

8. Protezione dai contatti indiretti senza interruzione automatica

8.1 Generalità

Sono questi dei metodi di protezione che, a differenza dei sistemi di protezione attiva trattati fino ad ora (protezione repressiva), non determinano l'interruzione automatica del circuito, con un vantaggio evidente per quanto riguarda la continuità di esercizio. Si tratta quindi di sistemi di protezione passivi che tendono ad impedire che possano verificarsi condizioni di pericolo (protezione preventiva).

8.2 Protezione con componenti di classe II

Un sistema di protezione passivo molto semplice consiste nell'utilizzare materiali elettrici (apparecchi, quadri, condutture, cassette di derivazione ecc..) con isolamento supplementare con l'intento di evitare che il cedimento dell'isolamento principale possa creare tensioni pericolose sull'involucro. L'insieme dell'isolamento principale e supplementare è denominato **doppio isolamento** oppure, se l'isolamento è unico ma equivalente al doppio isolamento, **isolamento rinforzato**.

8.2.1 Caratteristiche degli apparecchi di classe II

A seconda del tipo e dell'ambiente di utilizzo le Norme prescrivono le prove da eseguire e i requisiti che gli apparecchi di classe II devono possedere. Le prove tendono a stabilire le qualità elettriche e meccaniche dell'isolamento. Le caratteristiche costruttive devono garantire che la manutenzione a cura dell'utente non indebolisca l'isolamento (ad esempio che nel rimontare l'apparecchio non sia possibile dimenticare un elemento importante per garantire l'isolamento). L'involucro dell'apparecchio può essere costruito indifferentemente sia di materiale isolante che metallico ed in questo secondo caso è vietato dalle Norme il collegamento a terra (in alcuni casi, come vedremo, può essere richiesto un morsetto di equipotenzialità). Il collegamento a terra, che a prima vista potrebbe sembrare una sicurezza in più, può infatti risultare controproducente, in quanto il conduttore di protezione rischia di portare sull'involucro dell'apparecchio tensioni pericolose che si possono stabilire sull'impianto di terra inefficiente. Che questo possa accadere è assai più probabile che non il cedimento del doppio isolamento o dell'isolamento rinforzato da cui la prescrizione normativa di non collegare a terra la carcassa metallica dell'apparecchio.

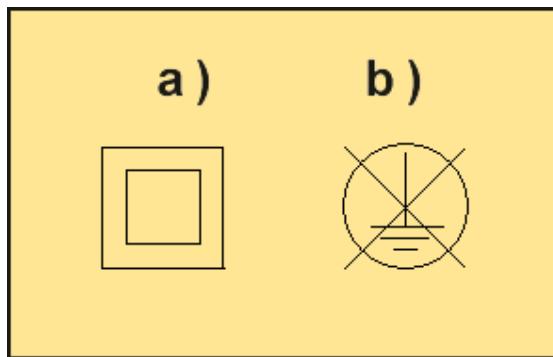


Fig. – 8.1 a) Simbolo grafico di un componente o apparecchio dotato di isolamento doppio o rinforzato - Classe II. b) divieto di collegamento delle parti metalliche ad un conduttore di protezione.

In alcuni casi, come ad esempio per gli interruttori elettronici a contatto con le persone, in sostituzione del doppio isolamento può essere interposta un'impedenza di protezione che deve però garantire una protezione equivalente al doppio isolamento. Apparecchi di uso comune per i quali è richiesto l'isolamento doppio o rinforzato sono, ad esempio, quelli portatili; essendo normalmente sostenuti durante l'uso, devono essere di classe II in quanto si ritiene che siano più sicuri dei corrispondenti apparecchi di classe I. Negli apparecchi portatili il rischio è elevato in quanto l'operatore, a causa dell'elevata pressione del contatto con l'apparecchio, possiede una resistenza del corpo ridotta; inoltre i guasti d'isolamento sono più frequenti a causa delle numerose sollecitazioni a cui l'apparecchio portatile è soggetto durante l'uso.

8.2.2 Condutture di Classe II

Le condutture possono essere considerate di classe II (con tensioni nominali non superiori a 690 V) se utilizzano:

- cavi con guaina isolante di tensione superiore di un gradino rispetto a quella del sistema elettrico (isolamento rinforzato) ;
- cavi unipolari senza guaina installati in tubo protettivo o in canale isolante rispondente alle Norme di prodotto ;
- cavi con guaina metallica aventi isolamento idoneo alla tensione nominale del sistema elettrico tra la parte attiva e la guaina metallica e tra questa e l'esterno.

Gli apparecchi di classe seconda non devono essere collegati a terra (il collegamento a terra delle masse potrebbe essere utile nel caso di un guasto tra gli avvolgimenti del trasformatore, ma potrebbe introdurre tensioni pericolose dovute a guasti su altri apparecchi alimentati dalla rete di distribuzione) ma, nel caso dei canali metallici contenenti cavi di classe seconda, tale collegamento è accettato dalle Norme in quanto nel canale potrebbero essere posati, anche in tempi successivi, cavi non di classe seconda. Sintetizzando: se il canale contiene cavi di classe seconda e cavi normali deve essere collegato a terra, se contiene solo cavi di classe seconda può essere collegato a terra, se contiene solo cavi normali deve essere collegato a terra. In definitiva, per garantire all'impianto nel suo complesso un isolamento di classe II, è necessario rispettare le seguenti condizioni :

- gli involucri isolanti devono presentare una struttura atta a sopportare le sollecitazioni meccaniche, elettriche, e termiche che possono verificarsi in caso di guasto ;
- nella fase di installazione si deve evitare di danneggiare gli isolamenti ;
- gli involucri non devono essere dotati di viti di qualsiasi tipo (neppure isolanti per evitare che possano essere sostituite da altre di tipo metallico che potrebbero compromettere l'isolamento) ;
- i contenitori con portello devono poter essere aperti sono con attrezzo o chiave. Se i coperchi fossero rimovibili senza chiave o attrezzo le parti conduttrici accessibili devono essere protette da una barriera, rimovibile solo con l'uso di attrezzi, avente grado di protezione non inferiore a IPXXB ;
- le parti intermedie dei componenti elettrici devono avere grado di protezione non inferiore a IPXXB ;
- non devono essere impiegate vernici o lacche per ottenere un isolamento supplementare ;
- l'involucro non deve essere attraversato da parti conduttrici che potrebbero propagare potenziali pericolosi ;
- l'involucro non deve impedire il regolare funzionamento dell'apparecchio elettrico ;
- le parti conduttrici contenute all'interno dell'involucro non devono essere collegate ad un conduttore di protezione. E' possibile far attraversare l'involucro da conduttori di protezione di altri componenti elettrici il cui circuito di alimentazione passi anch'esso attraverso l'involucro. All'interno dell'involucro tali conduttori e i loro morsetti devono essere isolati come se fossero parti attive e i morsetti devono essere contrassegnati in modo adeguato ;
- le parti conduttrici e le parti intermedie non devono essere collegate ad un conduttore di protezione a meno che ciò non sia espressamente previsto nelle prescrizioni di costruzione del relativo componente elettrico.

8.3 Protezione per separazione elettrica

In un sistema isolato completamente da terra chi venisse in contatto con una parte in tensione non correrebbe alcun rischio in quanto, se l'impianto è tanto poco esteso da poter trascurare le correnti capacitive, è impossibile la chiusura del circuito verso terra per cui la tensione sulla persona è limitata dall'elevata impedenza verso terra del sistema elettrico. Questo tipo di protezione si può ottenere mediante un trasformatore di isolamento ed il circuito deve rispondere ai seguenti requisiti :

- alimentazione da trasformatore di isolamento rispondente alle Norme CEI 96-2 oppure con apparecchiature aventi analoghe caratteristiche come ad esempio un gruppo motore generatore. La separazione è invece implicita se l'alimentazione proviene da sorgenti autonome (gruppo elettrogeno, batterie o altro dispositivo) non collegate alla rete;

- la tensione del circuito separato non deve superare i 500 V.

il circuito separato deve essere di estensione ridotta e comunque non superiore a quella determinabile con la seguente relazione :

$$L \leq \frac{100000}{U_n}$$

e comunque non superiore a 500 m dove L è la lunghezza della linea in metri a valle del trasformatore e U_n la tensione di alimentazione nominale in volt del circuito separato ;

- la separazione verso altri circuiti elettrici deve essere almeno equivalente a quella richiesta tra gli avvolgimenti del trasformatore di isolamento. Tale separazione elettrica deve essere garantita tra le parti attive di quei componenti elettrici che possono contenere nel loro interno conduttori di circuiti diversi (ad esempio relè, contattori ecc..) ;
- per il circuito separato è raccomandabile utilizzare condutture separate da quelle di altri circuiti. Ove questo non fosse possibile si devono impiegare cavi multipolari senza guaina metallica isolati per la tensione nominale del sistema a tensione più elevata ;
- ad evitare rischi di guasti verso terra, deve essere posta particolare cura all'isolamento verso terra con particolare riguardo verso i cavi flessibili ;
- assicurare l'ispezionabilità dei cavi flessibili non a posa fissa ad evitare che possano subire danneggiamenti.

Non essendo pratico alimentare ogni singolo apparecchio con un trasformatore d'isolamento diverso (condizione ideale) si preferisce alimentare più apparecchi (senza superare la lunghezza massima della linea prescritta dalla Norma) con un unico trasformatore (ad esempio il banco di lavoro di un laboratorio scolastico). Un primo guasto d'isolamento potrebbe permanere per un tempo indefinito senza rischi per le persone, mentre un secondo guasto su un'altra fase di un secondo apparecchio determinerebbe un pericolo mortale per la persona in contatto con i due apparecchi. Per ovviare a questo problema, quando il circuito separato alimenta più di un utilizzatore (nel caso alimentasse un solo utilizzatore la sua massa non deve essere collegata al conduttore di protezione), ogni massa va collegata ad un conduttore equipotenziale isolato da terra, in modo che un doppio guasto a massa venga tramutato in un corto circuito e possa così essere eliminato dai dispositivi di massima corrente, posti a protezione delle singole linee, entro i tempi di seguito indicati :

U_0 (V)	t (s)
120	0,8
230	0,4
400	0,2
>400	0,1

Tab. 8.1

Per quanto concerne i collegamenti equipotenziali le prescrizioni da seguire sono le seguenti :

- il collegamento non deve interessare l'involturco metallico della sorgente di alimentazione;
- tutte le prese del circuito separato devono avere l'alveolo di terra collegato al conduttore equipotenziale ;
- il conduttore equipotenziale deve essere dotato di guaina isolante, in modo che non possa andare in contatto con conduttori di protezione, di terra o masse di altri circuiti ;

- tutti i cavi di alimentazione delle utenze, tranne quelli di classe II, devono avere il conduttore di protezione incorporato che sarà utilizzato in questo caso come conduttore equipotenziale ;
- ogni collegamento deve essere effettuato con sezioni non inferiori a $2,5 \text{ mm}^2$ se con protezione meccanica, 4 mm^2 se non è prevista alcuna protezione meccanica (il conduttore equipotenziale incorporato nel cavo di alimentazione dell'utilizzatore può avere sezione inferiore a quelle indicate ma non a quella del conduttore di fase) ;
- il collettore equipotenziale principale non deve avere sezione inferiore a 6 mm^2 .

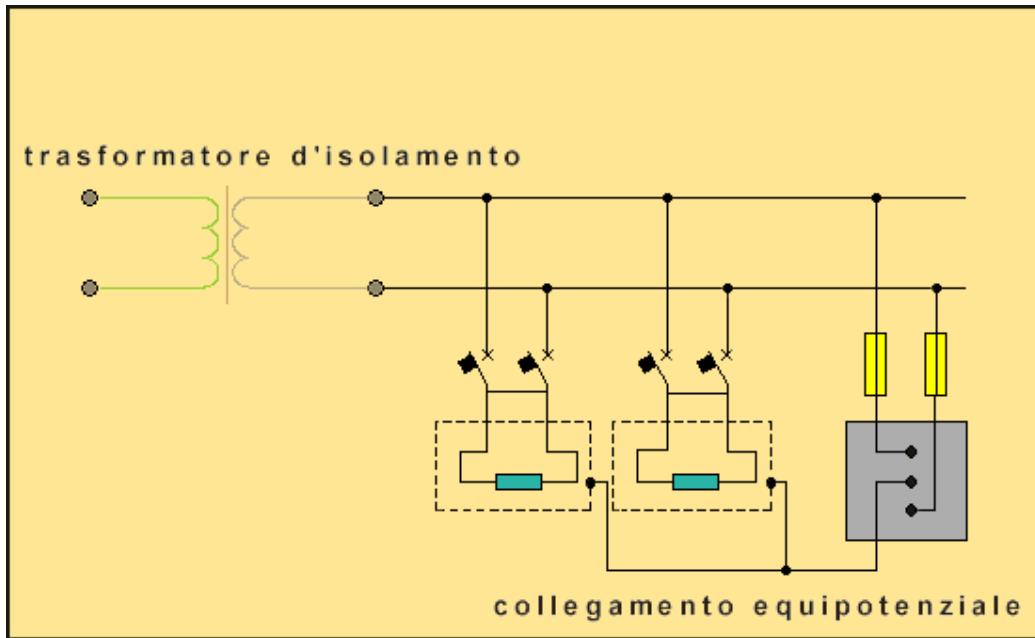


Fig. 8.2 - I collegamenti equipotenziali tra le masse degli apparecchi alimentati dallo stesso trasformatore d'isolamento trasformano un doppio guasto a massa in un cortocircuito.

8.3.1 Il trasformatore d'isolamento

Nel trasformatore d'isolamento la separazione elettrica fra gli avvolgimenti primari e quelli secondari è realizzata mediante un doppio isolamento o un isolamento rinforzato. L'involucro può essere anche metallico, ma in questo caso deve essere separato dagli avvolgimenti da un isolamento doppio o rinforzato. La potenza non deve essere superiore a 25 kVA per i monofasi e 40 kVA per i trifasi. Possono essere di due tipi :

- **resistente al cortocircuito**, quando, in caso di sovraccarichi o cortocircuiti, la sovratestermperatura che in esso si manifesta non supera determinati limiti stabiliti e, dopo l'eliminazione del guasto le sue caratteristiche rientrano ancora in quelle stabilite dalle Norme ;
- **a prova di guasto**, quando, in seguito ad un guasto o ad un impiego anormale, non è più in grado di funzionare, ma non presenta alcun pericolo per l'utilizzatore e per le parti adiacenti.

In base al tipo di installazione si possono ancora suddividere in trasformatori per installazione fissa o per installazione mobile. Fino a 630 VA, se mobili, devono essere resistenti ai corto circuiti oppure a prova di guasto. Se è necessario un collegamento a spina nei trasformatori mobili può esserne presente una sola per ogni avvolgimento secondario e gli avvolgimenti devono ovviamente essere elettricamente isolati gli uni dagli altri.

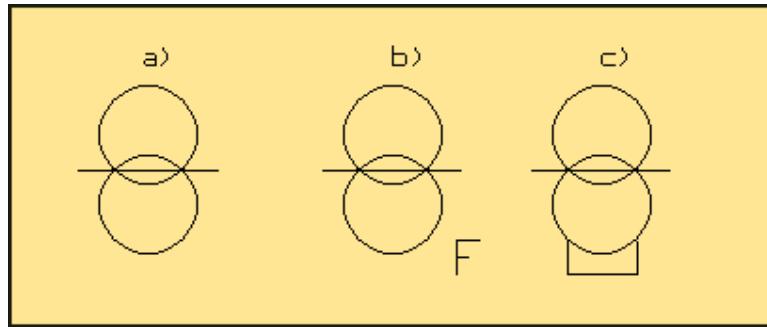


Fig. 8.3 - Trasformatore d'isolamento a) simbolo generale b) resistente al corto circuito c) a prova di guasto

8.4 Protezione per mezzo di luoghi non conduttori

In un ambiente isolato un contatto con una parete in tensione non è pericoloso in quanto non fluisce nessuna corrente attraverso il corpo umano isolato da terra. Un ambiente si dice isolato quando le pareti e il pavimento presentano in ogni punto una resistenza verso terra :

$\geq 50\text{ k}\Omega$ per tensioni nominali fino a 500 V ;

$\geq 10\text{ k}\Omega$ per tensioni nominali maggiori di 500 V .

La sicurezza dai contatti indiretti deriva dall'isolamento principale dell'impianto e delle apparecchiature elettriche e dall'isolamento supplementare fornito dal locale. Il collegamento a terra dovrà quindi essere evitato in quanto un contatto con una parte attiva e la massa collegata a terra risulterebbe pericoloso. Per la sua particolarità questo sistema non è ammesso negli edifici civili e viene applicato solo in casi particolari. Per garantire la sicurezza occorre:

- che le masse siano lontane fra loro e le masse estranee almeno 2 m in orizzontale e 2,5 m in verticale se a portata di mano, e 1,25 m se fuori dalla portata di mano in modo che non sia possibile toccare contemporaneamente due masse o una massa o una massa estranea. Si possono erigere ostacoli in materiale isolante per impedire il contatto tra due masse o tra una massa e una massa estranea e le distanze minime necessarie per sormontarli devono corrispondere a quelle prima indicate ;
- che il locale sia sorvegliato da personale addestrato affinché non vengano introdotti nel locale apparecchi collegati a terra o masse estranee e che le persone, durante l'accesso nel locale, non siano sottoposte a potenziali pericolosi ;
- che non siano utilizzate prese a spina ;
- che le masse estranee uscenti dal locale siano interrotte con manicotti isolanti ;
- che non siano introdotti nel locale conduttori di protezione.

Gli apparecchi che devono essere usati in questi locali isolanti sono apparecchi con il solo isolamento principale e senza morsetto di terra denominati di Classe 0 (il costruttore dovrebbe indicare sul libretto istruzioni che questi apparecchi devono essere usati solo in locali isolati). Le prese a spina di tali apparecchi devono essere diverse dalle prese a spina degli apparecchi di classe diversa, ma questo a causa della disponibilità sul mercato di adattatori, purtroppo, non ne impedisce l'uso improprio anche in altre situazioni diverse da quelle dei locali isolanti. Potrebbero comunque essere impiegati anche apparecchi di Classe I, ovviamente senza collegare a terra il morsetto di terra.

8.5 Protezione per equipotenzializzazione del locale non connesso a terra

Come nel caso precedente anche questo sistema di protezione può essere adottato solo in casi particolari. Consiste nel collegare fra loro tutte le masse e le masse estranee simultaneamente accessibili con un collegamento equipotenziale non connesso a terra. Per le persone che entrano nel locale devono essere prese particolari precauzioni affinché non

siano sottoposte a potenziali pericolosi, soprattutto quando il pavimento, conduttore ed isolato da terra, sia dotato di collegamento locale non connesso a terra. Si devono usare apparecchi di Classe I con morsetto di terra e in questo caso, a differenza di quanto indicato per i locali isolanti, essendo garantita l'equipotenzialità non è necessario accertarsi che i due apparecchi non siano simultaneamente accessibili.

8.6 Protezione mediante bassissima tensione di sicurezza

Con i sistemi a bassissima tensione, denominati anche di categoria zero (sistemi che hanno una tensione nominale inferiore a 50V in corrente alternata e a 120V in corrente continua non ondulata fig. 8.4), è garantita una protezione sia contro i contatti diretti che indiretti. Esistono fondamentalmente due tipi di sistemi a bassissima tensione che garantiscono dal pericolo dei contatti, il tipo SELV e il tipo PELV. Un terzo tipo, il FELV, ha caratteristiche prettamente funzionali che non garantiscono da eventuali sopraelevazioni accidentali della tensione e quindi non garantisce la protezione dai contatti indiretti e diretti. Le caratteristiche dettagliate dei tre sistemi sono di seguito indicate.

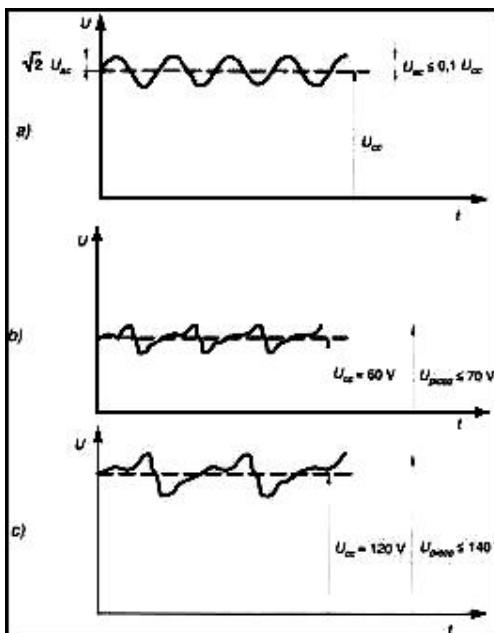


Fig. 8.4 - Una corrente continua si dice non ondulata se:

- a) per ondulazione sinusoidale $U_{ac} \leq 0,1 U_{cc}$;
- b) per ondulazione non sinusoidale ($U_{cc} = 60 \text{ V}$) $U_{picco} \leq 70 \text{ V}$;
- c) per ondulazione non sinusoidale ($U_{cc} = 120 \text{ V}$) $U_{picco} \leq 140 \text{ V}$

8.6.1 Bassissima tensione di sicurezza SELV (Safety Extra - Low Voltage)

E' un sistema che deve essere alimentato da una sorgente autonoma di sicurezza, deve garantire la separazione galvanica rispetto agli altri sistemi elettrici e non deve avere punti a terra. Se sono rispettati questi requisiti il sistema non dovrebbe assumere tensioni superiori a quelle nominali.

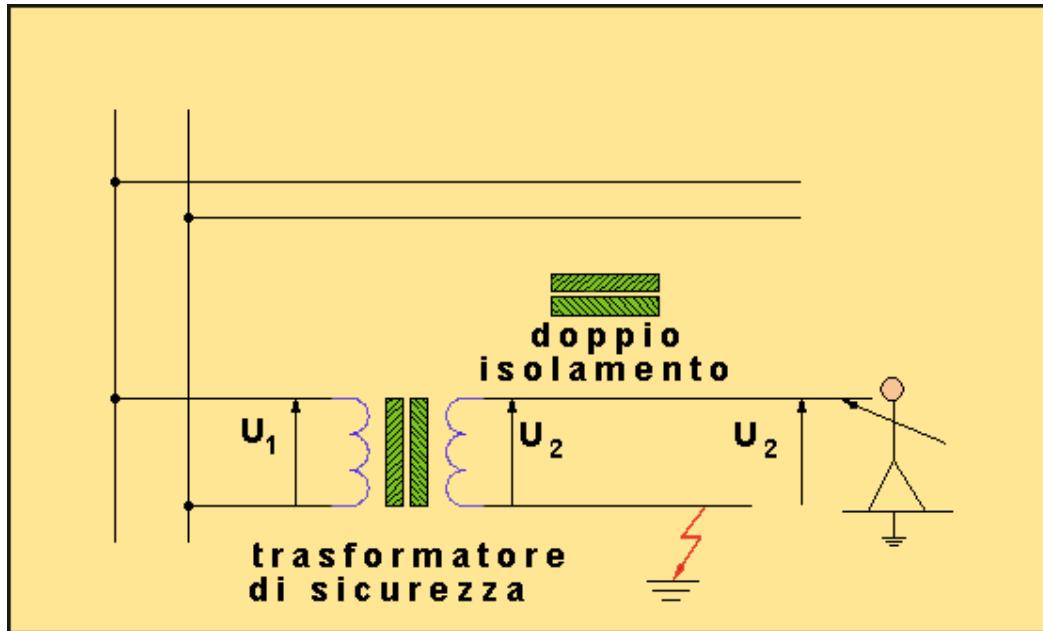


Fig. 8.5 - Circuito SELV. Nel caso di guasto a terra di un polo del circuito secondario del trasformatore, tra la persona e la terra si stabilisce la tensione U_2

Le caratteristiche principali che questo sistema deve possedere sono:

- **Alimentazione** - un trasformatore di sicurezza conforme alle Norme CEI 14-6, un motore generatore con gli avvolgimenti isolati come indicato dalle Norme CEI 16-6, una batteria un gruppo di continuità statico ad inverter ecc.. Da queste apparecchiature viene garantita la separazione tra i sistemi per mezzo di un doppio isolamento oppure, nei trasformatori ad installazione fissa tramite uno schermo metallico connesso a terra. Questo tipo di collegamento non è ammesso nei trasformatori trasportabili in quanto si ritiene non possa essere garantito un efficiente collegamento a terra ;
- **Parti attive** - non è ammesso collegare a terra o a conduttori di protezione o a parti attive di altri circuiti le parti attive dei circuiti SELV e delle apparecchiature alimentate ;
- **Masse** - è vietato collegare le masse a terra o a conduttori di protezione o a masse di altri circuiti elettrici. È altresì vietato il collegamento a masse estranee a meno che la natura dei componenti lo richieda e purché tali masse estranee non possano assumere valori di tensione pericolosi. In alcuni casi il collegamento a terra è ammesso come ad esempio quando all'impianto di terra non sia connesso nessun altro sistema elettrico oppure quando si devono interrare conduttori nudi direttamente nel terreno (ad esempio riscaldamento delle serre) e quindi non si può parlare di un vero e proprio collegamento a terra ;
- **Prese a spina** - non deve essere presente il morsetto per il collegamento del conduttore di protezione e deve essere impedito l'accoppiamento con prese e spine di altri sistemi compresi quelli PELV e FELV ;
- **Protezione contro i contatti diretti** - se la tensione nominale del circuito non è superiore a 25V in c.a. e a 60V in c.c. non è necessaria alcuna protezione (a meno che il circuito non si trovi in ambienti critici come locali da bagno, piscine, luoghi conduttori ristretti ecc..). Se la tensione supera tali valori le parti attive, comprese quelle degli utilizzatori, devono essere protette contro il contatto diretto mediante involucri e barriere aventi un grado di protezione non inferiore a IPXXB oppure con un isolamento in grado di sopportare per un minuto una tensione di 500V in c.a. ;

Separazione di protezione rispetto agli altri sistemi - si ottiene con un isolamento doppio o rinforzato oppure con uno schermo metallico collegato a terra. Qualora la bassissima tensione di sicurezza coesista con altri sistemi elettrici, nell'impianto o nello stesso apparecchio utilizzatore (relè, condutture, contattori ecc..), occorre garantire una separazione di protezione su ogni punto del circuito a bassissima tensione di sicurezza, rispetto agli altri circuiti, almeno pari a quello

previsto fra il primario e il secondario di un trasformatore di sicurezza. Questo si può ottenere: separando materialmente i conduttori di sistemi diversi; con i conduttori del circuito SELV muniti, oltre che del normale isolamento, anche di guaina non metallica; con i circuiti a tensione diversa divisi da uno schermo o da una guaina metallica connessa a terra; con i circuiti a tensione diversa contenuti in uno stesso cavo multipolare o in un unico raggruppamento di cavi, a condizione che i conduttori dei circuiti SELV siano isolati, nell'insieme o individualmente, per la massima tensione presente.

8.6.2 Bassissima tensione di protezione PELV (Protective Extra Low Voltage)

E' un sistema a bassissima tensione alimentato da una sorgente di sicurezza e con una separazione di protezione rispetto gli altri sistemi elettrici, ma con un punto collegato a terra.

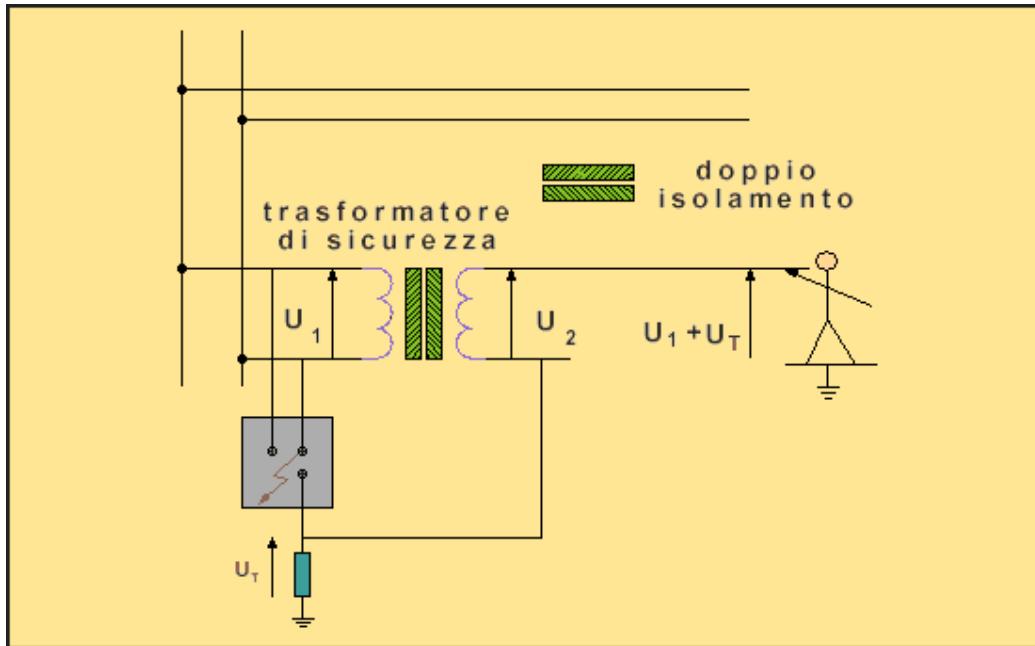


Fig. 8.6 - Circuito PELV. Nel caso di guasto in un punto qualsiasi del sistema elettrico che alimenta il trasformatore di sicurezza, la persona è soggetta al massimo alla tensione U_2+U_T .

Le principali caratteristiche e prescrizioni di questo sistema sono :

- **Alimentazione** - un trasformatore di sicurezza conforme alle Norme CEI 96-2, un motore generatore con gli avvolgimenti isolati come indicato dalle Norme CEI 16-6, una batteria un gruppo di continuità statico ad inverter, un dispositivo elettronico, rispondente a Norme appropriate, tale che la tensione ai morsetti non superi i limiti della bassissima tensione (neanche in caso di guasto interno) ecc.. Dispositivi che forniscono tensioni superiori ai morsetti d'uscita sono ammessi purché la tensione misurata con un voltmetro con resistenza interna di 3000 □ (ad esempio apparecchio per la misura dell'isolamento) si riduca nel tempo previsto dalla tabella 8.1. Da queste apparecchiature viene garantita la separazione tra i sistemi per mezzo di un doppio isolamento oppure, nei trasformatori ad installazione fissa tramite uno schermo metallico connesso a terra. Questo tipo di collegamento non è ammesso nei trasformatori trasportabili in quanto si ritiene non possa essere garantito un efficiente collegamento a terra (stesse caratteristiche del sistema SELV);
- **Parti attive** - è ammesso collegare a terra le parti attive del circuito ;
- **Masse** - è ammesso collegare le masse a terra ;
- **Prese a spina** - possono avere un contatto per il collegamento del conduttore di protezione. Non devono consentire l'accoppiamento con prese e spine di altri sistemi neppure SELV e FELV;

□ **Protezione contro i contatti diretti** - se la tensione nominale del circuito non è superiore a 25V in c.a. e a 60V in c.c. non è necessaria, per contatti con parti nude di piccole dimensioni, alcuna protezione ma solo se il componente è ubicato nell'interno di un edificio dove sia stato realizzato il collegamento equipotenziale principale e a condizione che i componenti elettrici non si trovino in ambienti critici come locali da bagno, piscine, luoghi conduttori ristretti ecc. Se invece l'ambiente è critico non sono necessarie protezioni se la tensione non è superiore a 6 V in c.a. o minore a 15 V in c.c. non ondulata. Se la tensione supera tali valori le parti attive, comprese quelle degli utilizzatori, devono essere protette contro il contatto diretto mediante involucri e barriere aventi un grado di protezione non inferiore a IPXXB oppure con un isolamento in grado di sopportare per un minuto una tensione di 500V in c.a. ;

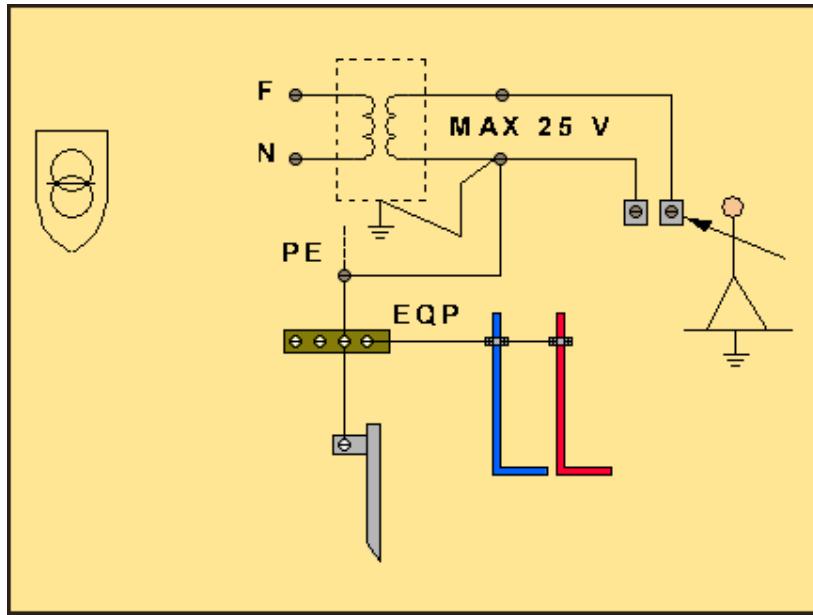


Fig. 8.7- La protezione è assicurata per contatti diretti su piccole superfici solo in ambienti asciutti nell'interno di un edificio con collegamento equipotenziale principale.

□ **Separazione di protezione rispetto agli altri sistemi** - si ottiene con un isolamento doppio o rinforzato oppure con uno schermo metallico collegato a terra. Qualora la bassissima tensione di sicurezza coesista con altri sistemi elettrici, nell'impianto o nello stesso apparecchio utilizzatore (relè, condutture, contattori ecc..), occorre garantire una separazione di protezione su ogni punto del circuito a bassissima tensione di sicurezza, rispetto agli altri circuiti, almeno pari a quello previsto fra il primario e il secondario di un trasformatore di sicurezza. Questo si può ottenere: separando materialmente i conduttori di sistemi diversi; con i conduttori del circuito SELV muniti, oltre che del normale isolamento, anche di guaina non metallica; con i circuiti a tensione diversa divisi da uno schermo o da una guaina metallica connessa a terra; con i circuiti a tensione diversa contenuti in uno stesso cavo multipolare o in un unico raggruppamento di cavi, a condizione che i conduttori dei circuiti SELV siano isolati, nell'insieme o individualmente, per la massima tensione presente.

Questo sistema è impiegato in quei circuiti in cui, per motivi funzionali, è necessario avere un punto collegato a terra (si vuole evitare che uno o più guasti a terra provochino un funzionamento intempestivo in un circuito di comando). Essendo un punto del circuito collegato a terra il circuito PELV non risulta sicuro come il circuito SELV perché, tramite la messa a terra, il circuito può essere interessato da una tensione più elevata di quella nominale secondaria. La figura 8.6 mostra come una persona che venisse a contatto con un punto del circuito PELV sia sottoposta in condizioni normali ad una tensione U_2 mentre, nel caso di un guasto sul sistema di alimentazione del trasformatore di sicurezza, ad una tensione U_2+U_T (U_T è la tensione totale di terra dovuta al guasto del sistema di alimentazione del trasformatore) mentre ciò non può accadere con il sistema SELV dove, come abbiamo visto la persona in contatto con un polo della SELV è soggetta al massimo alla tensione U_2 quando l'altro polo del circuito fosse accidentalmente a terra. Per questi motivi la PELV non può essere impiegata quando siano necessarie misure di protezioni più restrittive (ad esempio nei 'luoghi conduttori ristretti').

8.6.3 Apparecchi di classe III

Gli apparecchi destinati ad essere impiegati nei sistemi SELV e PELV presentano caratteristiche costruttive meno restrittive degli altri apparecchi in quanto la sicurezza è fornita dal sistema di alimentazione. Questi apparecchi non devono generare al loro interno tensioni superiori al limite imposto dalla bassa tensione di sicurezza a meno che l'energia in gioco non sia trascurabile. Sono dotati di isolamento principale ridotto e non sono provvisti di morsetto di terra.

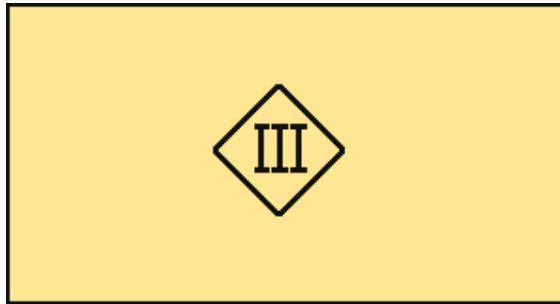


Fig. 8.8 - Simbolo grafico di un apparecchio di classe III.

8.6.4 Bassissima tensione funzionale - FELV (Functional Extra Low Voltage)

E' un sistema a tensione ridotta che si differenzia dal SELV e dal PELV per il fatto di non essere alimentato da una sorgente autonoma o di sicurezza e perché non è garantito l'isolamento del circuito secondario verso i sistemi elettrici a tensione maggiore. Si può quindi temere un passaggio della tensione primaria sul secondario e il circuito secondario deve essere protetto sia dai contatti diretti che indiretti. Le caratteristiche e le prescrizioni principali di questo sistema possono essere così sintetizzate :

- **Alimentazione** - un trasformatore ordinario, un autotrasformatore, un alimentatore elettronico senza adeguato isolamento tra ingresso e uscita ;
- **Parti attive e masse** - è necessario collegare le masse al conduttore di protezione del circuito primario, a condizione che quest'ultimo sia protetto contro i contatti indiretti mediante interruzione automatica dell'alimentazione (con differenziale coordinato con la resistenza dell'impianto di terra nei sistemi TT, oppure con differenziale o interruttore automatico coordinato con l'impedenza dell'anello di guasto nei sistemi TN o anche con uno degli altri sistemi di protezione previsti dalle Norme CEI 64-8). In caso contrario si deve collegare una parte attiva del circuito FELV al conduttore di protezione del circuito primario purché quest'ultimo sia protetto mediante interruzione automatica ;
- **Prese a spina** - Devono essere dotate di morsetto per il collegamento al conduttore di protezione e non devono essere compatibili con altri sistemi anche se di bassa o bassissima tensione ;
- **Protezione contro i contatti diretti** - le parti attive, compresi gli utilizzatori, devono essere protette dal contatto diretto mediante involucri o barriere che non permettano l'accesso al dito di prova con un diametro di 12 mm, oppure con un isolamento corrispondente alla tensione minima di prova richiesta dal circuito primario non inferiore a 1500 V applicati per un minuto ;
- **Separazione di protezione rispetto agli altri sistemi** - non si richiedono misure particolari per garantire la separazione dei circuiti FELV se non un isolamento dimensionato in base alla tensione nominale del circuito primario.

Da quanto sopra si può affermare che in un circuito FELV:

- la protezione contro i contatti diretti è sempre richiesta anche se la tensione al secondario è molto ridotta poiché non si può escludere un guasto tra gli avvolgimenti del trasformatore. Per garantire la protezione dai contatti diretti il circuito secondario deve avere un isolamento verso terra adatto alla tensione del primario (purtroppo molto spesso gli apparecchi a tensione ridotta hanno un isolamento verso terra per la propria tensione nominale) ;

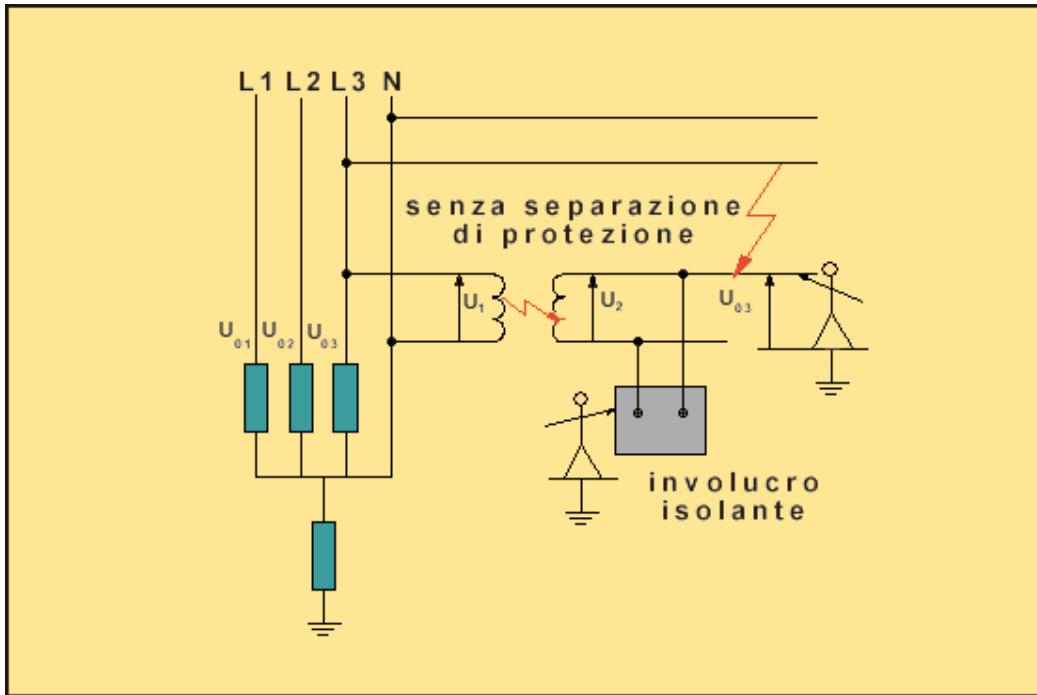


Fig. 8.9 - Circuito FELV - In caso di guasto nel trasformatore (non di sicurezza) o tra i circuiti senza separazione elettrica, la persona che toccasse un polo del circuito secondario è sottoposta ad una tensione U_0 verso terra. L'involucro degli utilizzatori dovrebbe essere isolato verso terra rispetto alla tensione U_0 anche se è alimentato ad una tensione U_2 .

□ un guasto proveniente da un circuito di un altro sistema, provoca normalmente un guasto anche sull'apparecchio alimentato a tensione ridotta, essendo l'isolamento dell'apparecchio a tensione ridotta non adatto a resistere alla tensione del circuito primario. Se la massa dell'apparecchio è collegata alla terra dello stesso impianto delle masse del primario (fig. 8.10) i due guasti sono visti dal circuito primario come un guasto a terra (la tensione sulle masse vale U_T) e interviene il sistema di protezione contro i contatti indiretti del circuito primario. La vecchia norma 64/8 con masse isolate da terra permetteva di mettere a terra un polo del trasformatore (fig. 8.11). La situazione in questo caso è sempre vista dal primario come un guasto a terra ma la tensione sulla massa non vale più U_T bensì U_T+U_2 . E' un metodo più pratico ma la sicurezza in questo secondo caso è minore rispetto al primo metodo in quanto generalmente gli apparecchi a bassissima tensione non sono dotati di morsetto di terra rendendo difficoltoso il collegamento al conduttore di protezione. Ora per uniformarsi alle direttive Europee occorre sempre collegare a terra le masse dei sistemi Felv. Se il circuito Felv è derivato da un circuito primario protetto mediante separazione elettrica (trasformatore d'isolamento) si devono collegare le masse del circuito Felv al conduttore equipotenziale isolato da terra in accordo con quanto prescritto per i circuiti protetti per separazione elettrica.

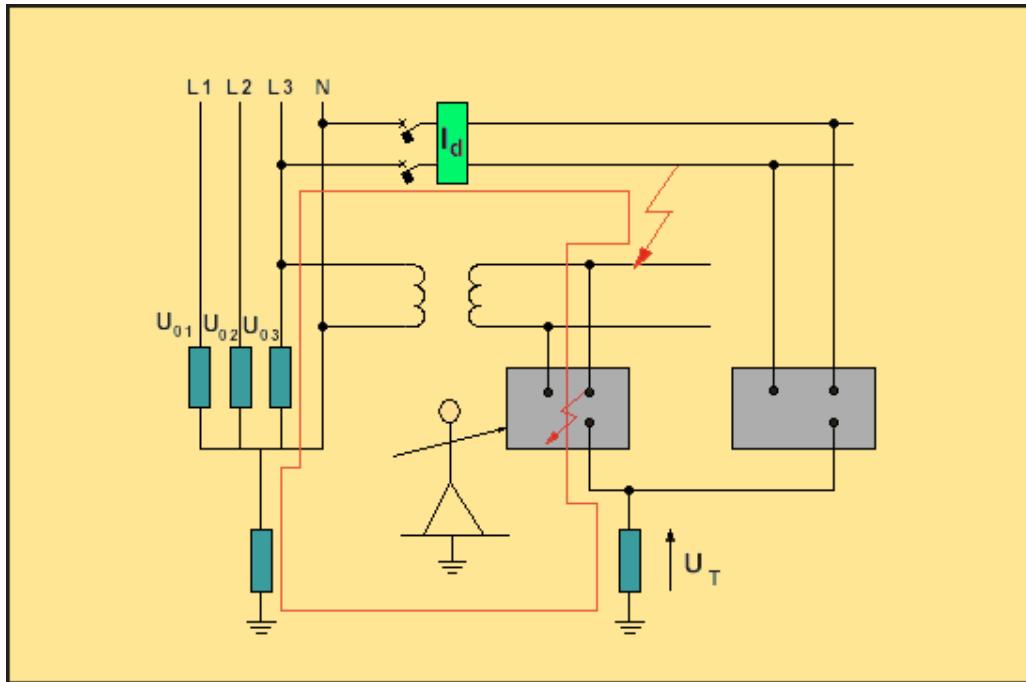


Fig. 8.10 - Circuito FELV isolato da terra con le masse collegate a terra - In caso di guasto verso terra sul circuito primario e di un conseguente guasto sull'utilizzatore, interviene il sistema di protezione contro i contatti indiretti del circuito primario. Una persona che venisse a contatto con l'utilizzatore è sottoposta alla tensione U_T .

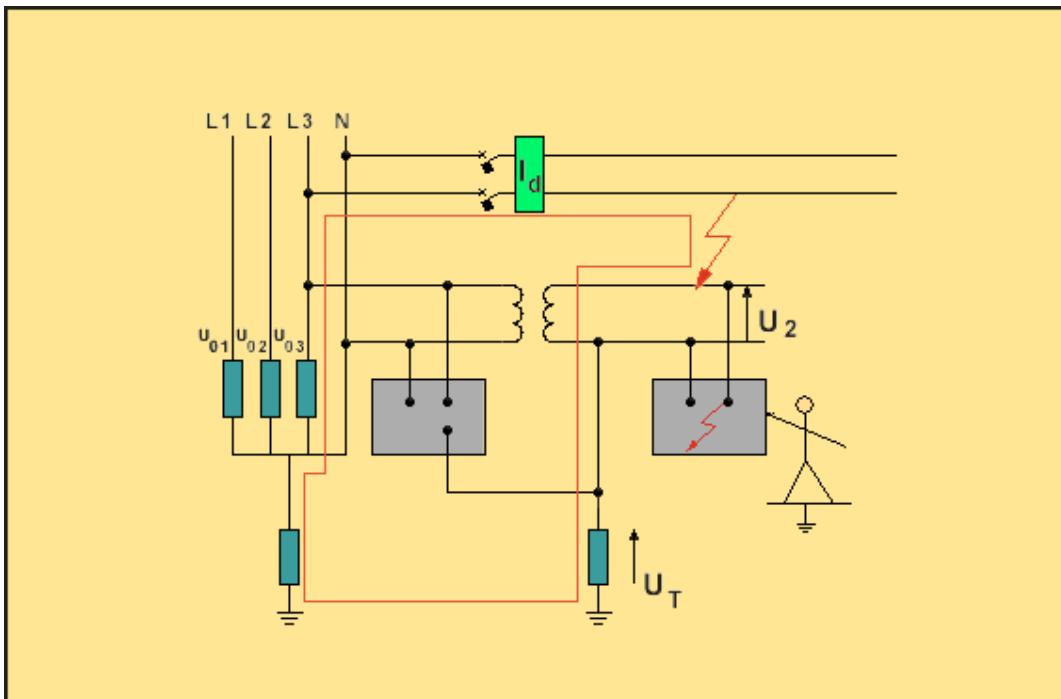


Fig. 8.11 - Polo del circuito FELV a terra e masse isolate da terra (non più ammesso dalla norma) - Un guasto sul circuito primario fa intervenire il sistema di protezione contro i contatti indiretti del primario. La persona è sottoposta alla tensione $U_T + U_2$.

9. Considerazioni sulle misure di protezione dai contatti diretti e indiretti

9.1 Confronto tra le misure di protezione dai contatti indiretti

Si è già esaurientemente trattato il problema delle protezioni da contatti indiretti ma, a conclusione dell'argomento si ritiene utile fare una piccola sintesi e un confronto tra i vari sistemi di protezione. La sicurezza di un sistema di protezione, infatti, dipende in larga misura dalle condizioni ambientali e d'uso, e a seconda del caso va individuato il sistema di protezione più conveniente :

- Locali isolanti (apparecchi di classe 0) - la protezione viene applicata per mezzo dell'isolamento principale e dell'isolamento verso terra del locale. E' affidabile solo in casi particolari in quanto l'isolamento dell'ambiente dipende da diverse variabili non sempre facilmente controllabili.
- Interruzione automatica dell'alimentazione (apparecchi di classe I) - la protezione viene attuata per mezzo dell'isolamento principale e dell'interruzione automatica del circuito, entro tempi prefissati, prima che la tensione raggiunga valori pericolosi. La curva di sicurezza è stabilita sulla base di dati rilevati statisticamente e anche se rispettata comporta sempre un certo rischio. L'affidabilità del sistema dipende dai dispositivi di interruzione del circuito, dal conduttore di protezione e dalla variazione che potrebbe subire la resistenza di terra nei sistemi TT e l'impedenza dell'anello di guasto nei sistemi TN.
- Impiego di apparecchi di classe II - l'isolamento principale e supplementare oppure rinforzato forniscono la protezione necessaria. Se l'isolamento principale viene a mancare la tensione di contatto è limitata dall'isolamento supplementare. In definitiva si può dire che la sicurezza è determinata dall'apparecchio stesso, che ha superato prove e collaudi in fabbrica, ed è influenzata dalle modalità d'uso e dalla manutenzione.
- Bassissima tensione di sicurezza - la protezione è ottenuta utilizzando sistemi a tensione non pericolosa e assicurandosi che tensioni pericolose non possano essere trasferite dal circuito di alimentazione primario o dalla terra verso il circuito secondario. L'alimentazione può essere ottenuta tramite sorgente autonoma o trasformatore di sicurezza. Se la sorgente è autonoma e se non esistono circuiti elettrici di altri sistemi verso i quali potrebbero prodursi guasti d'isolamento il sistema può essere definito 'intrinsecamente sicuro'. Viceversa se il sistema è alimentato tramite trasformatore di sicurezza o sorgente equivalente, occorre proteggersi dai pericoli derivanti dal circuito primario, dai circuiti a tensione non di sicurezza e dalla terra. Il circuito secondario può essere costituito da conduttori nudi, con isolamento principale, con isolamento doppio o rinforzato. Nel primo caso la protezione è affidata al doppio isolamento che separa il circuito primario dal circuito secondario mentre negli altri due casi si aggiunge la protezione offerta anche dall'isolamento principale o dall'isolamento doppio o rinforzato (ad esempio lampade portatili di classe II). Gli apparecchi di classe II alimentati a bassissima tensione di sicurezza non sono molto diffusi. Sono sistemi che si adattano bene, per parti limitate di impianto, negli ambienti più critici come ad es. : luoghi bagnati, luoghi conduttori ristretti (cunicoli metallici), bagni, piscine, nella realizzazione di giocattoli.
- Separazione elettrica - la protezione consiste nel separare il circuito degli utilizzatori dagli altri circuiti e dalla terra con l'intento di limitare la tensione di contatto quando cede l'isolamento principale. Le sorgenti di alimentazione possono essere: una sorgente autonoma che alimenta più apparecchi, comprese le linee di alimentazione, con isolamento principale. Se si separano i circuiti secondari rispetto ad altri sistemi elettrici il pericolo può derivare solamente da un guasto verso terra del circuito secondario ed è tanto più probabile quanto è esteso il circuito. Quando la sorgente di alimentazione è ottenuta tramite un trasformatore d'isolamento le cause di pericolo possono derivare da un guasto d'isolamento verso terra, verso il primario o verso i circuiti di altri sistemi elettrici. La sicurezza migliora se il trasformatore d'isolamento alimenta un solo apparecchio che può avere il solo isolamento principale (classe I), e garantire così una sicurezza equivalente a quella di un apparecchio con isolamento doppio o rinforzato, oppure può avere l'isolamento doppio o rinforzato (classe II) garantendo un grado di sicurezza maggiore rispetto al caso precedente. La protezione per interruzione automatica del circuito ha un utilizzo di carattere generale mentre le altre soluzioni vengono impiegate solo in casi particolari. La tabella 9.1 raccoglie le misure di protezione fin qui descritte secondo una classifica di massima stilata in base alla sicurezza.

<i>Misura di protezione</i>		<i>Numero di guasti possibili</i>	<i>Classificazione in base alla sicurezza</i>
1	<i>Locali isolanti</i>	2	9
2	<i>Interruzione automatica dell'alimentazione</i>	2	6

3	<i>Isolamento doppio o rinforzato</i>	2	5
4	<i>Sorgente autonoma intrinsecamente sicura</i>	-----	1
5	<i>Bassissima tensione di sicurezza (SELV)</i>	Nessun isolamento	4
6	<i>Trasformatore di sicurezza</i>	<i>Isolamento principale</i>	3
7		<i>Isolamento doppio o rinf.</i>	2
8		<i>Sorgente autonoma</i>	2
9		<i>Apparecchi con isolamento principale</i>	3
10	<i>Separazione elettrica</i>	<i>Un solo apparecchio con isolamento principale</i>	3
11		<i>Un solo apparecchio con isolamento doppio o rinf.</i>	4
			3

Tab. 9.1 - Classificazione di massima delle misure di protezione contro i contatti indiretti.

Una misura di protezione dai contatti indiretti è sempre necessaria, ma in alcuni casi, per motivi pratici o in considerazione del rischio ridotto, può non essere applicata: se le masse sono di dimensioni ridotte e non sono toccate o impugnate durante il normale funzionamento (viti, fascette ecc..), se si tratta di mensole porta isolatori di linee aeree purché non siano a portata di mano, i ferri di armatura dei sostegni in cemento delle linee elettriche se i ferri non sono accessibili (in effetti questi ferri essendo non accessibili non costituiscono una massa anche se, quando il cemento è bagnato, può diventare conduttore).