

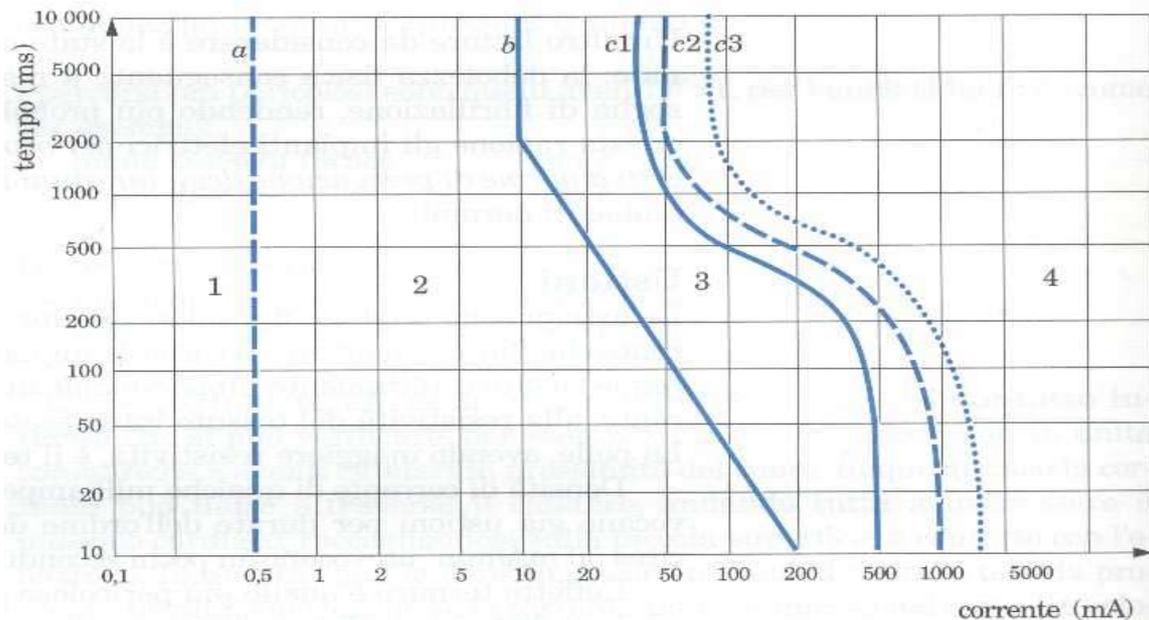
IMPIANTI ELETTRICI:

# Protezione contro gli infortuni elettrici

## Pericolosità della corrente elettrica (CEI – fascicolo I 335 P).

Il passaggio della corrente elettrica attraverso il corpo umano può provocare numerose alterazioni, fino alla morte.

La pericolosità della corrente dipende anche dalla forma della tensione impiegata, in particolare, è minore in caso di corrente continua o di frequenze elevate, maggiori di 100 Hz.



oltre il 50% al di là della curva c3. Effetti pato-fisiologici come arresto cardiaco, arresto respiratorio, gravi ustioni possono presentarsi con l'aumentare dell'intensità della corrente e del tempo.

## Impedenza del corpo umano.

### I valori dipendono da:

- percorso della corrente;
- tensione di contatto;
- stato e corrispondenti valori dell'impedenza del corpo umano e della pelle;
- superficie, pressione, durata del contatto.

## Tensione totale di terra, di contatto, di passo.

### Definizioni e classificazioni.

- **Tensione totale di terra (Ut):** valore che si stabilisce tra una massa in avaria per un cedimento di isolamento interno e un punto del terreno a potenziale zero. Può essere minore o al limite uguale alla tensione nominale verso terra. La tensione totale di terra è definibile solo se il sistema elettrico ha un punto a terra.
- **Tensione di contatto (Uc):** valore a cui è soggetto il corpo umano quando tocca una parte attiva o una massa dove è presente un guasto di isolamento. Al limite può essere uguale ad Ut.
- **Tensione di passo (Up):** valore tra due punti qualsiasi del terreno posti alla distanza di un passo, assunto uguale ad un metro.

### Protezione contro i contatti diretti ed indiretti.

#### Definizioni e classificazioni.

- **Massa:** parte conduttrice che può essere toccata, facente parte dell'impianto elettrico o di un apparecchio utilizzatore, che non è in tensione in condizioni ordinarie di isolamento, ma che può andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale.
- **Massa estranea:** parte conduttrice, non facente parte dell'impianto elettrico, suscettibile di introdurre il potenziale di terra. In casi particolari si considerano masse estranee quelle suscettibili di introdurre altri potenziali.
- **Contatti diretti:** contatti verso parte dell'impianto normalmente in tensione.
- **Contatti indiretti:** contatti verso parti dell'impianto che non sono normalmente in tensione, ma possono esserlo per cedimento dell'isolamento elettrico.
- **Protezioni passive:** dispositivi che limitano la corrente elettrica che può attraversare l'uomo o impediscono l'accesso dello stesso alle parti in tensione.
- **Protezioni attive:** dispositivi che agiscono autonomamente ed automaticamente (relè di protezione) sul circuito interrompendolo.

### Protezione contro i contatti diretti.

<u>Tipi di protezione</u>	<u>Sistema di protezione</u>	<u>Finalità</u>	<u>Modalità</u>	<u>Limitazioni di impiego</u>

Totale	Isolamento delle parti attive	Impedire qualsiasi contatto con parti attive	Tutte le parti attive devono essere completamente ricoperte con un isolamento che possa essere rimosso solo mediante distruzione (non sono considerati rivestimenti isolanti, se non in casi particolari, lacche, vernici, ecc.).	Nessuna
Totale	Involucri o barriere	Impedire il contatto con parti attive	Tutte le parti attive devono essere protette con involucri o barriere tali da assicurare un grado di protezione minimo IPXXB (inaccessibilità al dito di prova). Le superfici superiori orizzontali delle barriere o degli involucri che sono a portata di mano devono avere un grado di protezione minimo IPXXD (inaccessibilità al filo di prova). La rimozione di involucri e barriere deve essere possibile solo con l'uso di una chiave o di un attrezzo oppure mediante sezionamento delle parti attive interbloccate con la portella di accesso.	Nessuna
Parziale	Ostacoli	Impedire il contatto accidentale con parti attive ma non il contatto intenzionale dovuto all'aggiornamento dell'ostacolo	Gli ostacoli devono impedire: - l'avvicinamento non intenzionale del corpo alle parti attive; oppure - il contatto non intenzionale con parti attive durante lavori sotto tensione nel funzionamento ordinario.	Misura di protezione applicabile solo nelle officine elettriche

Parziale	Distanziamento	Impedire il contatto non intenzionale con parti attive	Le parti simultaneamente accessibili a tensione diversa non devono essere a portata di mano (grado di protezione minimo IPXXB). N.B.: Il pavimento, se non è isolante, è considerato una delle parti simultaneamente accessibili.	Misura di protezione applicabile solo nelle officine elettriche
Addizionale	Interruttori differenziali ad alta sensibilità ( $\leq 30\text{mA}$ )	Protezione dei contatti diretti in caso di insuccesso delle altre misure di protezione	Impiego di interruttori differenziali con corrente differenziale nominale inferiore o uguale a 30mA.	Nessuna

Protezione contro i contatti indiretti senza interruzione automatica del circuito.

<u>Sistema di protezione</u>	<u>Finalità</u>	<u>Modalità</u>	<u>Limitazioni di impiego</u>
Impiego di componenti di classe II o con isolamento equivalente	Impedire il manifestarsi di tensioni pericolose sulle parti accessibili di componenti elettrici a seguito di guasto dell'isolamento principale	<p>Impiego di componenti elettrici costruiti a doppio isolamento. Le masse di questi componenti non devono essere collegate a terra.</p> <p>Impiego di condutture elettriche costituite da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- cavi con guaina non metallica avente tensione maggiore di un gradino rispetto a quella necessaria per il sistema elettrico servito e che non comprendano un rivestimento metallico;</li> <li>- cavi unipolari senza guaina (cordicelle) installati in tubo protettivo o canale isolante rispondente alle relative norme;</li> <li>- cavi con guaina metallica avente isolamento idoneo per la tensione nominale del sistema elettrico servito, tra la parte attiva e la guaina metallica e tra questa e l'esterno.</li> </ul> <p>Gli eventuali involucri o canalizzazioni contenenti esclusivamente componenti a doppio isolamento non necessitano del collegamento a terra.</p>	Nessuna

<p>Separazione elettrica</p>	<p>Evitare correnti pericolose a seguito di contatto con masse che possono essere messe sotto tensione per un guasto dell'isolamento principale del circuito.</p>	<p>Impiego di circuito separato con sorgente di alimentazione costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- trasformatore di isolamento di classe II, conforme alla Norma CEI 96-2;</li> <li>- gruppo elettrogeno.</li> </ul> <p>Tensione di alimentazione non superiore a 500V.</p> <p>Circuito di distribuzione costituito da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- circuito dedicato, separato dagli altri circuiti;</li> <li>- cavi flessibili visibili per tutta la loro lunghezza;</li> <li>- lunghezza della conduttura non superiore a 500m.</li> </ul> <p>Nel caso in cui il sistema alimenti un solo componente la massa dello stesso non deve essere collegata a terra né a massa o a masse estranee di altri circuiti. Mentre, se il sistema alimenta più componenti, è necessario che:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le masse e i contatti di protezione delle prese a spina siano collegate fra di loro mediante conduttori equipotenziali non collegati a terra né a masse estranee di altri circuiti;</li> <li>- i cavi flessibili dei vari componenti devono incorporare un conduttore di protezione da collegare al conduttore equipotenziale previsto;</li> <li>- se si verifica un doppio guasto verso massa su 2 conduttori di diversa polarità deve essere assicurata l'interruzione del circuito nei tempi previsti (0,4 secondi a 230V).</li> </ul>	<p>Nessuna</p>
------------------------------	---	--	----------------

Luoghi non conduttori	Evitare i contatti simultanei con parti che possono trovarsi ad un potenziale diverso a seguito di un guasto dell'isolamento principale delle parti attive.	<p>Le masse devono essere disposte in modo che, in circostanze ordinarie, persone non vengano simultaneamente in contatto con:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- due masse;</li><li>- una massa ed una qualsiasi massa estranea.</li></ul> <p>Questo è considerato soddisfatto se il luogo ha pavimento e pareti isolanti e alle masse estranee si applica una o più delle disposizioni sotto elencate.</p> <p style="text-align: center;"><b>Masse e masse estranee</b></p> <p>Di stanziamento delle masse da masse estranee: questo di stanziamento è considerato sufficiente se la distanza tra due parti non è inferiore a 2,5m; queste distanze possono essere ridotte a 1,25m al di fuori della portata di mano.</p> <p>Interposizione di efficaci ostacoli tra masse e masse estranee: tali ostacoli sono considerati come sufficientemente efficaci se consentono di tenere le distanze nei valori indicati nel precedente numero. Essi non devono essere collegati a terra od a masse; per quanto possibile, devono essere di materiale isolante.</p> <p>Isolamento o disposizioni isolanti delle masse estranee: l'isolamento deve avere una resistenza meccanica sufficiente ed essere in grado di sopportare una tensione di almeno 200V. La corrente di dispersione verso terra non deve superare 1mA in condizioni ordinarie d'uso.</p> <p style="text-align: center;"><b>Pavimenti e pareti</b></p>	Misura di protezione non applicabile negli edifici civili e similari
-----------------------	---	--	--

Collegamento equipotenziale non connesso a terra	Evitare il manifestarsi di una tensione di contatto pericolosa.	Collegamento equipotenziale di tutte le masse e tutte le masse estranee simultaneamente accessibili e isolamento da terra di tutte le masse e masse estranee. N.B.: E' necessario prendere precauzioni affinché non si manifestino potenziali pericolosi fra le parti metalliche collegate al conduttore equipotenziale ed eventuali parti metalliche collegate a terra, anche non intenzionalmente.	Misura di protezione non applicabile negli edifici civili e similari
--	---	---	--

Protezione contro i contatti indiretti con interruzione automatica del circuito.

**Sistemi di I categoria senza cabina di trasformazione**

**(Sistema TT):**

- Impianti interessati: edifici civili, utenze commerciali (negozi ed uffici), piccole aziende, alimentati in BT a 230/400V dalle società distributrici.
- Metodo di protezione:
  - realizzazione di un impianto di terra locale (con dispersori) e collegamento delle masse e delle masse estranee a tali dispersori;
  - coordinamento fra il valore della resistenza di terra e la corrente d'intervento del dispositivo di interruzione automatico (fusibile, interruttore automatico, interruttore differenziale).
- Deve inoltre essere rispettata la seguente relazione:  $R_a \cdot I_a \leq 50$  o  $25$  V (rispettivamente per ambienti ordinari o particolari), dove:  $R_a$  è la somma di tutte le resistenze (dispersori + conduttori di terra + PE) e  $I_a$  è la corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione.
- Tempo di intervento massimo del dispositivo di protezione:
  - per dispositivi differenziali " $I_a$ " è la corrente differenziale nominale " $I_{\Delta n}$ ", nei circuiti di distribuzione è ammesso l'uso di interruttori differenziali di tipo S con tempo di ritardo massimo di 1 secondo;
  - per dispositivi di protezione contro le sovracorrenti (interruttori automatici e fusibili): " $I_a$ " deve essere la corrente che provoca il funzionamento automatico in 5

secondi per i dispositivi aventi una caratteristica di funzionamento a tempo inverso, oppure essere superiore alla corrente minima che ne provoca l'intervento immediato per i dispositivi od intervento istantaneo.

## Sistemi di I categ. con propria cabina di trasformazione

### (Sistema TN):

- Impianti interessati: fabbriche, ospedali, grosse strutture commerciali, ecc., alimentati in MT (10/15/20kV) dalle società distributrici.
- Metodo di protezione:
  - collegamento delle masse e delle masse estranee al conduttore di protezione (PE);
  - coordinamento fra il valore dell'impedenza del circuito di protezione (impedenza dell'anello di guasto) e la corrente d'intervento del dispositivo di interruzione automatico (fusibile, interruttore automatico o interruttore differenziale).
- Deve essere inoltre rispettata la seguente relazione:  $Z_s \cdot I_a \leq U_0$ , dove:  $Z_s$  è l'impedenza totale dell'anello di guasto,  $I_a$  è la corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione e  $U_0$  è la tensione verso terra;  
Essendo  $Z_s \cdot I_g = U_0$ , dove:  $I_g$  è la corrente di guasto verso terra.  
Deve quindi essere rispettata la seguente relazione:  $I_g \leq I_a$ .
- Tempo di intervento massimo del dispositivo di protezione:
  - per dispositivi differenziali " $I_a$ " è la corrente differenziale nominale " $I_{\Delta n}$ ", nei circuiti di distribuzione è ammesso l'uso di interruttori differenziali di tipo S con tempo di ritardo massimo di 5 secondi;
  - per dispositivi di protezione contro le sovracorrenti (interruttori automatici e fusibili):
    - 0,4 o 0,2 secondi (rispettivamente per ambienti ordinari o particolari) per  $U_0 = 230V$ , per circuiti terminali che alimentano prese a spina, apparecchi mobili, portatili o trasportabili di classe I;

- 5 secondi per circuiti di distribuzione e circuiti che alimentano solo componenti elettrici fissi a condizione che, se gli altri circuiti terminali che richiedono un tempo di intervento ridotto (0,4 o 0,2 secondi  $U_0 = 230V$ ) sono collegati al quadro di distribuzione che alimenta quel circuito terminale, sia soddisfatta una delle seguenti relazioni:

- l'impedenza del conduttore di protezione tra il quadro di distribuzione ed il punto nel quale il conduttore di protezione è connesso al collegamento equipotenziale principale non sia superiore a  $(50 \text{ o } 25) \cdot Z_s / U_0$ ;
- esista un collegamento equipotenziale supplementare che colleghi al quadro di distribuzione localmente gli stessi tipi di masse estranee indicati per il collegamento equipotenziale principale, e soddisfi le prescrizioni riguardanti il collegamento equipotenziale principale.

## Sistema di I categ. senza il collegamento a terra del neutro (Sistema IT):

- Impianti interessati: dove per ragioni funzionali si vogliono evitare azioni intempestive.
- Metodo di protezione:
  - le parti attive devono essere isolate da terra mediante trasformatore con il circuito secondario non collegato a terra;
  - collegamento a una terra locale delle masse;
  - impiego di un dispositivo di controllo dell'isolamento per segnalare il primo guasto a terra;
  - coordinamento fra il valore della resistenza di terra e la corrente di intervento del dispositivo di protezione automatico (fusibile o interruttore automatico) per interrompere l'alimentazione in caso di secondo guasto verso terra.
- In caso di primo guasto a terra deve essere rispettata la seguente relazione:  $R_t \cdot I_d \leq 50 \text{ o } 25V$  (rispettivamente per ambienti ordinari o particolari), dove:  $R_t$  è la resistenza del/i dispersori di terra e  $I_d$  è la corrente di primo guasto a terra.
- In caso di secondo guasto a terra devono essere rispettate le seguenti relazioni:
  - per impianti con neutro non distribuito:  $Z_s \leq U/2I_a$  e  $Z's \leq U_0/2I_a$ ; dove:  
 $U_0$  è la tensione nominale in c.a., valore efficace, tra fase e terra;  
 $U$  è la tensione nominale in c.a., valore efficace, tra fase e fase;

$Z_s$  è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore di fase e dal conduttore di protezione del circuito;

$Z'_s$  è l'impedenza dell'anello di guasto costituito dal conduttore neutro e dal conduttore di protezione del circuito;

$I_a$  è la corrente d'intervento del dispositivo di protezione che interrompe il circuito entro il tempo specificato.

Essendo:  $U/Z_s = I_{2g}$  e  $U_0/Z'_s = I'_{2g}$ ; dove:

$I_{2g}$  è la corrente di doppio guasto fra conduttore di fase e conduttore di terra;

$I'_{2g}$  è la corrente di doppio guasto fra conduttore di neutro e conduttore di terra.

In pratica devono essere rispettate le seguenti condizioni:

- per neutro non distribuito:  $I_{2g} \geq 2I_a$ ;

- per neutro distribuito:  $I'_{2g} \geq 2I_a$ ;

- tempo (t) di intervento massimo in caso di secondo guasto a terra (per  $U_0/U = 230/400V$ ):

- per circuiti terminali che alimentano prese a spina, apparecchi mobili, portatili o trasportabili di classe I:

- 0,4 o 0,2 secondi (rispettivamente per ambienti ordinari o particolari) se il neutro non è distribuito;

- 0,8 o 0,4 secondi (rispettivamente per ambienti ordinari o particolari) se il neutro è distribuito.

- per circuiti di distribuzione e circuiti terminali: 5 secondi, purchè questi ultimi alimentino solo componenti elettrici fissi e che, se altri circuiti terminali

richiedenti un tempo di intervento ridotto sono collegati al quadro di distribuzione o al circuito terminale, sia soddisfatta una delle seguenti condizioni:

- l'impedenza del conduttore di protezione tra il quadro di distribuzione ed il punto nel quale il conduttore di protezione è connesso al collegamento equipotenziale principale non sia superiore a:

-  $(50 \text{ o } 25) * Z_s / U$  per impianti con neutro non distribuito;

-  $(50 \text{ o } 25) * Z'_s / U_0$  per impianti con neutro distribuito;

- esista un collegamento equipotenziale supplementare che colleghi al quadro di distribuzione localmente gli stessi tipi di masse estranee indicati per il collegamento equipotenziale principale e soddisfi le prescrizioni riguardanti il collegamento equipotenziale principale.

## Sistemi di II e III categoria:

- Impianti interessati: impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica.
- Metodo di protezione:
  - realizzazione di un impianto di terra unico a cui collegare le masse, le masse estranee e particolari punti dei sistemi elettrici (es. il punto di neutro del secondario dei trasformatori MT/BT);
  - coordinamento tra il valore della resistenza di terra, la corrente di guasto verso terra ed il relativo tempo di eliminazione. In particolare occorre verificare che in nessun punto sia all'interno che all'esterno dell'officina elettrica o dell'impianto utilizzatore si manifestino tensioni di passo e di contatto, in relazione al loro tempo massimo di permanenza, superiori ai valori indicati nella tabella.

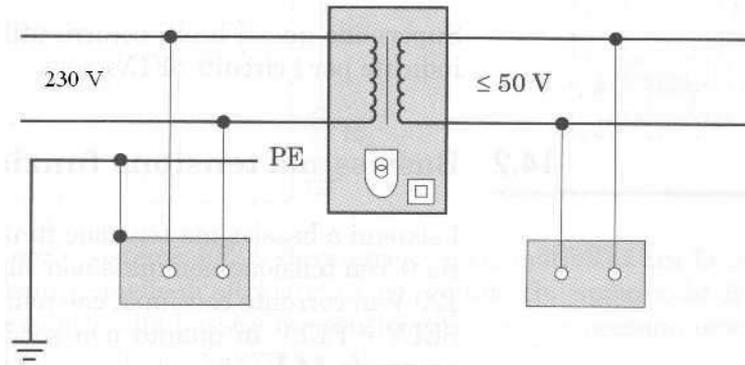
Protezione combinata contro i contatti diretti ed indiretti.

Protezione mediante sistemi a bassissima tensione.

## Classificazione dei sistemi a bassissima tensione:

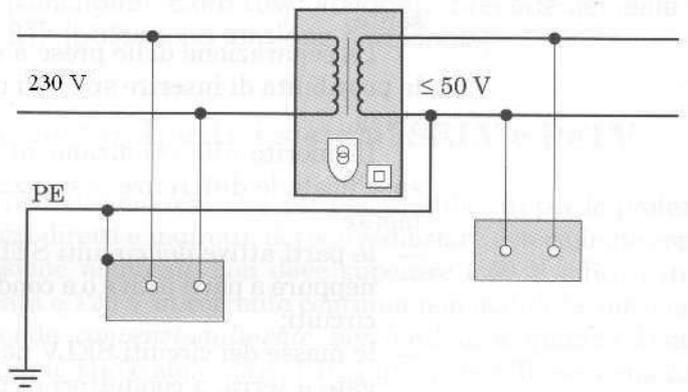
- **SELV** (Safety Extra Low Voltage): sistema a bassissima tensione di sicurezza;

Schema esemplificato  
del sistema SELV



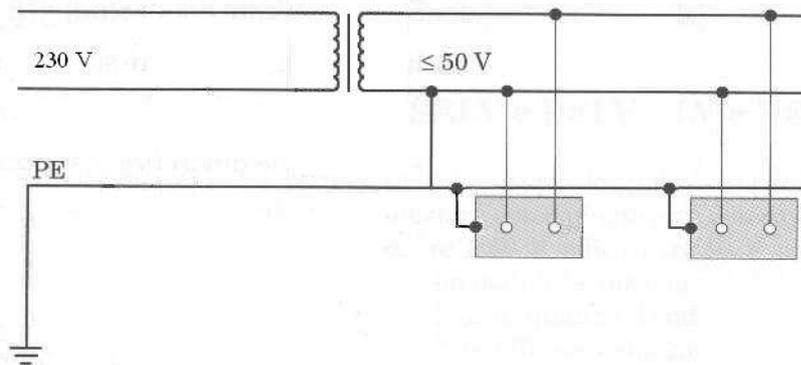
- **PELV** (Protection Extra Low Voltage): sistema a bassissima tensione di protezione;

Schema esemplificato  
del sistema PELV



- **FELV** (Functional Extra Low Voltage): sistema a bassissima tensione funzionale.

Schema esemplificato  
del sistema FELV



### Caratteristiche comuni dei sistemi SELV-PELV-FELV:

- tensione di alimentazione non superiore a 50V in c.a. e 120V in c.c.;
- prese a spina dei sistemi SELV-PELV-FELV non intercambiabili fra loro né con quelle di altri sistemi.

### Caratteristiche comuni dei sistemi SELV-PELV:

- Sorgente di alimentazione costituita da:
  - trasformatore di sicurezza (CEI 96-2);
  - motore-generatore;
  - sorgente elettrochimica (batteria);
  - dispositivi elettronici (conformi ad appropriate norme, con tensioni ai morsetti non superiori a 50V c.a. e 120V c.c.).
- Separazione tra i circuiti SELV-PELV e gli altri circuit:
  - conduttori separati materialmente;
  - conduttori SELV-PELV muniti di guaina;
  - conduttori degli altri circuiti con schermo o guaina metallica collegata a terra;
  - conduttori SELV-PELV isolati per la massima tensione presente.

### Caratteristiche specifiche del sistema SELV.

Le parti attive e le masse non devono essere collegate a terra o a masse estranee.

### Caratteristiche specifiche del sistema PELV.

Questo sistema differisce del SELV solo per quanto riguarda il riferimento di terra del sistema, è consentita inoltre la messa a terra delle masse. I circuiti PELV sono adoperati prevalentemente nei circuiti di comando delle macchine sottoposti alle Norme CEI 445-5 (EN 60204-1) la quale prescrive il collegamento del punto del circuito di comando a terra per evitare avviamenti intempestivi dei macchinari a seguito di un doppio guasto a terra tale da cortocircuitare i dispositivi di comando.

### Caratteristiche specifiche del sistema FELV.

Tutte le masse dei circuiti FELV devono essere collegate al conduttore di protezione del circuito primario, inoltre è consentita anche la messa a terra del sistema. Ai fini della protezione dai contatti indiretti è necessario predisporre a monte del trasformatore un dispositivo di protezione (in genere un interruttore differenziale) atto a rilevare ed interrompere l'eventuale corrente di guasto verso terra; tale dispositivo deve avere caratteristiche tali da risultare coordinato con la resistenza del circuito di protezione dell'impianto.

## Protezione dai contatti diretti nei circuiti SELV.

Per tensioni inferiori a 25 V in c.a. e 60V in c.c. non è necessaria la protezione dai contatti diretti, altrimenti è necessario prevedere un involucro con grado di protezione minimo OPXXB, oppure un isolamento delle parti attive che sopporti una tensione di prova di 500V per 1 minuto.

## Protezione dai contatti diretti nei circuiti PELV.

Impiego di un involucro con grado di protezione minimo IPXXB oppure un isolamento delle parti attive che sopporti una tensione di prova di 500V per 1 minuto. Peraltro la protezione dai contatti diretti è assicurata se il componente elettrico è posto entro la zona di influenza di un collegamento equipotenziale e se la tensione non supera:

- 25V in c.a. oppure 60V in c.c. per ambienti asciutti e non si prevedono contatti estesi di parti attive con il corpo umano;
- 6V in c.a. oppure 15V in c.c. in tutti gli altri casi.

## Protezione dai contatti diretti nei circuiti FELV.

Impiego di un involucro con grado di protezione minimo IPXXD per le superfici superiori a portata di mano, IPXXB in tutti gli altri casi, oppure un isolamento delle parti attive corrispondente alla tensione minima richiesta per il circuito primario (o 1500V per 1 minuto).

## Protezione mediante limitatore della corrente e/o della carica elettrica.

### Limitazione della corrente.

Tale protezione consiste nell'assicurare che una persona che venga in contatto con una parte collegata a parti attive tramite un'impedenza di protezione non possa essere attraversata da una corrente superiore ai seguenti valori:

- parti che devono essere toccate durante il servizio ordinario: 1mA in c.a. e 3mA in c.c.;
- altre parti: 3,5mA in c.a. e 10mA in c.c..

## Limitazione della carica elettrica.

Si intendono limitare le cariche elettriche disponibili non superiori ai seguenti valori:

- parti che devono essere toccate durante il servizio ordinario:  $0,5\mu\text{C}$  ( $2,2\text{nF}$  a  $230\text{V}$  e  $1,25\text{nF}$  a  $400\text{V}$ );
- altre parti:  $50\mu\text{C}$  ( $220\text{nF}$  a  $230\text{V}$  e  $125\text{nF}$  a  $400\text{V}$ ).

