN è abbastanza sicuro, va infatti ricordato che i valori di corrente che si presume possano attraversare il corpo umano in condizioni di guasto e che sono serviti per costruire la curva di sicurezza, si riferiscono a condizioni circuitali e ambientali molto

cautelative. Nella maggioranza dei casi le condizioni sono sicuramente migliori e solo in casi particolari sono possibili condizioni più gravose. Un caso critico, per altro poco frequente, è quello di **guasto non franco a terra** e cioè con l'interposizione di una resistenza tra la fase e la massa. Questa potrebbe limitare la corrente ritardando l'apertura del circuito senza ridurre la tensione di contatto entro i limiti di sicurezza. Ovviamente se la U_{C0} non supera in nessun punto i 50V non è necessario l'intervento delle protezioni. Dalla 7.8 se poniamo $U_{C0}=50V$, $U_0=230V$ e risolviamo rispetto a Z_p :

$$U_{C0} = 50 = \frac{0.8 \times 230}{1 + \frac{Z_f}{Z_{pe}}} = \frac{184}{\frac{Z_f + Z_{pe}}{Z_{pe}}} = \frac{184 \times Z_{pe}}{Z_f + Z_{pe}}$$

$$50 \times Z_f + 50 \times Z_{pe} = 184 Z_{pe}$$

$$50 \times Z_f = -50 \times Z_{pe} + 184 Z_{pe}$$

$$50 \times Z_f = 134 Z_{pe}$$

$$Z_{pe} = Z_f \times 0,373$$

$$Z_{pe} = \frac{Z_f}{2,68}$$

Se Z_{pe} è inferiore a $Z_f/2,68$ la tensione di contatto totale (cioè la tensione di contatto tra la massa interessata e il punto del sistema a potenziale zero) è inferiore a 50 V. Questo è impossibile da ottenere quando si fa uso esclusivamente del conduttore di protezione incorporato nel cavo di alimentazione, come normalmente accade negli impianti di tipo civile dove l'impianto, che si sviluppa prevalentemente in verticale, è dotato di un unico collettore di terra posto alla base dei montanti dal quale si dipartono i vari conduttori di protezione. Tali valori di Z_{pe} si possono invece ottenere facilmente negli impianti industriali nei quali al trasporto della corrente di guasto sono chiamati vari elementi dell'impianto di terra. Si potrebbe ad esempio far seguire al fascio di cavi di potenza un conduttore di protezione principale di notevole sezione cui potrebbero far capo i singoli conduttori di protezione degli utilizzatori e il conduttore di protezione principale che lungo il suo percorso potrebbe essere collegato anche ad un certo numero di collettori di terra. Questi potrebbero, a loro volta, essere collegati mediante conduttori di terra al dispersore a maglia, che partecipa al trasporto della corrente di guasto verso il centro stella del trasformatore. In questo modo il circuito di ritorno presenta un'impedenza molto bassa che permette di limitare la tensione di contatto al di sotto di 50 V). Con questo sistema si ottiene anche una buona equipotenzialità che riduce la tensione di contatto a valori ancora più bassi. Da notare che se nella peggiore situazione di guasto non viene superato sulle masse il valore della tensione di contatto limite (U_L - 50V gli ambienti ordinari - 25 V per quelli particolari) non si possono creare situazioni pericolose e le norme permettono di non attuare la protezione contro i contatti indiretti mediante il sistema ad interruzione automatica dell'alimentazione in tempi prestabiliti (messa a terra coordinata con il dispositivo di interruzione). Occorre però sottolineare che conoscere la tensione di contatto sulle masse non è sempre facile. La si può misurare immettendo una corrente di prova nel circuito e andando alla ricerca dei punti più pericolosi che però possono essere molto numerosi e quindi difficili da individuare. E' una ricerca molto delicata e che viene normalmente affidata all'esperienza del verificatore.

7.2.5 Interruttori differenziali e sistema TN

Tutte le preoccupazioni emerse sopra vengono meno utilizzando gli interruttori differenziali perché sono dispositivi in grado di aprire il circuito in centesimi di secondo (con le elevate correnti di guasto, tipiche dei sistemi TN, in 30-40ms). Non va dimenticato però che il vantaggio dei sistemi TN è quello di utilizzare i dispositivi di massima corrente per la protezione dai contatti indiretti: ricorrere agli interruttori differenziali vuol dire rinunciare a questo vantaggio. Bisogna infine ricordare che questi dispositivi possono essere utilizzati solo nei sistemi TN-S in quanto nei sistemi TN-C l'uso combinato del conduttore di neutro e di protezione ne impedirebbe il funzionamento in caso di guasto a terra. Nei sistemi TN si è detto che un guasto franco a terra costituisce un corto circuito monofase a terra quindi la corrente differenziale corrisponde ad una corrente di corto circuito. L'interruttore deve essere capace di interromperla poiché si è in presenza proprio di una corrente differenziale. Come per un interruttore magnetico contro il cortocircuito è stabilito il potere

d'interruzione, così per l'interruttore differenziale deve essere specificato il potere d'interruzione differenziale. Se il dispositivo non è dotato di sganciatori di sovracorrente nei sistemi TN occorre verificare che il potere d'interruzione differenziale sia maggiore della corrente presunta di cortocircuito monofase a terra. In alternativa il dispositivo differenziale deve essere associato ad un dispositivo di protezione di massima corrente capace di assicurare la protezione di tutto il circuito compreso il differenziale in situazione di cortocircuito (il coordinamento tra i vari dispositivi deve essere dichiarato dal costruttore).

7.2.6 Il neutro in condizioni anomale del circuito

In caso di anomalia nel circuito il neutro può assumere tensioni verso terra pericolose e tutte le masse assumono questa tensione anche se non sono interessate da nessun guasto d'isolamento. Queste tensioni possono essere originate o sull'impianto di terra del neutro o sul conduttore di neutro stesso. L'impianto di terra del neutro può introdurre tensioni pericolose a causa di un guasto sull'alta tensione o a causa di un guasto a terra sulla bassa tensione. Se un conduttore sulla distribuzione aerea in bassa tensione dovesse entrare in contatto col suolo, il circuito si chiuderebbe, verso il neutro in cabina, attraverso la resistenza verso terra R_E del conduttore in contatto col suolo e attraverso la resistenza R_n del neutro messo a terra in cabina. I dispositivi di protezione intervengono difficilmente entro i tempi previsti dalla curva di sicurezza per un guasto a terra in linea anche perché la corrente di guasto è limitata dalle resistenze di terra. Tale guasto può permanere per lungo tempo ed è necessario che la resistenza R_n sia di valore tale per cui la tensione applicata su di essa non superi il valore U_L di tensione limite; deve cioè essere rispettata la relazione :

$$R_n \times \frac{U_0}{R_E + R_n} \leq U_L \quad (7.16)$$

Da cui :

$$R_n \leq \frac{U_L}{U_0 - U_L} R_E \quad (7.17)$$

R_E = Resistenza di terra dell'elemento verso cui si è prodotto il guasto

R_n = Resistenza di terra del neutro

Questi problemi sono caratteristici dei sistemi di distribuzione dell'energia elettrica pubblica e quindi interessano in particolare le società distributrici (in ogni caso occorre sottolineare che si assumono valori convenzionali di R_n prudenziali per la messa a terra del neutro in cabina e lungo la linea). Al contrario in un impianto di distribuzione alimentato da propria cabina l'impianto di terra è unico e se si verifica un guasto verso una massa o una massa estranea, essendo queste collegate a terra, il conduttore di protezione cortocircuita la R_n del partitore di tensione costituito dalle resistenze R_n ed R_E . Se invece il guasto avviene verso il terreno (conduttore a contatto col suolo) in genere R_E ha valori piuttosto elevati e quindi la tensione sul neutro è in genere ridotta a valori non pericolosi. Oltre ai motivi indicati sopra, il neutro può assumere tensioni pericolose anche a causa di correnti di squilibrio elevate, corto circuito tra fase e neutro o interruzione del conduttore neutro stesso, anche se bisogna sottolineare che questi pericoli sussistono solo se il conduttore di neutro è utilizzato anche come conduttore di protezione (conduttore PEN poco usato). Da queste considerazioni si può concludere che il sistema TN deve essere utilizzato per gli impianti con propria cabina di trasformazione (Le norme CEI impongono il sistema TN per utenze di questo tipo) in quanto il sistema può essere gestito in modo tale da garantire i requisiti di sicurezza necessari, mentre, a causa dei complessi problemi di responsabilità tra utente e distributore (non è semplice per il distributore fornire i requisiti di sicurezza necessari), è preferibile l'utilizzo del sistema TT.

Circuito di guasto	La corrente di guasto si richiude attraverso il conduttore di protezione o attraverso il conduttore di protezione e l'impianto di terra quando l'impianto di terra è suddiviso in più parti sia in cabina che presso gli utilizzatori.
Impianto di terra	Utilizzatori e cabina hanno impianti di terra in comune
Protezione dai contatti indiretti	La tensione totale di terra presso gli utilizzatori dipende dall'impedenza dell'anello di guasto. La protezione può essere

	assicurata con l'interruzione del guasto, ottenuta per mezzo di interruttori magnetotermici o di relè differenziali, e garantendo una buona equipotenzialità.
Fornitura	Alimentazione in MT degli impianti che devono essere dotati di propria cabina di trasformazione MT/BT
Vantaggi	Il guasto viene interrotto tempestivamente all'insorgere del primo difetto di isolamento. Può essere evitato l'uso di relè differenziali.
Svantaggi	Il coordinamento delle protezioni magnetotermiche può essere difficoltoso. Impianto di terra costoso.

Tab. 7.4 – Principali caratteristiche di un sistema TN-S

7.3 Sistemi IT

7.3.1 Caratteristiche del sistema

Si ricorre al sistema di distribuzione IT negli impianti in cui è necessario garantire la continuità perché un disservizio potrebbe provocare gravi danni alla produzione (fig. 7.12). Questo sistema è caratterizzato dal fatto che il neutro è isolato o connesso a terra tramite impedenza di valore opportuno (alcune centinaia di ohm negli impianti 230/400 V) e le masse sono connesse a terra.

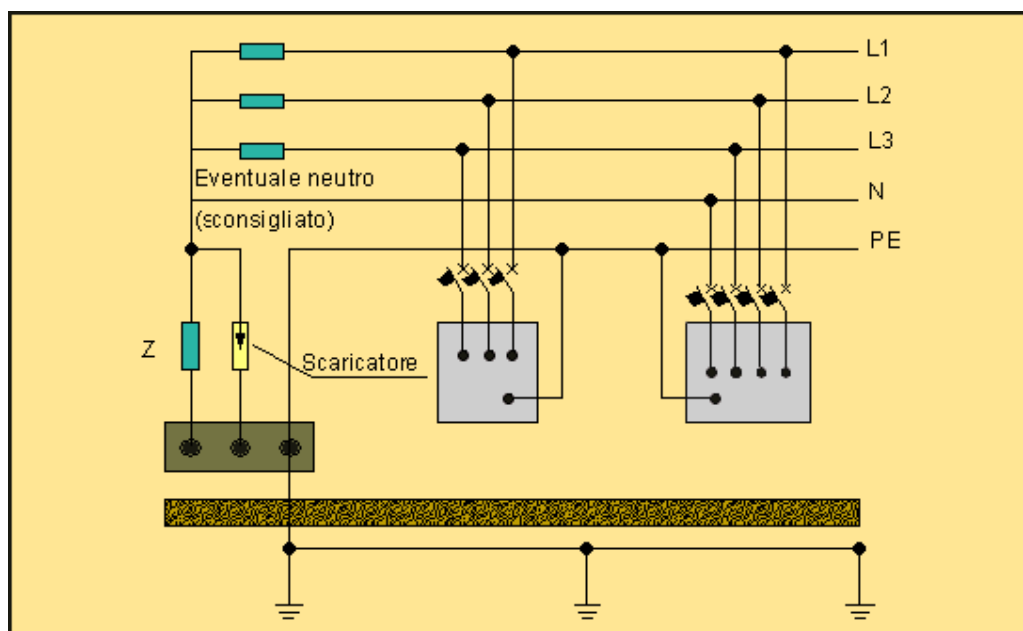


Fig. 7.12 - Sistema di distribuzione IT .

Un guasto a terra in un sistema con neutro isolato da terra provoca la circolazione di una piccola corrente di guasto dovuta principalmente all'accoppiamento capacitivo dei cavi ed in misura minore ai motori e agli altri componenti dell'impianto (fig. 7.13). La tensione limite U_L può essere facilmente contenuta entro valori non pericolosi in quanto, visto il modesto valore della corrente di guasto, è facile soddisfare la condizione :

$$R_T \times I_g \leq U_L \quad (7.18)$$

dove:

R_T è la resistenza, espressa in ohm, del dispersore al quale sono collegate le masse ;

I_g è la corrente di guasto, espressa in ampere, fra un conduttore di fase e una massa ;

U_L è il massimo valore ammissibile per la tensione di contatto in seguito ad un guasto a massa ($U_L=50$ V per ambienti ordinari, $U_L=25$ V per ambienti particolari).

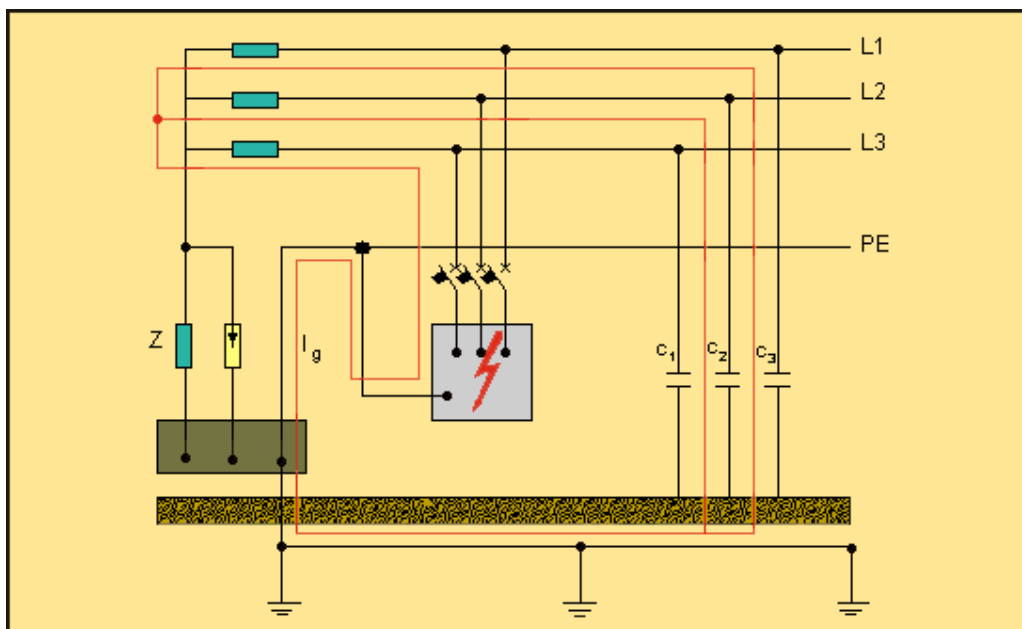


Fig. 7.13 – Percorso della corrente di primo guasto a terra in un sistema IT.

Se questa condizione è soddisfatta il guasto può permanere per un tempo indefinito senza che vi sia pericolo di contatti indiretti. Questa caratteristica è molto vantaggiosa in quegli impianti in cui l'interruzione del servizio può causare danni economici o causare pericolo per la salute delle persone. Le Norme CEI ne consentono l'utilizzo negli impianti di prima categoria dotati di cabina propria e prescrivono che la tensione limite sulle masse, a causa di un primo guasto a terra, non superi $U_L=50$ V per ambienti ordinari e $U_L=25$ V per ambienti particolari. In caso di contatto diretto la corrente che fluisce attraverso la persona è invece piuttosto pericolosa soprattutto nel caso di impianti con linee in cavo molto estese (se il neutro è isolato da terra e i circuiti sono poco estesi il contatto non è pericoloso trattandosi di misura di protezione per 'separazione elettrica'). Inoltre, in caso di permanenza di un primo guasto a terra, una persona che subisse un contatto diretto sarebbe sottoposta alla tensione concatenata anziché alla tensione stellata come invece succede in un sistema TT o TN. Per ovviare a questo inconveniente si rende necessario ricorrere ad un sistema di controllo continuo dell'isolamento verso terra, in modo che sia facile individuare ed eliminare un primo guasto a terra. Il dispositivo di controllo dell'isolamento è un apparecchio sempre inserito, regolato per una soglia di circa $0,4 M\Omega$ che segnala acusticamente o visivamente la mancanza di isolamento minimo prestabilito causato dal primo guasto verso terra. Per evitare manomissioni la regolazione deve essere effettuata solo tramite chiave o attrezzo. Al verificarsi di un allarme per caduta dell'isolamento deve far seguito una rapida ricerca del punto di guasto che può essere eseguita solo se si dispone di apparecchiature adeguate e di personale specializzato. Una particolare attenzione occorre avere per i luoghi MARCI dove il permanere di una corrente verso terra è poco gradita perché potrebbe produrre riscaldamento localizzati ed innescare un incendio. Inoltre allo stabilirsi di un secondo guasto si ha la circolazione su due circuiti di una sovracorrente il cui valore non è noto a priori e i dispositivi di protezione potrebbero non essere adatti a proteggere adeguatamente i circuiti. In questi luoghi è necessario impartire particolari istruzioni al personale affinché, scegliendo il momento più adatto, cioè quando il disservizio è minore, provveda ad aprire manualmente il circuito quando il dispositivo di controllo dell'isolamento segnala un primo guasto a terra.

7.1.1 Protezione dai contatti indiretti

Al primo guasto a terra sappiamo che la condizione 7.18 è facilmente soddisfatta ed un'eventuale resistenza di guasto (a differenza dei sistemi TT e TN) aumenta la sicurezza. Con il primo guasto a terra il sistema non è più isolato da terra e si trasforma in un sistema TT (fig. 7.14) o TN (fig. 7.15) a seconda che le masse siano collegate ad un unico impianto di terra o ad impianti di terra separati.

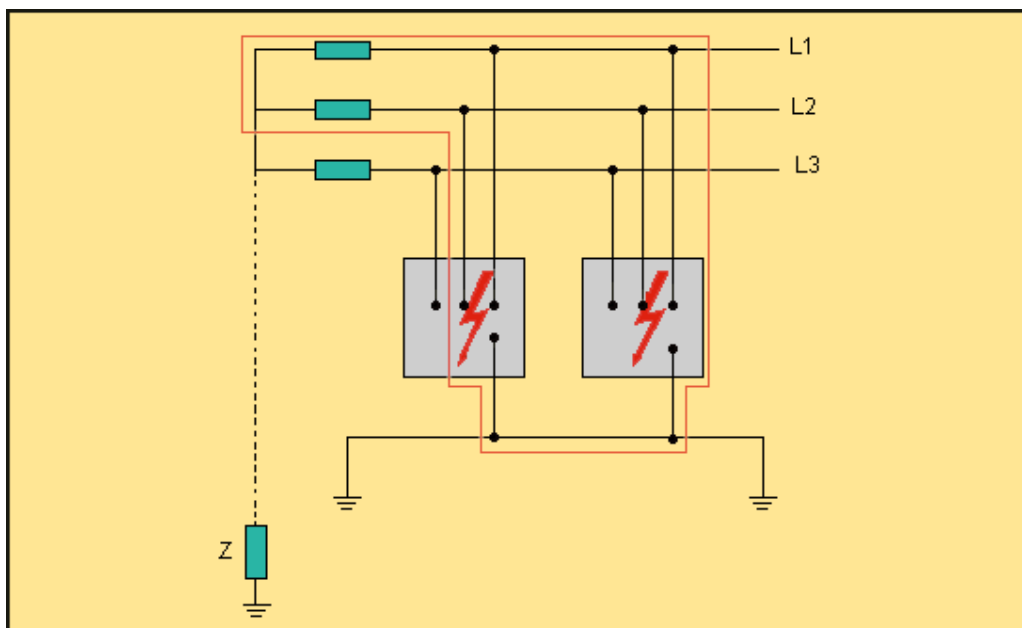


Fig. 7.14 – Impianto IT con le masse degli utilizzatori collegate ad uno stesso impianto di terra. A seguito di un primo guasto a terra il sistema IT si trasforma in un sistema TN.

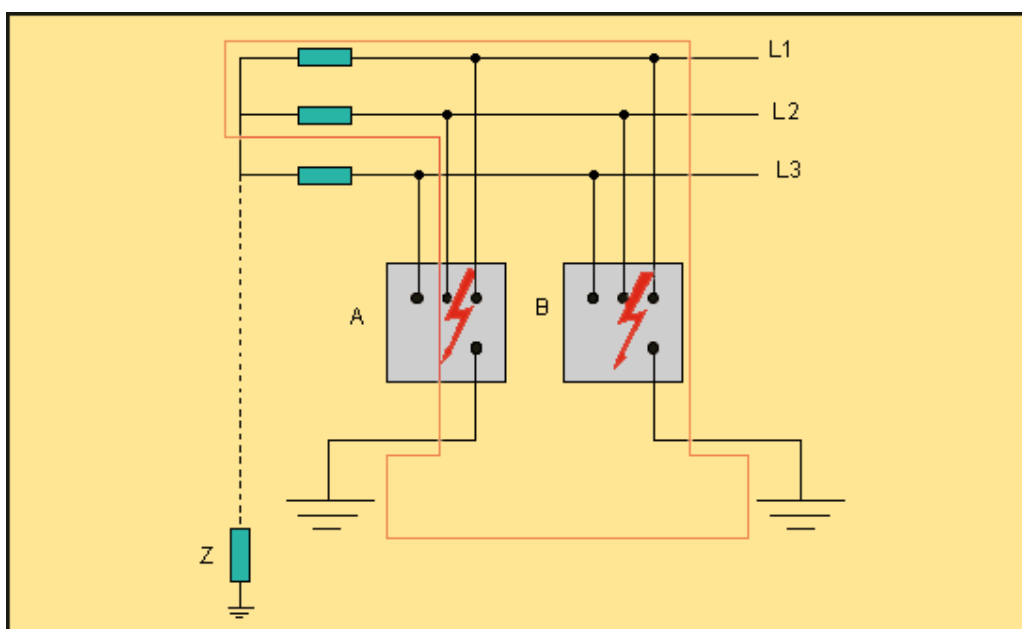


Fig. 7.15 – Impianto IT con le masse degli utilizzatori connesse a impianti di terra separati. A seguito di un primo guasto a terra il sistema IT si trasforma in un sistema TT.

In questo secondo caso, la corrente di guasto è normalmente in grado di far intervenire le protezioni di massima corrente. Se invece la messa a terra è ottenuta con impianti di terra separati la corrente di guasto potrebbe non essere in grado di far intervenire le protezioni di massima corrente. Se si usassero i relè differenziali si potrebbero verificare situazioni di disservizio dovute al loro intervento intempestivo per cui si ritiene normalmente più economico costruire un impianto di terra unico in modo da convertire il sistema IT in un sistema TN.

Le condizioni per assicurare la protezione contro i contatti indiretti devono quindi essere:

a) Conformi alle prescrizioni per i sistemi TT se le masse sono messe a terra singolarmente o per gruppi;

b) Conformi alle prescrizioni per i sistemi TN se le masse sono collegate allo stesso impianto di terra ma distinguendo tra impianto con neutro non distribuito e impianto con neutro distribuito.

Neutro non distribuito -Il doppio guasto interessa due fasi (fig. 7.16) come se si trattasse di un sistema TN con una tensione uguale a $\sqrt{3} \times U_0$. Purtroppo l'anello di guasto e la relativa impedenza non sono noti in quanto il guasto può avvenire in due punti qualsiasi dell'impianto. La Norma stabilisce convenzionalmente che l'impedenza dell'anello di guasto debba essere la metà di quella permessa per un sistema TN. In questo modo dovrebbe essere possibile l'apertura di almeno uno dei due circuiti guasti in un tempo stabilito come da tabella 7.5 (neutro non distribuito). La condizione da soddisfare quando il neutro non è distribuito diventa :

$$Z_s^1 \leq \frac{\sqrt{3} \times U_0}{2 \times I_a} = \frac{U}{2 \times I_a} \quad (7.19)$$

dove :

I_a è la corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione del circuito entro il tempo t specificato nella tabella 7.5 per i circuiti terminali che alimentano apparecchi trasportabili, mobili o portatili ed entro 5s per gli altri circuiti come per i sistemi TN;
 Z_s^1 è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore di fase e dal conduttore di protezione;
 U_0 è la tensione nominale tra fase e neutro;
 U è la tensione nominale tra fase e fase.

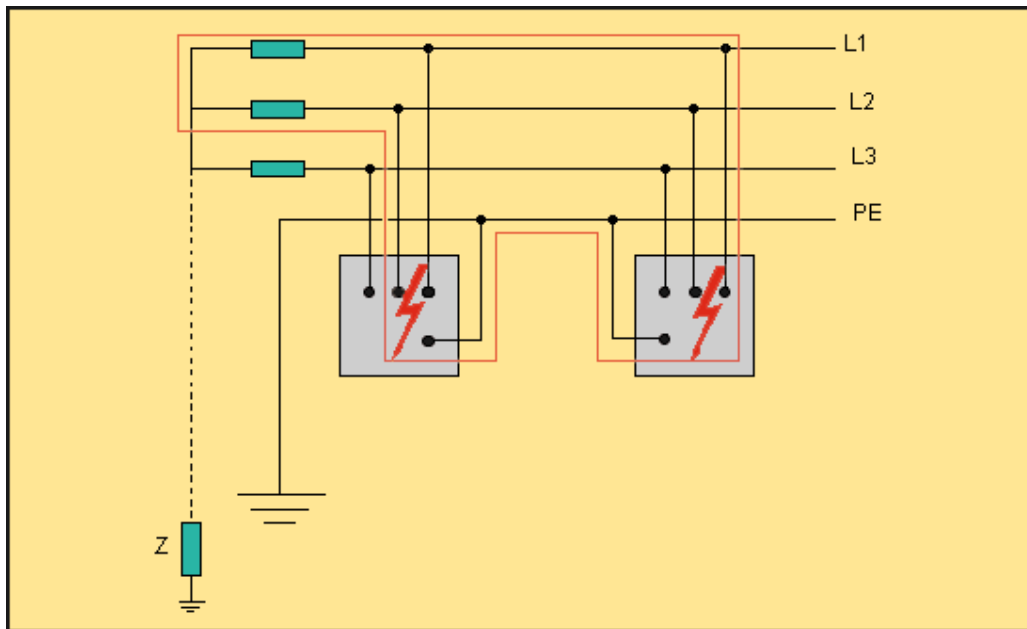


Fig.7.16 – Sistema di distribuzione IT. Circuito senza neutro distribuito

Protezione attiva dai contatti indiretti in relazione al sistema di distribuzione (7)

U_0 / U (V)	Tempo di interruzione (s)			
	Condizioni ordinarie ($U_L=50V$)		Condizioni particolari ($U_L=25V$)	
	Neutro non distribuito	Neutro distribuito	Neutro non distribuito	Neutro distribuito

120/240	0,8	5	0,4	1
230/400	0,4	0,8	0,2	0,4
400/690	0,2	0,4	0,06	0,2
580/1000	0,1	0,2	0,02	0,06

Tab. 7.5 – Tempo di interruzione massimo ammesso per secondo guasto nei sistemi IT

Il caso più pericoloso, il contatto simultaneo tra due masse, non è stato considerato in quanto si ritiene poco probabile un evento simile. La tabella si riferisce quindi ai tempi di intervento massimi per contatto con una sola massa.

- **Neutro distribuito** - Il doppio guasto può avvenire tra una fase e il neutro (fig. 7.17) ed in questo caso il circuito di guasto viene sostenuto da una tensione U_0 . La tensione è minore rispetto al caso precedente ma anche la corrente diminuisce facendo aumentare i tempi di intervento del sistema di protezione a tempo inverso. Va

$$Z_s^2 \leq \frac{U_0}{2 \times I_a}$$

quindi verificata la condizione :

dove:

I_a è la corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione del circuito entro il tempo t specificato nella tabella 7.5 per i circuiti terminali che alimentano apparecchi trasportabili , mobili o portatili ed entro 5s per gli altri circuiti come per i sistemi TN;

Z_s^2 è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal neutro e dal conduttore di protezione;

U_0 è la tensione nominale tra fase e neutro.

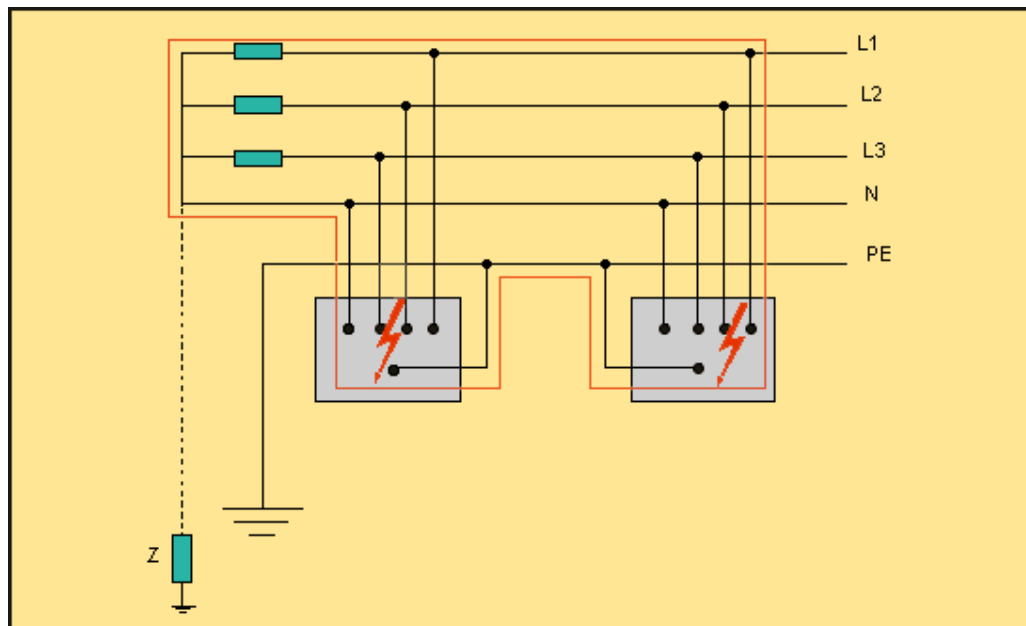


Fig.7.17 – Sistema di distribuzione IT. Circuito con neutro distribuito

In ogni caso la distribuzione del neutro è decisamente sconsigliata in un sistema IT anche perché è più facile mantenerlo isolato se non è distribuito. Il sistema IT presenta l'inconveniente di non essere protetto dai contatti accidentali con le reti a MT. Per questo motivo si prevede l'installazione di scaricatori tra il centro stella dell'avvolgimento di bassa tensione del trasformatore MT/BT e l'impianto di terra. Oltre a questo è utile osservare che i materiali isolanti devono essere dimensionati per funzionare per periodi piuttosto lunghi con tensioni verso terra che coincidono con la tensione concatenata del sistema.

<i>Circuito di guasto</i>	La corrente di primo guasto è di valore modesto e le tensioni di contatto non sono pericolose.
<i>Impianto di terra</i>	Impianto di terra degli utilizzatori separato
<i>Protezione dai contatti indiretti</i>	Al primo guasto non si ha l'intervento delle protezioni. Deve essere installato un controllore permanente dell'isolamento verso massa. In caso di doppio guasto la protezione può essere ottenuta per mezzo di interruttori di massima corrente o relè differenziali.
<i>Fornitura</i>	Impianti in cui la continuità del servizio è essenziale.
<i>Vantaggi</i>	L'impianto può continuare a funzionare anche dopo il primo guasto verso terra. Impianto di terra poco costoso.
<i>Svantaggi</i>	l'isolamento verso massa con segnalazione tramite allarme al primo guasto verso terra.

Tab. 7.6 – Principali caratteristiche di un sistema IT