

## CAP. VIII- PROTEZIONE E SICUREZZA DELLE PERSONE E DEI BENI, DEGLI IMPIANTI E DELLE APPARECCHIATURE – (PRIMA PARTE)

### VIII.1 Introduzione

La legislazione vigente tende a limitare per quanto possibile i rischi connessi con la utilizzazione dell'energia elettrica ed in genere con la presenza di campi elettromagnetici. La maggiore attenzione è ovviamente rivolta alla sicurezza delle persone in termini di danno immediato o prossimo, ma bisogna ovviamente prendere in considerazione anche eventuali danni significativi a cose, beni o ambiente.

Le sorgenti di danno sono spesso gli impianti ed i dispositivi costruiti dall'uomo; occorre tuttavia considerare sorvegliare con attenzione molti fenomeni naturali (ad es. fulmini, accumulo di cariche statiche, radiazioni,...).

Occorre inoltre considerare che vi possono essere danni direttamente collegati alle sorgenti elettromagnetiche (danni diretti, es. folgorazione) e/o danni provocati o originati da fenomeni elettromagnetici (danni indiretti, es. danni meccanici, cadute, incendi,...).

In questa prima parte si darà maggiore attenzione alle situazioni di pericolo per le persone in relazione ai sistemi destinati alla utilizzazione dell'energia elettrica ed ai provvedimenti per limitare i rischi.

La legislazione in tema di sicurezza è abbastanza tormentata ed oggetto di continue modifiche; il **decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81** rappresenta il testo unico di riferimento in materia di **tutela della salute e della sicurezza** nei luoghi di lavoro <sup>(1)</sup>. A tale testo (ed ai suoi prevedibili aggiornamenti) dovranno far puntualmente riferimento anche i futuri ingegneri nei vari ruoli di responsabilità lavorativa che essi andranno a ricoprire (datore di lavoro, preposto, funzionario, ...), ma anche in relazione alle figure professionali di progettista, direttore dei lavori, collaudatore, ...

Il suddetto decreto, nell'individuare attribuzione di responsabilità ed attività di formazione, tende a individuare l'entità del rischio di danno e a portarlo a valori accettabili. Esso si ricollega a strumenti legislativi precedenti (es D.Lgs.626/94 e L. 46/90<sup>(2)</sup>) ed a Norme Tecniche specifiche o *Standards*.

In Italia sono stati costituiti a suo tempo numerosi Comitati normatori. Nel settore elettrico, è di storico riferimento il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI); la documentazione è stata rivista ed armonizzata nell'ambito della Comunità Europea (con affiliazioni anche extra-europee) dal CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, European Committee for Electrotechnical Standardization), attivo dal 1973. La documentazione CENELEC consta di documenti di armonizzazione (HD) cui

---

<sup>1</sup> La versione ufficiale, con gli aggiornamenti sino all'agosto 2009, è attualmente reperibile alla pagina web [http://www.lavoro.gov.it/NR/rdonlyres/88EB5823-1FC9-403F-86E7-051227F6B32C/0/DLgs81\\_2008\\_integrato\\_DLgs106\\_2009.pdf](http://www.lavoro.gov.it/NR/rdonlyres/88EB5823-1FC9-403F-86E7-051227F6B32C/0/DLgs81_2008_integrato_DLgs106_2009.pdf)

<sup>2</sup> Recentemente integrata DM. 37/2008 del Ministero dello Sviluppo Economico in applicazione dell'art.11-XIV della legge fiscale 248/2005.

devono far riferimento le Norme nazionali e documenti propri approvati direttamente in sede europea (EN).

Nel più vasto scenario mondiale, un fondamentale riferimento nel settore elettrico rimangono da un lato le pubblicazioni della IEC (International Electrotechnical Commission)<sup>(3)</sup> risalente al 1904 e le attività del Consiglio Internazionale CIGRE <sup>(4)</sup> (Conseil International des Grands Réseaux Électriques, International Council on Large Electric Systems), fondato nel 1921, articolato in numerosi Gruppi di Lavoro <sup>(5)</sup>.

Il D.Lgs.81/2008 si riferisce esplicitamente al mondo del lavoro, ma le Norme riguardano in genere gli ambiti civili e militari (in questi ultimi ambienti possono essere previste norme più restrittive, come ad es. MIL-Standards <sup>(6)</sup>) nonché ambienti o situazioni speciali (es. navi o aeromobili, luoghi con pericolo di esplosione ed incendio, ecc...).

Le Norme, pur non avendo di per sé valore di legge, costituiscono un indispensabile punto di riferimento per la progettazione e la realizzazione di un impianto "a regola d'arte" <sup>(7)</sup>.

Per la produzione, commercializzazione ed uso di componenti e dispositivi elettrici è necessario il controllo della conformità a norme; la "conformità" dei singoli dispositivi e componenti viene identificata da appositi marchi (marcatore CE "Conformité Européenne" , IMQ "Istituto del Marchio di Qualità", CEI "Comitato Elettrotecnico Italiano").



Come indicato nella direttiva 93/465/CEE, è possibile scegliere la strada della presunzione di conformità che implica la conformità alle norme tecniche armonizzate redatte dai comitati tecnici nazionali, che forniscono un esempio di prodotto costruito a regola

<sup>3</sup> <http://www.iec.ch/tiss/iec/stat-2001e.pdf>

<sup>4</sup> <http://www.cigre.org/home.asp>

<sup>5</sup> Gli Standards e le Raccomandazioni di riferimento in varie parti del mondo presentano differenze anche significative. Su tali discrepanze vedasi il lavoro : H.Zhao, H. Griffiths, A. Haddad, A. Ainsley: *Safety-limit curves for earthing system designs: appraisal of standard recommendations* IEE Proc.-Gener. Trasm. Distrib., vol 152, n,6, nov.2005

<sup>6</sup> MIL-STD-810, "Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests"; si consulti ad esempio il sito <http://www.weibull.com/knowledge/milhdbk.htm>

<sup>7</sup> Si riporta integralmente la legge che definisce la posizione in tal senso delle Norme CEI:

**Legge 1 marzo 1968, n. 186** (G.U. 23-3-1968, n. 77) *Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazione e impianti elettrici ed elettronici:*

Articolo 1-Tutti i materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici devono essere realizzati e costruiti a regola d'arte.

Articolo 2 -I materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici realizzati secondo le norme del Comitato Elettrotecnico Italiano si considerano costruiti a regola d'arte.

d'arte (solo le norme *armonizzate* costituiscono la presunzione di conformità). L'altra strada, se il produttore decide di non attenersi alle norme, è quella di dimostrare, se richiesto, che i propri prodotti rispondono in ogni caso ai requisiti essenziali di sicurezza previsti dalle direttive applicabili al prodotto. La strada della presunzione di conformità è quindi una semplificazione. In alcuni casi la marcatura CE deve essere autorizzata da un *Ente terzo* (o Ente notificato). In tal caso, accanto al simbolo CE compare il numero dell'ente notificato. Per quanto riguarda le macchine rientranti nella Direttiva 98/37/CE, la loro conformità è data dal rispetto e dalla corretta applicazione delle norme armonizzate (norme EN), dall'oggettivazione di tale applicazione mediante la stesura dell'analisi dei rischi, dalla redazione di idonea documentazione tecnica (disegni meccanici, impiantistici e manuale d'uso), dalla preparazione della Dichiarazione di Conformità CE e dall'apposizione della targa CE. Per quanto riguarda l'installazione di impianti e macchinari, appositi decreti ministeriali fissano i requisiti dei soggetti abilitati al rilascio delle dichiarazioni di conformità.

Va espressamente ammonito l'allievo ingegnere sulla delicatezza di tale procedura che si fonda sulla assunzione di responsabilità da parte dello stesso produttore o dell'installatore. Una dichiarazione di conformità non veritiera comporta severe responsabilità civili e penali ricadenti sul produttore o sull'installatore, ma il professionista incaricato della realizzazione di un impianto o del suo collaudo non solo ha l'obbligo di controllare che i singoli dispositivi siano marcati CE e siano manifestamente conformi a norma, ma deve controllare e verificare che l'intero impianto sia conforme a norma (e qui assume una responsabilità più vasta) nonché conformi al progetto redatto da tecnico abilitato, che deve rispondere a sua volta alla norma <sup>(8)</sup>.

Questa "catena" di assunzione di responsabilità mediamente contribuisce al miglioramento delle condizioni di sicurezza. Ma, in caso di inconvenienti, le incertezze legate alla valutazione del rischio ed il rischio residuale comunque presente possono determinare di fatto seri problemi giudiziari e professionali. Il professionista deve sempre (oltre ad essere adeguatamente informato e formato) avere un atteggiamento prudente e critico.

In questa breve nota si ritiene di prescindere da una definizione formale del *rischio* e del *rischio accettabile*, rinviandola alle specifiche applicazioni ed alle indicazioni contenute nella normativa suddetta <sup>(9)</sup>.

---

<sup>8</sup> I soggetti abilitati a sottoscrivere la dichiarazione di conformità (laureati o diplomati) sono allo stato precisati nel l. D.M. 22-1-2008 n. 37 (Ministero dello sviluppo economico, Gazz. Uff. 12 marzo 2008, n. 61): *Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.*

<sup>9</sup> Per tale definizione ed approfondimenti si faccia riferimento al testo del prof. Vito Carrescia: *"Fondamenti di sicurezza elettrica"* Ed. TNE – Torino 2008. Tale testo – rivolto essenzialmente agli studenti di Ingegneria Elettrica - presenta un quadro molto ampio e dettagliato dell'intera tematica sulla sicurezza elettrica.

## VIII.2 Pericoli per le persone

Molte funzioni tipiche fondamentali degli organismi viventi sono interpretabili in chiave elettrochimica (*elettrofisiologia*). Fondamentali sono ad esempio i fenomeni osmotici ed elettroforetici sulle pareti cellulari, che implicano migrazioni ioniche obbligate e quindi la creazione o la presenza di campi elettrici quasi stazionari. Ma anche i grandi sistemi, quali quello nervoso e quello cardio-vascolare sono sommariamente schematizzabili in modelli circuitali a parametri concentrati o distribuiti. Le singole cellule possono essere sommariamente interpretate (in condizioni di riposo) come un circuito RC elementare dotato di un generatore di tensione del valore di circa 70 mV. La cellula si “attiva” tramite tensioni transitorie di tale ordine di grandezza fornite dal sistema nervoso o neuronale. La sovrapposizione di “segnali” dovuti a sorgenti esterne può chiaramente turbare tale funzionamento naturale, portando a conseguenze diverse a seconda delle caratteristiche del disturbo (intensità, frequenze tipiche, durata) e dall’organo interessato dal disturbo.

Gli effetti di sorgenti elettriche ed elettromagnetiche esterne variano da soggetto a soggetto e dipendono, come detto, da diversi fattori; in linea di massima, essi possono essere così classificati:

- a) percezione di fastidio più o meno lieve, formicolio,...<sup>(10)</sup>;
- b) tetanizzazione, ossia paralisi muscolare per “accecamiento” del comando cerebrale, che non consente il distacco volontario dal punto di contatto <sup>(11)</sup>;
- c) una fase avanzata della tetanizzazione, che porta alla paralisi dei centri respiratori, quindi danni cerebrali ed asfissia <sup>(12)</sup>;
- d) gli stimoli fisiologici cardiaci vengono “soffocati” dai segnali esterni; si può arrivare a condizioni cardiache particolarmente gravi, in particolare alla fibrillazione ventricolare con effetti irreversibili; se si supera la durata di due-tre minuti, sopravviene la morte.
- e) ustioni sulla pelle (per densità di corrente superiori a 50 mA/mm<sup>2</sup>).

La suddetta descrizione è puramente qualitativa; tuttavia si possono individuare alcuni parametri “macroscopici”, come tensioni e intensità correnti ammissibili e, ad esempio, la cosiddetta “resistenza equivalente” del corpo umano tra 500 e 3000  $\Omega$  <sup>(13)</sup>, a seconda delle condizioni della pelle e dei punti di contatto, dell’area di contatto, della pressione di

---

<sup>10</sup> La *soglia di percezione* è di circa 0,5 mA a 50 Hz.

<sup>11</sup> L’intensità di *corrente di rilascio* (valore limite per la tetanizzazione) è (convenzionalmente) di 10 mA a 50 Hz; pertanto essa viene considerata come soglia di pericolosità: una intensità inferiore a 10 mA può essere mediamente “sopportata” senza danno anche per tempi molto lunghi.

<sup>12</sup> Valori da 10 a 200 mA, con effetti dipendenti dalla durata del contatto (vedi appresso le *curve di pericolosità*).

<sup>13</sup> Il bipolo equivalente tra i due punti di contatto (es.: mano-suolo), come in tutti i casi di conduzione non metallica, può essere schematizzata con un resistore non lineare (con resistenza differenziale decrescente al crescere della tensione applicata). Tuttavia, per semplicità, in condizioni ordinarie si assume una resistenza convenzionale del corpo umano pari a 1000  $\Omega$ ; se opportuno, occorrerà riconsiderare il comportamento non lineare.

contatto, dalla tensione di contatto); si può considerare anche la schematizzazione del corpo umano in fasce parallele e trasversali e valutare l'incidenza sui muscoli cardiaci e sul cervello dei punti di contatto: considerando la probabile configurazione del campo di corrente associabile a diversi eventi, si può costruire una tabella di "fattori di percorso", indicante la maggiore o minore pericolosità del contatto (Tab.VIII.1): ovviamente il contatto più pericoloso (nella tabella) è quello che con maggiore probabilità coinvolge il muscolo cardiaco.

| Percorso                         | Fattore di percorso |
|----------------------------------|---------------------|
| Mani - Piedi                     | 1                   |
| Mano sinistra - Piede sinistro   | 1                   |
| Mano sinistra - Piede destro     | 1                   |
| Mano sinistra - Entrambi i piedi | 1                   |
| Mano sinistra - Mano destra      | 0,4                 |
| Mano sinistra - Dorso            | 0,7                 |
| Mano sinistra - Torace           | 1,5                 |
| Mano destra - Piede sinistro     | 0,8                 |
| Mano destra - Piede destro       | 0,8                 |
| Mano destra - Entrambi i piedi   | 0,8                 |
| Mano destra - Dorso              | 0,3                 |
| Mano destra - Torace             | 1,3                 |
| Glutei - Mani                    | 0,7                 |

Tab. VIII.1 - Fattori di percorso

Un grafico di riferimento per la *elettrocuzione* (termine indicante la migrazione a livelli pericolosi di cariche all'interno del corpo umano forzata da sorgenti esterne, spesso usata per indicare "folgorazione" o "shock elettrico") è indicato nella fig.VIII.1a<sup>(14)</sup>.

La zona 1 rappresenta la zona di non pericolosità; la zona 2 definisce la zona a pericolosità crescente con la durata della sollecitazione <sup>(15)</sup>, la zona 3 una zona di tetanizzazione che può portare rapidamente alla zona 4 (fibrillazione ventricolare e/o ustioni).

Sono tuttora in corso approfondimenti sul comportamento del corpo umano nel suo complesso e nel dettaglio dei vari organi <sup>(16)</sup>. Anche ai fini della individuazione delle caratteristiche della protezione che vedremo in seguito, si suole citare la cosiddetta

<sup>14</sup> Curve simili si hanno nel caso stazionario, con valori critici più elevati (cfr. fig. VIII.2). Per tempi di "esposizione" minori o molto minori di 10 ms i valori critici possono essere molto più elevati; basti pensare che l'esposizione ad una scarica elettrostatica ("ESD", electrostatic discharge) quale quella che "sperimenta" una persona con scarpe con soles isolanti nell'atto di aprire un'automobile (che a sua volta è isolata da terra dalle gomme) in giornate asciutte e ventose (per cui può aver luogo un significativo e diseguale accumulo di cariche sulla persona e sull'auto) comporta intensità di corrente anche di decine di ampere (i campi elettrici in gioco sono dell'ordine della decina di kilovolt al centimetro) e durate di qualche microsecondo; come tutti sappiamo, si hanno in genere sensazioni anche molto sgradevoli, ma nessun danno grave (N.B. occorre tuttavia considerare che l'elevato campo elettrico potrebbe determinare fenomeni di scarica in aria con temperature localmente molto elevate ed energie sufficienti ad innescare esplosioni in presenza, ad esempio, di vapori di benzina; ciò rientra in un discorso di sicurezza diverso, ma non certamente meno importante).

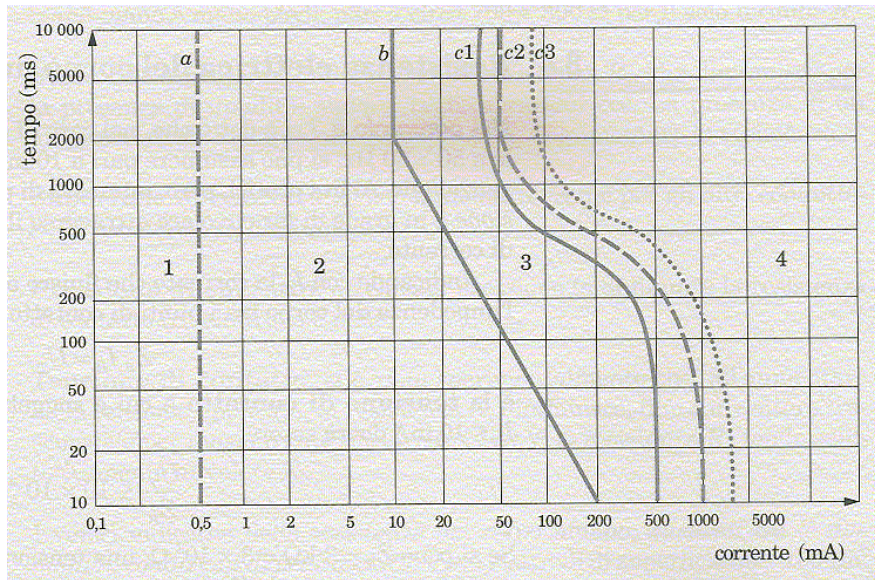
<sup>15</sup> la curva limite tra la zona 2 e 3 è parzialmente descritta dalla relazione  $I_{[mA]}=10+10/t$  (una retta nel diagramma logaritmico di fig. VIII.1), dove  $t_{[s]}$  è la durata della elettrocuzione; si nota che una intensità di corrente di 10 mA potrebbe interessare la persona senza provocare (nei casi ordinari) danni permanenti, anche se applicata per tempi lunghi. La curva  $c_1$  rappresenta il limite di danno grave per il 5% dei casi e la curva  $c_2$  per il 50% dei casi.

<sup>16</sup> Si veda ad esempio: P.E. Sutherland, D. Dorr, K. Gomatom: *Response to electrical stimuli* IEEE Industry Application Mag. -Mai/june 2009,

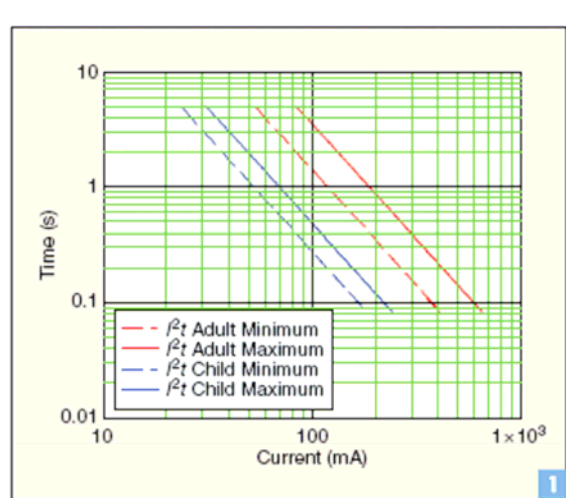
equazione della elettrocuzione per individuare il valore limite  $I^*$  dell'intensità di corrente in funzione della durata del contatto

$$I^{*2}t = K$$

La costante K varia a seconda del soggetto, come rappresentato nel diagramma logaritmo di fig.VIII.1b per persone adulte e bambini (17).



a)



b)

Fig. VIII.1a - Zone di pericolosità convenzionali IEC della intensità della corrente elettrica sinusoidale a 50, 60 Hz (valori efficaci).

17 Il grafico di fig.VIII.1b è in scala bilogarithmica ( $x=\log I^*$ ,  $y=\log t$ ); l'equazione della elettrocuzione è quindi rappresentata da una retta a pendenza negativa dal grafico si deduce l'intervallo di K (o meglio del  $\log K$ ) per ogni tipo di soggetto. Si osserva che a 5s il valore minimo della intensità pericolosa per i bambini è 25 mA e per gli adulti è 55 mA.

Nella fig.VIII.2 viene messo in evidenza che i valori di soglia di cui alla fig.VIII.1 dipendono dalla frequenza. A basse frequenze (come nel caso stazionario) possono intervenire fenomeni tipo saturazione, ad alte frequenze l'effetto pelle limita gli effetti del campo di corrente nelle zone interne. Si vede che le condizioni più pericolose si hanno proprio per le frequenze industriali (50-60 Hz)

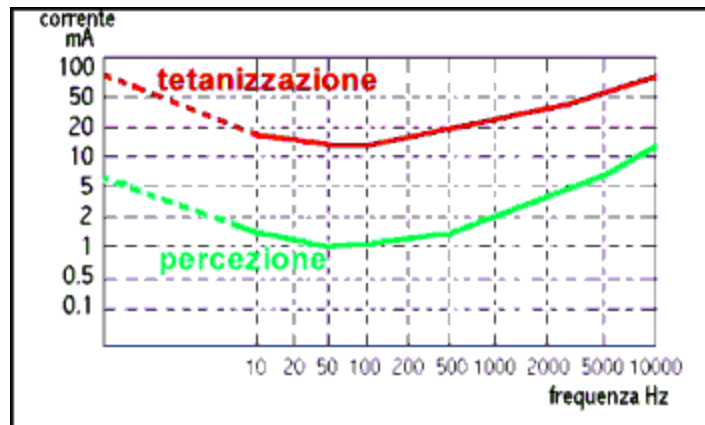


Fig. VIII.2 - Pericolosità della corrente elettrica al variare della frequenza

Nella figura VIII.3 viene riportata la "curva di sicurezza" in funzione della tensione applicata tra due punti del corpo umano (con fattore di percorso unitario). Le curve rappresentano la separazione fra zone non pericolose (a sinistra) e zone pericolose (a destra). Se tale tensione risulta applicata per contatto accidentale, essa viene chiamata *tensione di contatto* <sup>(18)</sup>. Come puntualizzato nel §VIII.3, in condizioni ordinarie, la "tensione di sicurezza" corrispondente a durata illimitata è di 50 V (in condizioni particolari definite dalle norme scende a 25 V). Tale valore viene assunto come valore di Bassissima Tensione di Sicurezza (BTS o SELV) <sup>(19)</sup>. Se la situazione garantisce che la tensione applicabile tra due punti del corpo umano è inferiore a tale limite, non occorre alcun dispositivo di protezione particolare <sup>(20)</sup>.

<sup>18</sup> Ci si riferisce ad un contatto generico, anche se il caso più frequente è quello della tensione fra mano e piedi a terra, per contatto accidentale di una mano con una massa, anche per le ragioni di configurazione dell'impianto, come si vedrà più avanti. Se la tensione risulta applicata ad una persona (o ad un animale) che cammina su una superficie, ad esempio il terreno, essa viene più specificamente chiamata *tensione di passo*. Il caso più infido è quello del contatto tra due mani, per giunta con i piedi dotati di scarpe isolanti; in questo caso la persona viene vista dal generatore a monte come un qualsiasi utilizzatore; tale caso, statisticamente poco rilevante tra la popolazione, diventa significativo proprio per gli addetti ai lavori (elettricisti) sia per il continuo accesso agli impianti, sia – purtroppo – per una fatale "confidenza" derivante dal numero di interventi tecnici già effettuati con successo.

<sup>19</sup> Oggi va usato l'acronimo "europeo" SELV (safety extra low voltage).

<sup>20</sup> Ciò vuol dire che è sostanzialmente garantita l'ordinaria sicurezza delle persone nei confronti del danno diretto da elettrocuzione; va comunque verificata la possibilità di danno indiretto ed il danno a beni e/o ambiente. Tensioni inferiori a 50 V ma non "sicure" possono essere usati nei circuiti PELV (protection extra light voltage) e FELV (functional extra light voltage) in cui i circuiti effettivamente "funzionano" a tensioni inferiori a 50 V, ma sono collegati o collegabili ad altri circuiti e quindi si possono configurare situazioni pericolose.

Se viceversa le tensioni sono superiori a tale valore, occorre che la tensione applicata alla persona sia rimossa tanto più rapidamente, quanto più è elevato il suo valore. Ad esempio, una tensione di valore efficace pari a 220 V va rimossa in un tempo inferiore a 0,2 secondi mediante interruttori automatici in ambienti ordinari, in circa 20 ms in ambienti speciali <sup>(21)</sup>.

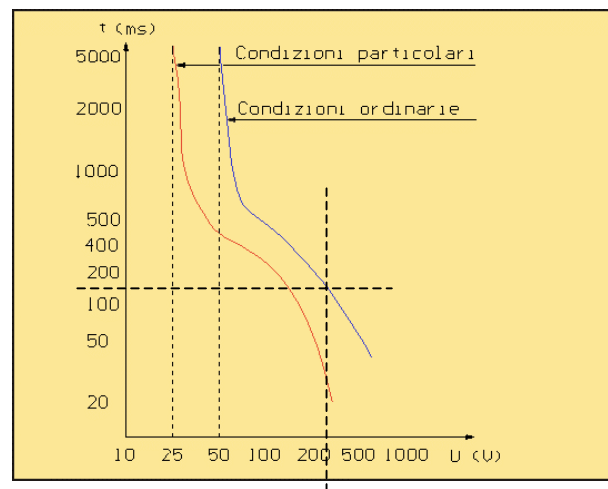


Fig. VIII.3 - Pericolosità della tensione al variare della durata del contatto

### VIII.3 Contatti diretti e indiretti

Nelle Norme (in questa nota si farà essenzialmente riferimento alla **Norma CEI 64-8 documento europeo HD 364**) viene precisato il valore di *tensione di contatto limite convenzionale*  $U_L$ , pari ordinariamente a 50 V in caso di alimentazione sinusoidale a frequenza industriale ("corrente alternata", c.a.) e 120 V nel caso stazionario ("corrente continua", c.c.) <sup>(22)(23)</sup>.

Nel caso di ambienti particolari la tensione limite è pari a 25 V c.a..La stessa Norma prevede infatti restrizioni molto più severe nei bagni, negli ambienti di benessere <sup>(24)</sup>, negli ambienti destinati all'uso agricolo e zootecnico, negli ambienti di lavorazione di materiali infiammabili o esplosivi.

Nel seguito si considererà fondamentalmente il caso di una persona in posizione eretta con i piedi (con scarpe ordinarie) sul pavimento di un ambiente o, se all'esterno, direttamente sul terreno e contatto attraverso la mano.

<sup>21</sup> Occorre adoperare opportuni interruttori (magnetotermici differenziali "rapidi", con tempi caratteristici di intervento di circa 10 ms).

<sup>22</sup> E' evidente l'improprietà d'uso dei termini "corrente alternata (c.a)" e "corrente continua (c.c.)" (ed i termini corrispondenti "alternating current (a.c.)" e "direct current (d.c.)", ma il loro uso è storicamente radicato ed è "ufficializzato" - allo stato - dalle Norme stesse.

<sup>23</sup> La norma CEI 64-8 si applica a circuiti con tensioni non superiori a 1000 V c.a. e 1500 V c.c. .

<sup>24</sup> dove le tensioni limite scendono anche a 12V c.a..



Situazioni diverse (ed anche molto più pericolose) vanno studiate a parte, ad esempio in presenza di umidi o addirittura in bagni e piscine, nonché in situazioni molto delicate (es. casi di operazioni chirurgiche o indagini di tipo medico).

Altre norme riguardano impianti a bordo di navi (CEI-18) o a bordo di velivoli con carlinga isolante o conduttiva. Altre norme riguardano gli impianti in ambienti con pericolo di esplosione o incendio. Alcuni casi sono ancora allo studio.

L'elenco completo delle Norme CEI è reperibile sul sito ( <http://www.ceiweb.it/> ).

### VIII.3.1 Definizioni

#### Tipi di isolamento:

**Isolamento funzionale:** isolamento esistente tra le parti attive e tra queste e la carcassa di un apparecchio elettrico. Senza questo isolamento la macchina non potrebbe funzionare.

**Isolamento principale:** isolamento delle parti attive necessario a proteggere contro i contatti diretti (vedi appresso).

**Isolamento supplementare:** isolamento che garantisce la protezione delle persone nel caso di cedimento dell'isolamento principale.

**Doppio isolamento:** isolamento principale più isolamento supplementare.

**Isolamento rinforzato:** sostituisce il doppio isolamento se garantisce lo stesso grado di protezione.

#### Massa

Parte conduttrice facente parte dell'impianto elettrico, che può essere toccata senza determinare per le persone tensioni di contatto significative, salvo il caso di cedimento dell'isolamento principale. Tipico esempio: involucro metallico o carcassa di una macchina elettrica. Una parte conduttrice che avvolge una parte a doppio isolamento non è da considerare una massa.

#### Massa estranea

Parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico, in grado di determinare significative tensioni di contatto o nel caso di collegamento elettrico col terreno (tubazione idrica interrata, l'armatura del cemento armato, strutture portanti di edifici metallici ecc..) o in caso di contatto con un conduttore di fase (tubo che si collega con l'impianto idrico del condominio ed in particolare ad uno scaldacqua che può portarsi in condizioni di guasto). Convenzionalmente, una struttura non facente parte dell'impianto elettrico si considera "massa estranea" se la sua resistenza rispetto alla "terra"<sup>(25)</sup> è inferiore a 1000  $\Omega$  per gli ambienti normali e 200  $\Omega$  per gli ambienti particolari.

---

<sup>25</sup> Per "terra" si intende un qualsiasi punto di una zona che possa ritenersi sufficientemente equipotenziale (a cui si attribuisce il *potenziale di terra*, convenzionalmente nullo); nel caso del dispersore interrato può definirsi "terra" qualsiasi punto del terreno a distanza pari a 5-6 volte la massima larghezza o profondità del dispersore (vedi §VIII.5).

## Contatto diretto

Si parla di *contatto diretto* quando si entra in contatto con una parte “attiva” dell’impianto e cioè con conduttori costituenti funzionalmente il circuito elettrico e che possono essere in tensione rispetto a terra, ad esempio i conduttori di una linea elettrica compreso il neutro ma escluso il conduttore PEN. Il contatto diretto può avvenire anche tramite una parte conduttrice purché non sia una massa o in contatto con una massa.

## Contatto indiretto

Un *contatto indiretto* è il contatto di una persona con una massa o con una parte conduttrice a contatto con una massa durante un guasto all’isolamento (ad esempio la carcassa di un elettrodomestico). Mentre ci si può difendere dal contatto diretto, mantenendosi a distanza dal pericolo visibile, nel contatto indiretto, essendo il pericolo invisibile, ci si può difendere solo con un adeguato sistema di protezione.

## Conduttore di protezione (PE)

Conduttore (di sezione opportuna) non facente parte del circuito ed ordinariamente non interessato da corrente, destinato a collegare le masse (e masse estranee) al dispersore di terra; il conduttore PE di protezione elettrica ha rivestimento isolante tassativamente di colore giallo-verde. Esso va collegato al dispersore di terra o al collettore locale (barra equipotenziale) a sua volta collegato al dispersore o al sistema di dispersori attraverso robusti conduttori di terra. Il collegamento di sole masse estranee viene effettuato da conduttori di protezione di sezione più modesta costituenti i “collegamenti equipotenziali”.

Nei sistemi (o parti di sistema) TN-C è presente un **conduttore PEN**, unico conduttore avente la funzione di protezione (PE) e di neutro (N).

## Impianto di terra <sup>(26)</sup>

Sistema costituito dai dispersori, dai conduttori di terra, dai collettori, dai collegamenti equipotenziali.

### VIII.3.2 Classificazione dei sistemi elettrici in relazione alle tensioni nominali

La **tensione nominale**  $U$  di un sistema è il valore efficace della tensione (opportunamente arrotondato per eccesso) con il quale il sistema è denominato ed al quale sono riferite le sue caratteristiche; nel caso di sistemi trifase simmetrici ci si riferisce – salvo avviso contrario – al valore efficace della tensione concatenata.

La **tensione nominale verso terra** è la tensione (dipendente dallo stato del neutro) verso terra: nei sistemi trifasi con neutro a terra essa è pari alla tensione stellata. Nei sistemi

---

<sup>26</sup> Gli impianti di terra sono regolati dalla Norma CEI 11-1 (derivante dalla Norma Armonizzata HD 637). Gli impianti di terra installati presso i luoghi di lavoro (DPR 462/2001) devono essere dichiarati conformi a norma da soggetti abilitati e denunciati su apposite schede all’ISPESL e all’ ASL/ARPA territorialmente competenti. Essi vanno sottoposti a verifica biennale. Analoga procedura si applica per gli impianti dispersori per fenomeni atmosferici (fulmini) (norme di riferimento CEI 81-1... 4).

trifase isolati da terra tale tensione si assume convenzionalmente come valore della tensione verso terra la tensione concatenata riferendosi per prudenza al caso del guasto monofase a terra. La tensione verso terra è importante per la sicurezza perché i contatti più frequenti si hanno tra mani e piedi tra una parte in tensione e la terra.

I sistemi elettrici vengono così classificati:

**Sistema di categoria 0** :  $U \leq 50$  V in regime sinusoidale a 50 Hz (c.a.) e  $U \leq 120$ V in caso stazionario (c.c.). I sistemi di categoria 0 a bassissima tensione (idoneamente separati da altri impianti attivi e di terra) si suddividono in SELV ( già BTS) sistemi a bassissima tensione di sicurezza; PELV sistemi a bassissima tensione di protezione; FELV ( già BTF) sistemi a bassissima tensione funzionale.

**Sistemi di categoria I** :  $50V < U \leq 1000$  in c.a. e  $75V < U \leq 1550$ V in c.c.

**Sistemi di categoria II** :  $1000V < U \leq 30000$ V in c.a. e  $1500V < U \leq 30000$ V in c.c.

**Sistemi di categoria III** : con  $U > 30000$  V sia in c.a. che in c.c.

Il DPR 547/1955 fissa il limite tra alta e bassa tensione a 400V c.a. ed a 600V c.c.

### VIII.3.2 Classificazione dei sistemi elettrici in relazione ai collegamenti verso terra

I sistemi elettrici trifase sono classificati in base allo stato del neutro (prima lettera) e delle masse (seconda lettera) rispetto alla terra:

1<sup>a</sup> lettera = T : Il neutro è collegato a terra

1<sup>a</sup> lettera = I : Il neutro non è presente o non è collegato a terra oppure è collegato a terra tramite un'impedenza di valore sufficientemente elevato

2<sup>a</sup> lettera = T : Masse collegate a terra

2<sup>a</sup> lettera = N : Masse collegate al neutro del sistema

Fondamentalmente esistono tre tipi di sistemi elettrici di distribuzione:

1) **Sistema TT**: il centro stella (e quindi il neutro) ha un proprio impianto di terra in cabina; le masse sono collegate all'impianto di terra locale dell'utente mediante il conduttore di protezione (PE). Il conduttore di neutro è considerato attivo a tutti gli effetti (può assumere tensioni pericolose) come tale deve essere sezionabile; gli interruttori devono aprire su tutti i poli. Il conduttore PE invece non deve mai essere sezionato.

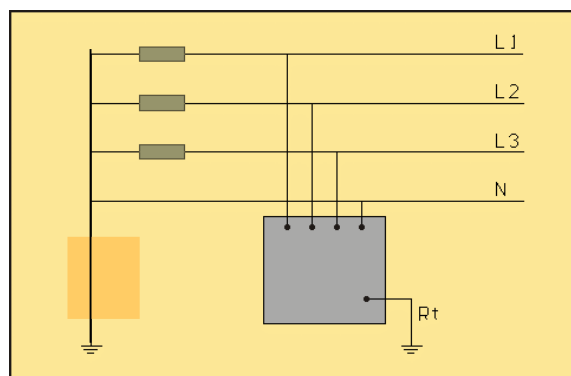


Fig. VIII.4 - Sistema TT. Il neutro è collegato a terra in cabina mentre le masse sono collegate ad un impianto di terra locale.

2) **Sistema TN**: il neutro in cabina è collegato a terra e le masse sono collegate direttamente al neutro (TN-C “comune” - il neutro, fungendo anche da conduttore di protezione, non deve essere sezionabile e deve avere sezione rispondente alle normative sugli impianti di terra) oppure tramite il conduttore di protezione (TN-S “separato”- le norme richiedono il sezionamento del neutro solo nei circuiti a due conduttori fase-neutro aventi a monte un dispositivo di interruzione unipolare come ad esempio un fusibile; comunque il sezionamento del neutro non è vietato negli altri casi). Un sistema TN si realizza localmente (es. in uno stabilimento o in un laboratorio) mediante trasformatore: un morsetto (o, nel caso trifase il centro stella) del secondario va collegato con le masse metalliche all'impianto di terra in un unico punto (*nodo principale o barra equipotenziale*).

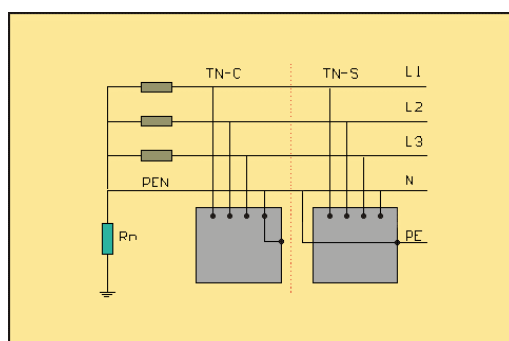


Fig. VIII.5 - Sistema TN. Il neutro è collegato direttamente a terra in cabina. Le masse sono collegate al conduttore di neutro direttamente (TN-C) o tramite un conduttore di protezione (TN-S). Se il conduttore di neutro funge anche da conduttore di protezione prende il nome di PEN.

3) **Sistema IT**: il neutro è isolato o collegato a terra tramite impedenza mentre le masse sono collegate ad una terra locale (il neutro deve essere sempre sezionabile) <sup>(27)</sup>. Questo è un sistema utilizzato per impianti con particolari esigenze di continuità di esercizio purché vi sia un collegamento ad un unico impianto di terra delle parti metalliche da proteggere, la tensione sulle masse non superi i 25V nel caso di primo guasto a terra, il tempo di

<sup>27</sup> Il neutro potrebbe anche essere assente; in tal caso le utenze monofasi sono alimentate dalla tensione concatenata e le masse sono collegate a terra tramite un conduttore PE.

intervento del dispositivo di protezione non superiori i 5s quando si verifica il secondo guasto a terra e vi sia un dispositivo di controllo continuo dell'isolamento delle parti attive verso terra.

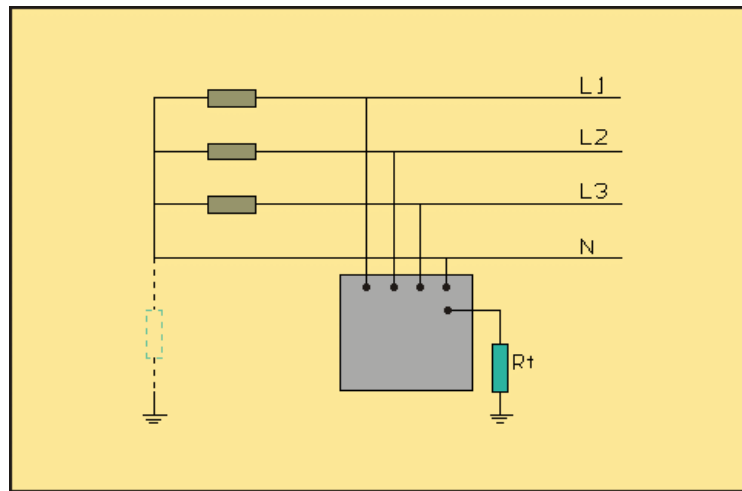


Fig.VIII.6 - Sistema IT

## VIII.4 Protezione contro i contatti diretti

### VIII.4.1 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.

#### 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.

## Definizione del grado 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 una terza lettera addizionale (tab. VIII.2- a e 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, 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. 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>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 Ø50 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 Ø 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 Ø 2.5 mm non deve poter passare attraverso l'involucro.  |
| 4  | Protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 1,0mm. Un filo di Ø 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. VIII.2a - Grado di protezione contro corpi estranei

| <i>Grado di protezione contro i liquidi</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 VIII.2.b - Grado di protezione contro i liquidi

## 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 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.

**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** - Si realizza mediante l'impiego di opportuni trasformatori [trasformatore di isolamento <sup>(28)</sup>].

**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). Tale protezione consiste nel realizzare locali in cui il pavimento e le pareti presentino una resistenza verso terra di 50k $\Omega$  per tensioni fino a 500V e 100k $\Omega$  per tensioni superiori a 500V. Non possono

---

<sup>28</sup> Un *trasformatore di isolamento* è un trasformatore a rapporto (in genere) unitario con isolamento particolarmente curato, che separa elettricamente l'alimentazione principale (primario) dalla alimentazione locale (secondario, isolato da terra e dalle altre masse); il contatto – diretto o indiretto - di una persona con i conduttori "attivi" del secondario non risulta pericoloso in quanto il ramo contenente la persona non si "richiude" sull'alimentatore, più precisamente si richiude per "spostamento" ossia tenendo conto di piccole capacità equivalenti. L'uso del trasformatore di isolamento è limitato dal costo e dal consumo dello stesso.

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.


### **Locali resi equipotenziali e non connessi a terra.**

#### **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 persona 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. L'unico dispositivo in grado di aprire il circuito in casi del genere è l'interruttore ad alta sensibilità (intensità della corrente differenziale di intervento  $I_{\Delta n}$  non superiore a 30 mA – vedi paragrafo successivo)

#### **VIII.5 Protezione contro i contatti indiretti**

Nei sistemi TT esiste un impianto di terra locale in prossimità dell'utenza, collegante le masse metalliche (conduttori giallo-verdi) e terminante con uno o più dispersori ben immersi nel terreno. In caso di cedimento dell'isolamento principale, il dispersore può essere interessato da una intensità di corrente di guasto dipendente dalle caratteristiche del circuito di alimentazione a monte e dalla effettiva configurazione dell'impianto di terra (costituito dal dispersore interrato, dal conduttore o cavo di terra giallo-verde e dalle eventuali nodi equipotenziali e collegamenti relativi), nonché dalla resistenza equivalente tra il dispersore locale e un punto sufficientemente lontano, nota come *resistenza di terra* (vedi appresso).


La presenza dell'impianto di terra è indicata sugli schemi (ed in loco, in prossimità del nodo equipotenziale e del dispersore) dal simbolo  (29).

#### **Definizione e determinazione analitica della resistenza di terra**

La *resistenza di terra* può essere significativamente definita e valutata a partire dal caso del dispersore emisferico (fig. VIII.7). Si farà riferimento ad un caso stazionario oppure ad un caso monofase in un sistema trifase spurio.

Si considerino due elettrodi sferici concentrici a potenziale  $V_1$  e  $V_2$  (la tensione applicata tra gli elettrodi è  $V_{12}=V_1-V_2$ ) separati da un mezzo conduttore omogeneo (terreno di resistività  $\eta$ ), interessato da un campo di corrente a simmetria radiale. La distribuzione del potenziale  $V(r)$  e di campo elettrico e di corrente sono immediatamente determinabili applicando la II equazione integrale di Maxwell (legge di Gauss).

---

<sup>29</sup> Col simbolo  si intende genericamente una "massa" (es il telaio di un dispositivo elettrico od elettronico)



Il campo *emisferico* si ottiene da quello a simmetria sferica considerando un taglio equatoriale<sup>(30)</sup>. Considerando due elettrodi emisferici separati da un mezzo conduttore di resistività  $\eta$ , a parità di tensione applicata, la intensità di corrente  $I'_{12}$  è dimezzata rispetto alla intensità di corrente  $I_{12}$  del caso sferico; la resistenza tra i due elettrodi può essere calcolata come:  $R'_{12} = \frac{\eta}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ ; portando  $r_2$  a valori molto grandi rispetto a  $r_1$  si definisce

appunto la *resistenza di terra*  $R_{1\infty} = R'_{12} \Big|_{r_2 \rightarrow \infty} = \frac{\eta}{2\pi r_1} = R_T$ <sup>(31)</sup>.

La distribuzione di potenziale *al suolo* vale  $V_1 - V(r) = \frac{\eta}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right) I'_{12}$

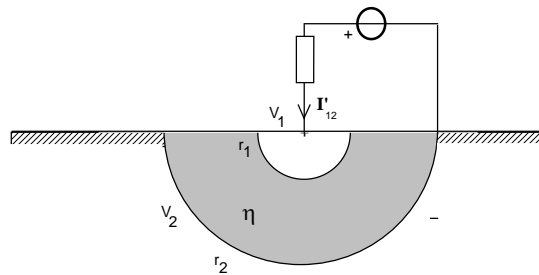


fig.VIII.7 Dispersore emisferico

Per  $r_2$  tendente a valori infinitamente grandi (generatore "lontano"), si ha appunto la configurazione del *dispersore di terra* emisferico, in intimo contatto con il terreno, che può essere inserito in un impianto di terra<sup>(32)</sup>. In condizioni di perdita accidentale dell'isolamento tra un conduttore della linea di alimentazione di una apparecchiatura e la carcassa metallica dell'involucro della stessa, il collegamento linea - involucro - persona - terreno, richiudendosi sul generatore, può essere interessato da corrente elettrica. La tensione  $V_{AB}$  applicata al corpo umano (fig.VIII.8) è la *tensione di contatto*. La tensione tra la massa metallica ed un punto infinitamente lontano viene definita dalla Norma CEI 11-1 come *tensione totale di terra*.

<sup>30</sup> che assicura le stesse condizioni al contorno e quindi l'unicità della soluzione (vedi Appendici).

<sup>31</sup> col pedice T si è qui generalmente inteso un parametro riferito all'impianto di terra o al terreno; nei documenti di armonizzazione europei si dà indicazione di adoperare il pedice E (earth); col pedice H si intende un parametro riferentesi ad una persona, nei documenti di armonizzazione si dà indicazione di adoperare il simbolo B (body).

<sup>32</sup> E' molto diffuso il dispersore detto *puntazza* o *spandente* consistente in un paletto metallico conficcato per 1-2 m nel terreno; anche in questo caso può essere analiticamente valutata la distribuzione del campo e la resistenza di terra (vedi appendici). Altri tipi di dispersori (a reti o a lastre) sono comunemente impiegati per le terre di cabina.

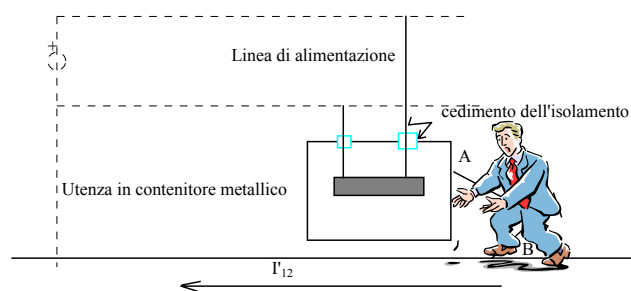


fig.VIII.8 – Contatto indiretto

In caso di contatto indiretto l'intensità di corrente (valore efficace) che interessa il corpo umano può essere valutata (cfr.§VIII.5.1) come <sup>(33)</sup>

$$I_h \leq \frac{E}{R_g + R_H + R_{TH} + R_{TG}}$$

dove i termini a denominatore tengono conto dei parametri equivalenti alla linea di alimentazione e al guasto ( $R_g$ ), al corpo umano ( $R_H$ ), alla presenza del suolo ( $R_{TH}$  e dell'impianto di terra nei pressi del generatore ( $R_{TG}$ ).

Nel caso che la fig.VIII.8 si riferisca ad una alimentazione trifase con neutro o ad una monofase (o ad una in regime stazionario), tale intensità di corrente si aggiunge a quella assorbita dal carico creando così una differenza tra le intensità di corrente che interessano le due linee di alimentazione. Un dispositivo detto *interruttore differenziale* può determinare l'apertura del circuito di alimentazione quando la differenza supera una soglia di sicurezza (es. 30 mA negli ambienti ordinari e 10 mA negli ospedali o nei locali igienici). Esso interverrebbe quindi nel caso di contatto accidentale della persona, che comunque per qualche secondo è interessato da *shock elettrico* ("scossa"); per evitare questa spiacevole esperienza occorre che la "differenza" venga percepita automaticamente dall'impianto in occasione dell'insorgere del guasto con l'uso del *collegamento a terra della massa*.<sup>34</sup>

La **messa a terra** consiste nel collegare la carcassa al dispersore di terra attraverso un conduttore (giallo-verde) di opportuna sezione (fig. VIII.9); in tal caso l'intensità di corrente che interessa il corpo umano  $I_H$  è ridotta rispetto alla intensità di corrente interessante l'impianto di terra, in quanto il corpo umano si trova, in prima approssimazione, in un "ramo parallelo" al "ramo" contenente il dispersore, che dovrà quindi costituire un ramo di resistenza equivalente molto minore della resistenza equivalente del corpo umano nelle peggiori condizioni di appoggio a terra.

<sup>33</sup> Si tengono in conto solo parametri resistivi;  $R_{TG}$  è la resistenza interna del generatore e della linea di collegamento (fase),  $R_H$  è la resistenza equivalente del corpo umano tra il punto di contatto A ed (di norma) i piedi B,  $R_{TH}$  è una resistenza equivalente che comprende la "resistenza totale di terra" e la resistenza di contatto tra piedi e terra profonda e tiene conto evidentemente anche della presenza di scarpe di cuoio o gomma.

<sup>34</sup> L'interruttore differenziale può essere utilizzato anche nel caso di sistema trifase a tre o a quattro fili, sempreché il generatore sia collegato a terra, rilevando che la somma delle tre o delle quattro intensità di corrente non è nulla. Il campo magnetico netto creato dalla risultante è utilizzato per azionare un leverismo di sgancio per l'apertura del circuito.

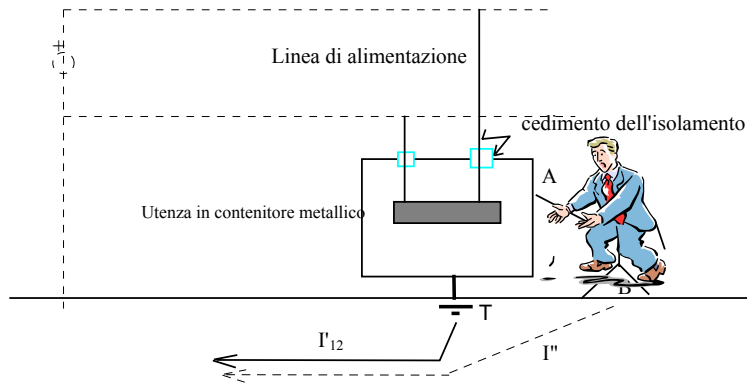


fig.VIII.9

Per il dimensionamento del dispersore, occorre quindi conoscere la massima corrente di guasto verso terra  $I'_{12M}$ , la *resistenza di terra* del dispersore deve essere quindi, cautelativamente,

$$R_T = R'_{1\infty} = \frac{\eta}{2\pi r_1} < \frac{50}{I'_{12M}}$$

Il valore richiesto sarà tanto più facilmente realizzabile quanto più conduttivo è il terreno ( $\eta$  varia da 30-200  $\Omega m$  per i terreni argillosi ad oltre 1000  $\Omega m$  per i terreni rocciosi) e quanto minore è la corrente massima di guasto che determina l'intervento della protezione nei tempi opportuni (vedi paragrafi successivi).

Tuttavia, la presenza dei dispersori affioranti come quello emisferico comporta di per sé una insidia: in prossimità degli stessi occorre controllare la **tensione di passo**, ossia la massima tensione che può stabilirsi tra due punti del corpo umano poggiati al suolo (tipicamente tra i due piedi di una persona che cammina nei dintorni del dispersore) (fig.VIII.10). Anche la tensione di passo deve essere inferiore a 50 V <sup>(35)</sup>.

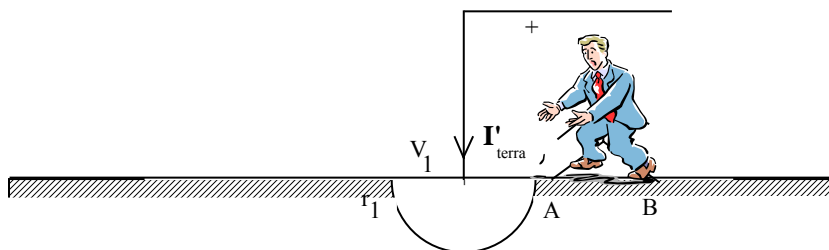


fig.VIII.10 – Tensione di passo

La tensione di passo (indicando con  $p$  la distanza di un passo, tipicamente pari a 1m) vale

$$V_1 - V(r_1 + p) = \frac{\eta}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + p} \right) I'_{12} = R_T I'_{12} \left( 1 - \frac{r_1}{r_1 + p} \right) = R_T I'_{12} \left( \frac{p}{r_1 + p} \right)$$

<sup>35</sup> La misura della tensione di passo (e contatto) è rituale nel caso di impianti MT (II categoria) e AT (III categoria).

ed è quindi opportuno, per sicurezza, spesso maggiorarla con la tensione

$$V_{1\infty} = R_T I'_{12}$$

che è la tensione totale di terra.

Occorre considerare che vi sono casi di "passi" più lunghi quali quelli dei grossi quadrupedi o comunque di appoggi a distanza maggiore del passo ordinario.<sup>(36)</sup>

### VIII.5.1 Contatto indiretto -Valutazioni sulla resistenza di terra nei sistemi TT

Si faccia riferimento alla fig.VIII.11, in cui si considera in un sistema trifase spurio un guasto per cedimento (anche parziale o temporaneo) dell'isolamento tra il conduttore di linea o fase e la carcassa metallica di un dispositivo monofase o bipolare  $\mathcal{U}$ , in presenza di impianto di terra. Si può considerare lo schema di fig. VIII.12: le tre linee di fase considerano anche il trasformatore bt/MT a monte, mentre per il neutro va considerato solo il collegamento. La cabina di alimentazione sia dotata di impianto di terra  $T_G$  con resistenza di terra  $R_{TG}$ ; il dispositivo utilizzatore  $B_U$  preveda un impianto di terra  $T_U$  con resistenza di terra  $R_{TU}$ ; la persona che accidentalmente tocca la carcassa del dispositivo viene schematizzata dalla resistenza  $R_H$  equivalente tra i punti di contatto; sia  $R_{TH}$  la resistenza equivalente tra il punto di appoggio ed un punto all'infinito nel terreno. Sia  $R_g$  la resistenza equivalente tra fase e carcassa nella zona del guasto (il caso  $R_g = 0$  viene classificato come "guasto franco").

---

<sup>36</sup> A titolo di esempio se la corrente di guasto ha una intensità  $I=100$  A e la resistività del terreno è  $100 \Omega m$  (terreno roccioso), la resistenza di terra corrispondente ad un dispersore emisferico di 1 m di raggio vale  $16 \Omega$ , la tensione "totale" di terra  $V=R_T I$  vale  $1600V$  e la tensione di passo nelle immediate vicinanze dell'elettrodo vale  $711 V$ ; in tal caso sarà necessario interdire l'accesso al dispersore, predisponendo intorno al dispersore una recinzione a distanza minima  $d$  tale che sia

$$V(d) - V(d+p) = \frac{\eta}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1+p} \right) I_{12} = R_T I_{12} \left( \frac{p}{d+p} \right) = 1600 \left( \frac{0.8}{d+0.8} \right) \leq 50V \rightarrow \left( \frac{0.8 \cdot 1600}{50} \right) \leq d+0.8 \rightarrow d \geq 24,6 \text{ m!}$$

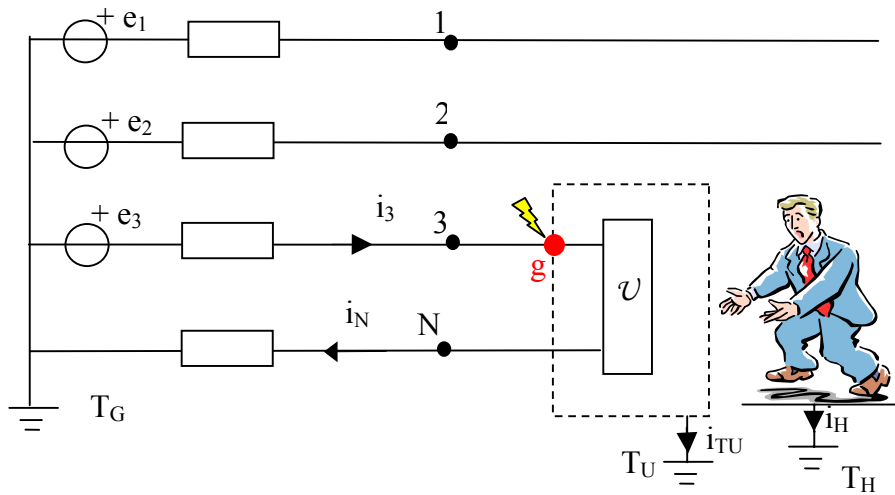


Fig. VIII.11 - Guasto monofase a terra in un sistema TT e contatto indiretto

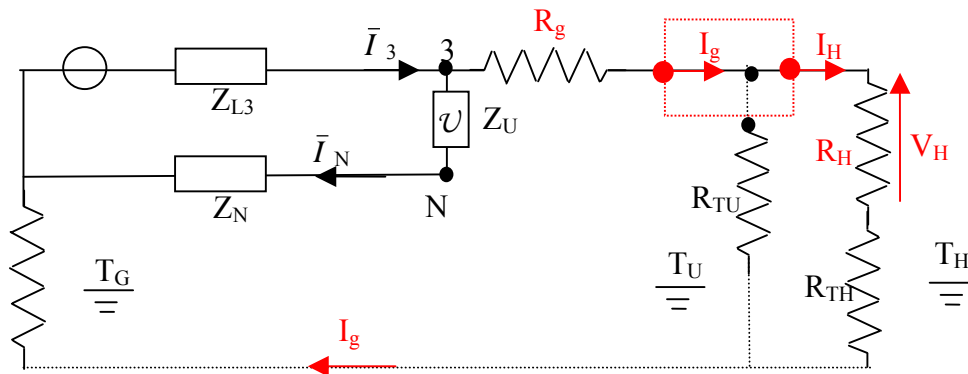


Fig. VIII.12 - Rete equivalente per guasto a terra monofase in un sistema TT e contatto indiretto

Poiché i moduli delle impedenze di linea sono molto bassi rispetto alle resistenze indicate in fig.VIII.12, si potrà scrivere

$$I_3 = |\bar{I}_N + \bar{I}_g| = |\bar{I}_N + \bar{I}_H + \bar{I}_{TU}|$$

$$I_g \cong \frac{E}{\frac{R_{TU}(R_H + R_{TH})}{R_{TU} + R_H + R_{TH}} + R_g + R_{TG}} \cong \frac{E}{R_g + R_{TU} + R_{TG}}$$

$$\frac{I_H}{I_{TU}} \cong \frac{R_{TU} + R_{TG}}{R_{TU} + R_{TG} + R_H + R_{TH}} = \frac{1}{1 + \frac{R_H + R_{TH}}{R_{TU} + R_{TG}}}$$

Si nota che l'intensità di corrente che interessa il conduttore di terra è pari alla intensità di corrente di guasto "a vuoto" della linea (cioè ad utilizzatore aperto).

L'intensità di corrente che interessa il corpo umano è tanto più piccola rispetto alla corrente di guasto a vuoto quanto minore è la resistenza di terra (compresa quella del generatore) rispetto alla resistenza equivalente all'appoggio della persona ed alla persona stessa.

Perché la tensione "sentita" dalla persona sia inferiore a quella limite  $V^*$  ( $V^*= 50$  V in condizioni ordinarie e 25V per casi particolari) deve essere quindi, in condizioni sempre di maggiore sicurezza,

$$R_H I_H < V^* \rightarrow R_H I_{TU} \frac{1}{1 + \frac{R_H + R_{TH}}{R_{TU} + R_{TG}}} < V^*$$

$$\rightarrow \frac{R_H I_{TU}}{R_H + R_{TH}} < V^* \rightarrow \frac{(R_{TU} + R_{TG}) R_H I_{TU}}{R_H + R_{TH}} < V^* \rightarrow \frac{R_{TU} + R_{TG}}{1 + \frac{R_{TH}}{R_H}} I_{TU} < V^*$$

Nell'ipotesi (cautelativa) che sia

$$R_{TU} = R_{TG}; R_{TH} = R_H$$

si ha la condizione

$$R_{TU} I_{TU} < V^*$$

Con le approssimazioni introdotte si è tornati alla condizione che la tensione totale di terra sia inferiore al valore critico. In realtà tali valutazioni sono ampiamente cautelative in quanto, considerato il "parallelo" della fig. VIII.12, la tensione applicata alla persona risulta solo una aliquota della tensione totale di terra, anche nelle peggiori condizioni di appoggio.

La resistenza di terra va quindi coordinata con i possibili valori delle correnti di guasto; i valori della tabella si riferiscono a condizioni ordinarie ( $V^*=50$  V) e sono da considerarsi cautelativi

| Intensità di corrente di guasto $I_g$ [A] | Resistenza di terra $[\Omega]$ |
|---|--------------------------------|
| 200                                       | 0,25                           |
| 100                                       | 0,5                            |
| 50  | 1                              |
| 10  | 5                              |
| 1   | 50                             |
| 0,03                                      | 1667                           |

Nel caso di guasto franco

$$R_{TU} < \frac{V^*}{I_{TU}} < \frac{V^*}{I_g} \rightarrow R_{TU} < \frac{V^*}{E} |\dot{Z}_{2cc}|$$

L'intensità di corrente di guasto può essere calcolata per eccesso conoscendo la potenza nominale del trasformatore MT/bt <sup>(37)</sup>

$$I_g < I_n \frac{V_n}{V_{cc}} = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_{cc}}$$

La resistenza di terra va quindi coordinata con le caratteristiche del trasformatore (dati di targa)

$$R_{TU} < \frac{V^*}{I_g} = \frac{V^*}{P_n} \sqrt{3} V_{cc\%} V_n$$

dove  $P_n$  è la potenza nominale del trasformatore,  $V_n$  è la tensione concatenata nominale lato bt,  $V_{cc\%}$  è la tensione percentuale di cortocircuito .

Se per esempio si considera un trasformatore trifase da 400 kVA, con tensione nominale secondaria di 400V (stellata 240 V) e tensione di cortocircuito del 5%, la corrente di guasto franco a vuoto è inferiore a

$$I_g < \frac{400}{3 \cdot 240} 20 \cong 11kA$$

In assenza di interruzione la resistenza di terra dovrebbe avere il valore (praticamente non raggiungibile)

$$R_{TU} < \frac{50}{400} \sqrt{3} \cdot 20 = 4,3 m\Omega$$

Si deve però considerare che in qualsiasi caso di guasto franco o quasi franco (verso terra e/o tra fasi) occorre proteggere comunque il generatore a monte a mezzo di opportuni interruttori automatici. Ci si può riferire quindi alla intensità della corrente di intervento di un interruttore con potere di interruzione adeguato ( nell'esempio, superiore a 11 kA). Nel caso di abitazioni tradizionali, l'intensità delle correnti di guasto franco è notevolmente inferiore ed in tal caso ci si affida all'intervento di un interruttore automatico. Se si considera una comune fornitura domestica da 3 kW, per motivi contrattuali interviene in 5s un dispositivo magnetotermico automatico tarato su circa 15 A. Una resistenza di terra di valore di 3  $\Omega$  garantisce che la tensione di contatto non superi i 50 V. Ovviamente, per valori superiori dell'intensità di corrente di guasto, i tempi di intervento dell'interruttore devono essere sufficientemente brevi per non arrecare danni

---

<sup>37</sup>  $Z_{2cc}$  è l'impedenza di cortocircuito riferita al secondario,  $V_{cc}$  e  $V_n$  sono le tensioni di cortocircuito e nominali (concatenate, primarie o secondarie),  $P_n$  è la potenza nominale del trasformatore.

irreversibili alle persone<sup>(38)</sup> od anche a cose. Anche per tale ragione i dispositivi di interruzione idonei sono i magnetotermici, che presentano una caratteristica d'intervento "a tempo inverso".

Se non è possibile realizzare il valore dovuto della resistenza di terra e si vuole comunque evitare di sottoporre la persona a tensioni pericolose (per esempio perdita parziale dell'isolamento superficiale per forte umidità), si possono utilizzare interruttori differenziali in cui un dispositivo opportuno sente anche piccole "differenze" tra i valori dell'intensità di corrente di linea e quella del neutro, dovute appunto alla corrente  $i_g$ ; il dispositivo potrebbe consistere ad esempio in un anello di materiale ferromagnetico con traferro dov'è alloggiato una parte del comando di apertura: su tale anello vengono avvolti due avvolgimenti gemelli isolati tra loro da collegarsi opportunamente il primo in serie alla linea e il secondo al neutro in modo da avere campo nullo se le due intensità sono uguali; per differenze anche piccole il campo magnetico creatosi è in grado di agire sul meccanismo di apertura. In caso di sistemi trifase puri o spuri potranno essere usati dispositivi simili che prevedono la presenza di tre o quattro avvolgimenti opportunamente interessati dalle correnti di linea; in assenza di guasto la somma istantanea delle 3 (o 4) intensità di corrente di linea è nulla, in caso di guasto verso terra la risultante non nulla determinerà l'apertura dell'alimentazione.

La versione commerciale più diffusa degli interruttori differenziali è il cosiddetto *salvavita*, tarato per valori di corrente di guasto  $I_{\Delta n}=30$  mA (intervento in 5s) per le abitazioni o gli ambienti ordinari accessibili al pubblico (tali valori scendono a 10 mA per ambienti sanitari ed ospedali); in tal caso la resistenza dell'impianto di terra potrebbe essere anche molto elevata

$$R_T < \frac{V^*}{I_{\Delta n}} = \frac{50}{0,03} \cong 1600 \Omega$$

I "salvavita" non hanno rilevante potere di interruzione e quindi sono adatti ad intervenire soltanto in caso di limitate "dispersioni" (fino ai valori nominali dell'intensità di corrente). Ad un salvavita va sempre abbinato un interruttore magnetotermico. I tempi di intervento offerti dagli interruttori differenziali sono normalmente i seguenti:

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

Tab. VIII.1 - Tempi massimi di interruzione degli interruttori differenziali per uso generale

<sup>38</sup> Occorrerebbe quindi prendere in considerazione una caratteristica più ampia di quella riportata in fig.VIII.1. In effetti per il calcolo della resistenza di terra la Norma dà indicazione di considerare nella formula la intensità di corrente per cui sia garantito l'intervento in 5 s, con verifica che per intensità di corrente superiori l'interruttore garantisca l'apertura in tempi progressivamente più ridotti tali da non determinare danni permanenti nella persona ( fig.VIII.1b).



Solo in casi sempre più limitati (impianti anteriori al 1990) è purtroppo ammesso l'uso del salvavita senza il collegamento ad un impianto di terra delle masse. Si ricorda che in questi casi non avviene un automatico riconoscimento del guasto, ma è necessario che una persona tocchi la massa metallica (e sia soggetto a shock elettrico(!)).

Occorre poi espressamente notare che se vi sono più utenze (es. appartamenti) alimentate dalla stessa linea ed aventi un impianto di terra comune, un interruttore differenziale installato presso l'utenza A non interviene per un guasto a terra verificatosi presso l'utenza B; se l'impianto di terra non è efficiente (pur se correttamente dimensionato, va verificata periodicamente la continuità dei collegamenti, nonché controllato il valore della resistenza di terra), possono verificarsi situazioni pericolose per contatto su masse situate anche presso l'utenza A.

Se si verifica un guasto fra neutro e terra (ovviamente a valle dell'interruttore differenziale), l'intensità di corrente verso terra potrebbero essere molto modeste, tali da non far intervenire l'interruttore differenziale ed il guasto potrebbe diventare permanente e pericoloso per l'impianto. In ogni caso, il sistema TT tende a trasformarsi in un sistema TN (vedi appresso).

L'interruttore differenziale sicuramente non interviene per intensità di corrente inferiori alla metà del valore di intervento nominale. Questa considerazione consente di pervenire ad una selettività dell'intervento: per evitare che un guasto verso terra in un ambiente A (es. locale cucina di un appartamento) determini l'interruzione dell'alimentazione in un quadro generale QG con conseguenti disagi, si può proteggere l'ambiente A con un interruttore generale con valore nominale della corrente di intervento pari o inferiore alla metà del valore previsto per l'alimentazione generale (es. 10 mA per l'ambiente A e 30 mA per QG). Questa considerazione può essere riapplicata a quadri ancor più "generali" (es. alimentazione di piano, di fabbricato, di isola,...). I valori di intervento andranno opportunamente valutati caso per caso; si possono anche prevedere dispositivi opportunamente "ritardati".

E' comunque buona norma effettuare i collegamenti equipotenziali tra masse e masse estranee (tubazioni dell'acqua, del gas, riscaldamento, armature di ferro delle fondazioni in cemento armato degli edifici ecc..) in modo coordinato, favorendo così anche una diminuzione del valore della resistenza di terra.

### VIII.5.3 Sicurezza nei Sistemi TN - 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) (fig.VIII.13). Se si trascura (per un calcolo più prudente) l'impedenza interna del trasformatore, e si con  $Z_f$  l'impedenza equivalente della fase 3, 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 in cabina, la situazione di guasto a terra è rappresentabile dal circuito equivalente di fig. VIII.13

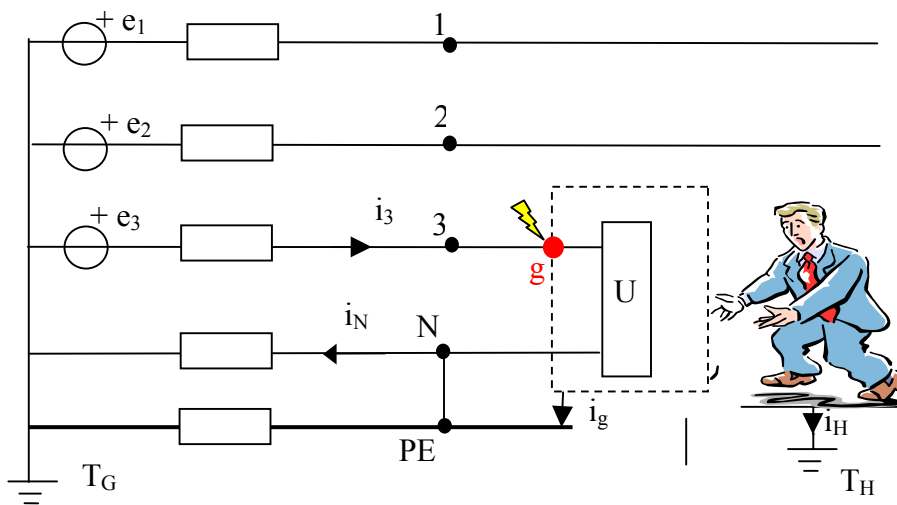


Fig. VIII.13 - Guasto monofase a terra in un sistema TN e contatto indiretto

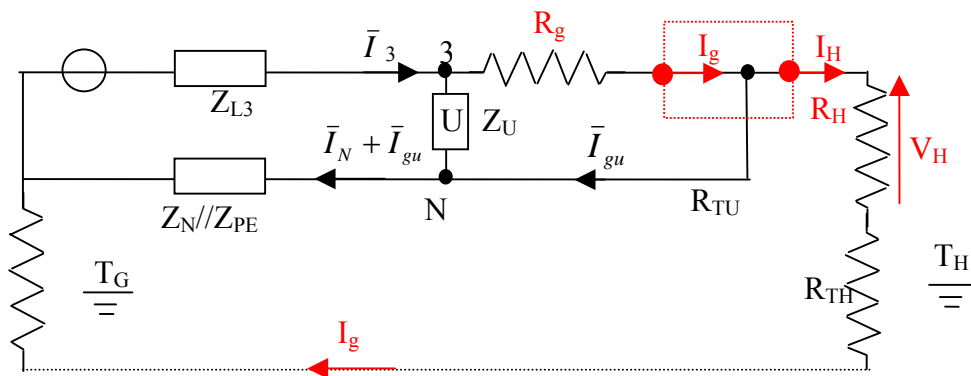


Fig. VIII.14 - Rete equivalente per guasto a terra monofase in un sistema TT e contatto indiretto

In caso di guasto franco o quasi franco, in assenza del contatto della persona, l'intensità di corrente di linea vale

$$I_3 = \frac{E}{\left| \dot{Z}_g + \frac{R_g \dot{Z}_u}{R_g + \dot{Z}_u} \right|} \cong \frac{E}{|\dot{Z}_g|} \quad (*)$$

$$\text{ove } I_3 = \frac{E}{\left| \dot{Z}_s + \frac{R_g \dot{Z}_u}{R_g + \dot{Z}_u} \right|} \cong \frac{E}{|\dot{Z}_s|}$$

dove:  $Z_{L3} + Z_{PE} = Z_s$  è la cosiddetta *impedenza dell'anello di guasto*

La tensione sulla persona vale, in assenza di carico  $\mathcal{U}$ ,

$$V_h = \frac{E}{\left| \dot{Z}_s + \frac{R_g \dot{Z}_u}{R_g + \dot{Z}_u} \right|} \left| \frac{\dot{Z}_{PE} // \dot{Z}_N}{R_h + R_{TH} + \dot{Z}_{PE} // \dot{Z}_N} \right| R_h \cong \frac{E}{|\dot{Z}_g + R_g|} \left| \frac{\dot{Z}_{PE} / 2}{R_h + R_{TH} + \dot{Z}_{PE} / 2} \right| R_h \leq \frac{E}{|\dot{Z}_g|} \left| \frac{\dot{Z}_{PE}}{2R_{TH} + \dot{Z}_{PE}} \right| R_h \leq E \frac{R_h}{4R_{TH}}$$

La tensione di contatto risulta essere quindi notevolmente ridotta rispetto al caso TT anche in caso di guasto franco. Inoltre, nel caso di guasto franco o quasi franco, l'intensità di corrente è di valore nettamente superiore a quello nominale, per cui *interviene la protezione di massima corrente* (è opportuno che intervenga entro 0,2 s, nei sistemi a 220 V). L'uso di protezione differenziale sembrerebbe ridondante, tuttavia è opportuna nel caso di guasto non franco a terra (occorre sottolineare che, allo stato, la norma non prevede protezione differenziale). E' tuttavia da ricordare che il potere di interruzione dell'interruttore differenziale in questo caso dovrebbe essere sufficientemente elevato oppure coordinato con il dispositivo di protezione a massima corrente.

| $U_0(V)$ | 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                 |

Per un guasto franco a terra la norme CEI 64-8 richiedono che sia verificata la condizione

$$I^* \leq \frac{U_0}{|\dot{Z}_s|}$$

dove  $I^*$  è l'intensità di corrente di intervento dei dispositivi di protezione entro un tempo tanto più piccolo quanto maggiore è la tensione di fase, secondo la tab.; 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:

- a) 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  $(Z_s 50/U_0)$ ;
- b) 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.

Occorre anche verificare i pericoli sorgenti da anomalie (es. interruzione) del neutro,

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.

#### **VIII.5.4 Sicurezza nei Sistemi IT**

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. Questo sistema è caratterizzato dal fatto che il neutro, se presente, 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.

In caso di guasto verso terra (primo guasto) l'intensità di corrente  $I_{g1}$  verso terra è comunque limitata, per cui è facile per l'impianto di terra raggiungere la condizione

$$R_T = \frac{V^*}{I_{g1}}$$

Nel caso di guasto a terra, il sistema IT diventa assimilabile ad un sistema TT o TN (in relazione alla separazione o continuità delle masse), per cui l'evento deve essere controllato ed eliminato al più presto possibile per la possibilità che un secondo guasto a terra produca situazioni pericolose. Per tale caso sono necessari opportuni tempi di interruzione, come da tabella VIII.5.

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.

*Protezione attiva dai contatti indiretti in relazione al sistema di distribuzione*

| $U_0 / U$<br>(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.VIII.5 – Tempo di interruzione massimo ammesso per secondo guasto nei sistemi IT