

REQUISITI DI SICUREZZA DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

R. Paciucci – E. Ragno

Servizio sicurezza e protezione - CNR

Le fonti di rischio elettrico sono costituite dagli impianti elettrici e dagli apparecchi elettrici in generale; il pericolo è rappresentato in primo luogo dalla possibilità di prendere “la scossa” cioè di essere attraversati, a causa del guasto di un componente o comunque di una situazione incidentale, da una corrente elettrica; inoltre i guasti elettrici (corti circuiti, sovraccarichi etc.) possono essere la causa iniziale di incendi. Il rischio connesso con l'uso di dispositivi elettrici è significativamente influenzato dal modo in cui gli apparecchi sono adoperati: il rischio diventa maggiore se i dispositivi elettrici sono usati in luoghi umidi, vicino all'acqua, senza le necessarie cautele.

Nella presente memoria verranno illustrati gli effetti del passaggio di corrente elettrica nel corpo umano, le condizioni in cui sono posti in essere pericoli di natura elettrica e le misure di protezione contro i contatti diretti ed indiretti che è necessario adottare per conseguire un sufficiente grado di sicurezza.

Effetti sull'organismo umano

Il passaggio di corrente elettrica all'interno del nostro corpo provoca danni alla salute; questi sono tanto più gravi quanto maggiore è l'**intensità della corrente** (i) che ci attraversa. Hanno anche importanza i seguenti fattori:

- tempo durante il quale avviene il passaggio
- percorso della corrente nel corpo
- tipo di corrente (continua, alternata)
- condizioni fisiche e psicologiche del soggetto colpito.

Gli organi più delicati sono il cuore ed il sistema respiratorio e dunque una corrente che interessi il torace (ad es. che entri da una mano ed esca dai piedi), è molto più pericolosa di una corrente che interessi solo il bacino o gli arti. E' quindi importante nel valutare gli effetti della corrente tener conto del percorso seguito dalla corrente stessa entro il corpo umano.

Ma a che valori di intensità la corrente diventa pericolosa? Con riferimento alla corrente alternata a 50 Hz, usata nel nostro paese, possiamo considerare i seguenti effetti:

- ⇒ correnti superiori a 1 mA possono essere avvertite
- ⇒ correnti tra 5 e 10 mA producono sensazione di dolore
- ⇒ correnti superiori a 15 mA nella donna e 20 mA nell'uomo producono il così detto tetano muscolare, e rendono impossibile all'infortunato abbandonare gli elettrodi: il passaggio di correnti alternate nei muscoli ne provoca in generale la contrazione seguita da rilassamento; nel caso della corrente alternata a 50 hz, si ha un susseguirsi di impulsi alternativamente di polarità opposta ogni 10 msec, e non potendo i muscoli contrarsi e rilassarsi con una così elevata rapidità, ha luogo uno stato di contrazione permanente. In sostanza i muscoli si sottraggono al comando del cervello, perché sono stimolati da impulsi ricorrenti della stessa natura, e di intensità molto maggiore rispetto a quelli provenienti dal cervello. In caso di prolungata tetanizzazione dei muscoli della respirazione può subentrare

l'asfissia. Le correnti di 50 - 60 mA provocano la fibrillazione ventricolare: i muscoli cardiaci cominciano a pulsare disordinatamente e con frequenza molto più elevata di quella abituale (anche più di 1000 pulsazioni al minuto). Il battito irregolare non è in alcun modo utile ai fini della circolazione che pertanto si arresta causando la morte dell'infortunato per carenza di sangue al cervello. La comparsa della fibrillazione ventricolare è notevolmente influenzata dalla durata del passaggio di corrente: una corrente di 50-60 mA può scatenare la fibrillazione se dura qualche secondo¹.

⇒ Tutte le correnti ed in particolare quelle più intense producono un ulteriore fenomeno: le ustioni dovute al calore che si sviluppa per effetto joule nei tessuti. Le bruciature sono per lo più localizzate nei punti di contatto tra pelle e parti in tensione, ma per correnti intense o di lunga durata (diversi secondi o minuti) si giunge alla distruzione di interi arti e membra.

A tensioni elevate possono risultare rilevanti gli effetti elettrodinamici.

Il passaggio di corrente nel corpo ha luogo quando viene applicata (accidentalmente) una tensione V tra due punti del corpo stesso²; la tensione ha tuttavia un'influenza indiretta nei danni prodotti, nel senso che essa è la causa del passaggio di corrente, ma è quest'ultima responsabile degli effetti lesivi sull'organismo. L'intensità della corrente è legata alla tensione che ne ha prodotto il passaggio dalla ben nota legge di Ohm:

$$I = V/R_3$$

dove R è la resistenza incontrata dalla corrente.

Il corpo di per sé ha una resistenza bassa, che non supera alcune centinaia di ohm, tuttavia essa viene a trovarsi in serie con le resistenze di contatto che sono normalmente di ordini di grandezza maggiori, ma che sono molto variabili a seconda della situazione. La pelle secca ad esempio ha una resistenza molto elevata che cresce se la pelle è callosa, costituendo così una barriera protettiva; se la pelle è bagnata, o sudata, o impregnata di sali o sostanze chimiche conduttrici, la resistenza si riduce fortemente. Quando uno dei "contatti" è costituito dalle scarpe, situazione piuttosto frequente, la resistenza è quasi sempre molto elevata: le scarpe di cuoio hanno una resistenza pari ad alcune decine di migliaia di ohm, mentre delle comuni scarpe da ginnastica in gomma arrivano a molti milioni di ohm; la situazione è ben diversa se siamo scalzi o ancor peggio a piedi bagnati: la resistenza si riduce a poche migliaia di ohm. E' necessario fare due semplici esempi:

1. se tocchiamo un conduttore di fase con la mano indossando delle scarpe di gomme, e la corrente ci attraversa scaricandosi a terra tramite le scarpe, la resistenza complessiva incontrata dalla corrente è maggiore di 220.000 ohm, pertanto la corrente risulta inferiore a 1 mA e non la avvertiamo.

¹La medicina conosce mezzi per defibrillare il cuore: efficace a tal fine può essere un breve impulso di corrente (qualche ampere per una frazione di secondo) dato al corpo con un dispositivo noto come defibrillatore. Il provvedimento risulta efficace solo se viene praticato entro pochi minuti dall'insorgere della fibrillazione: esso può essere risolutivo in sala operatoria per far cessare la fibrillazione prodotta da un intervento chirurgico, ma non è in genere praticabile negli incidenti da elettricità per la non disponibilità del medico e dei mezzi necessari al momento dell'infortunio.

² Ciò accade ad esempio quando tocchiamo un filo sotto tensione scoperto (in questo caso la tensione è applicata tra il punto di contatto con il filo e la terra che tocchiamo con le scarpe o con altre parti del corpo) o addirittura quando tocchiamo due fili a diversa tensione.

³ I è misurata in Ampere, V in Volt, R in Ohm

2. se come prima tocchiamo un conduttore di fase, ma siamo scalzi e, ancor peggio a piedi bagnati, la resistenza diminuisce drasticamente, e la corrente conseguentemente aumenta a valori pericolosi. Se per fissare le idee R risulta pari a 4.400 ohm la corrente risulta 0,05 A cioè 50 mA e risulta pericolosa se non è interrotta rapidamente da un idoneo dispositivo di protezione.

L'insieme dei valori di tensione che in funzione del tempo di permanenza di un contatto accidentale possono provocare effetti sul corpo umano costituisce la cosiddetta "curva di sicurezza" (Fig. 1). Tale curva indica le situazioni di pericolosità convenzionale della corrente elettrica essendo riferita a uomini di 50 kg di peso e a contatti mano-mano e mano-piedi con resistenze medie.

Tab. 1 Tempi di contatto per tensione di contatto

Tensione di contatto (V)	Massima durata del contatto (sec)
< 50	infinito
50	5
75	1
90	0,5
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03

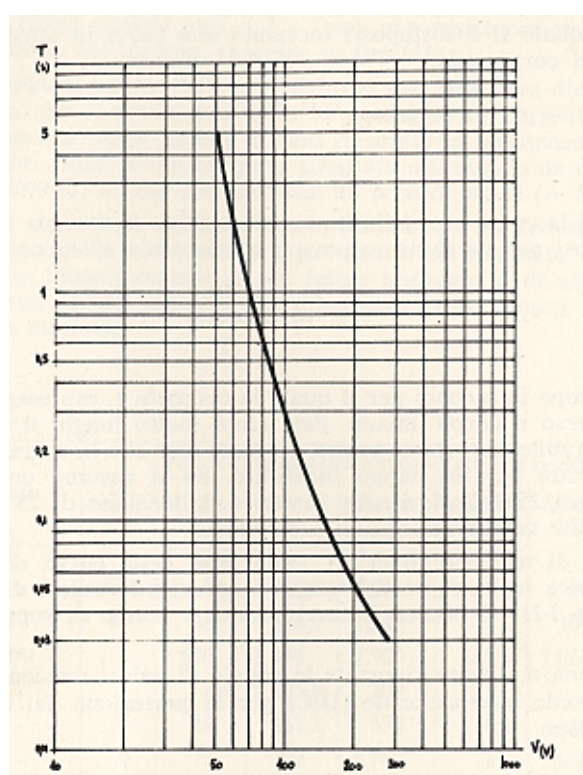


Fig. 1 Tensioni ammissibili in funzione del tempo, per la protezione dai contatti indiretti

Misure di protezione contro i contatti diretti e i contatti indiretti

Si può prendere la “scossa” con due modalità distinte:

- per contatto diretto
- per contatto indiretto

Si verifica il primo caso quando si tocca una parte del circuito elettrico normalmente in tensione (es. conduttore di fase scoperto); la protezione dai contatti diretti si realizza in primo luogo segregando le parti ed i componenti del circuito normalmente in tensione ed in secondo luogo con dispositivi automatici di interruzione della corrente.

Si ha il contatto indiretto quando si tocca un involucro (es. apparecchio elettrico, stufa etc) che normalmente non è in tensione, ma a causa di un guasto nell'isolamento elettrico viene a trovarsi accidentalmente in

tensione. Questo secondo caso è in genere più subdolo del primo; da esso ci si protegge mediante la “messa a terra” e l'interruttore differenziale. La prima consiste nel collegamento con la terra degli involucri degli apparecchi elettrici, in modo che in caso di guasto, questi non possano andare in tensione (perché si scaricano a terra). L'interruttore differenziale rende poi possibile proteggersi contemporaneamente da contatti diretti ed indiretti: si tratta di un dispositivo che interviene interrompendo la corrente nel circuito quando rileva una fuga di corrente, anche piccola (dell'ordine di 20, 30 mA). La fuga potrebbe essere causata da un contatto diretto, indiretto o da un guasto all'impianto che viene così segnalato.

In generale un contatto diretto o indiretto è pericoloso se dà luogo all'applicazione di una tensione sul corpo per un tempo superiore a quanto riportato in fig. 1; un dispositivo di protezione deve quindi intervenire nei tempi riportati in tab. 1. Si esaminano più in dettaglio la protezione da contatti diretti e quelle da contatti indiretti.

PROTEZIONE DAI CONTATTI DIRETTI

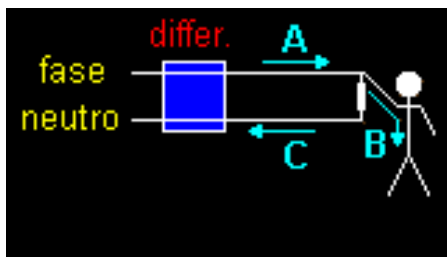
I sistemi di protezione dai contatti diretti possono essere di tipo attivo e di tipo passivo.

I sistemi di tipo attivo intervengono togliendo tensione al circuito quanto una corrente pericolosa attraversa il corpo umano. Tale tipo di protezione è costituito essenzialmente da un interruttore differenziale a sensibilità fisiologica, avente cioè corrente di intervento

$$I < 30 \text{ mA}$$

Questo valore, se limitato a tempi di esposizione molto brevi costituisce un compromesso tra esigenze di protezione delle persone e continuità di servizio.

L'interruttore differenziale conosciuto anche come “salvavita” confronta continuamente la corrente entrante con quella uscente e scatta quando avverte una *differenza* dovuta ad una dispersione.



diretto: in assenza di dispersione ($B=0$)

le correnti A e C sono uguali e il differenziale non interviene, se si verifica una dispersione in B la corrente $C = A - B$ e il differenziale avverte una differenza pari a B; se questa è superiore alla sua

In figura 2 è rappresentato un contatto

soglia di sensibilità interviene togliendo tensione.

I sistemi di tipo passivo concernono l'isolamento di tutte le parti del circuito normalmente in tensione cioè dei cavi nonché degli altri dispositivi facenti parte dell'impianto elettrico contenuti in un involucro (interruttori, prese e spine, lampade, altri dispositivi utilizzatori). Per quanto riguarda i cavi, questi hanno un isolante che deve essere in grado di resistere a sollecitazioni meccaniche, termiche e chimiche (ossigeno, azoto, raggi ultravioletti).

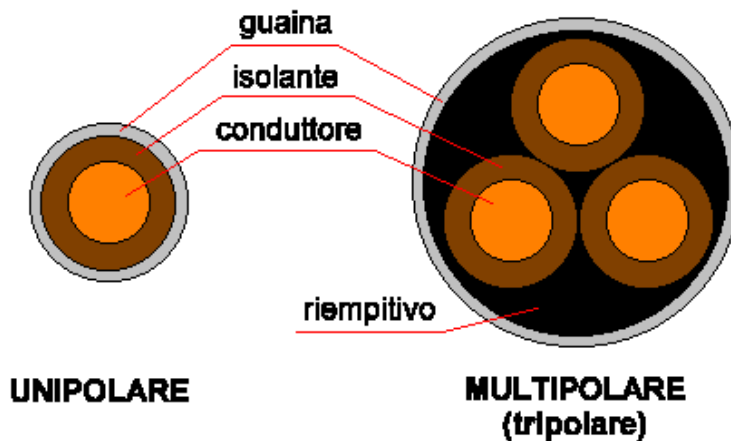


Fig.3 Composizione dei cavi

Nei cavi si distinguono principalmente le seguenti parti (fig. 3):

- **conduttore**: è la parte metallica (solitamente in rame) effettivamente percorsa dalla corrente;
- **isolante**: è la parte che circonda il conduttore (solitamente PVC o gomma);
- **anima**: è l'insieme di conduttore e isolante;
- **guaina**: rivestimento protettivo esterno.

I cavi, contraddistinti anche da un idoneo colore (nero, grigio, marrone per la fase; blu per il neutro e giallo-verde per la terra) possono essere **rigidi** o **flessibili**, con o senza *guaina*. Inoltre si hanno cavi con una sola *anima* (**cavi unipolari**) e cavi con due o più *anime* (**cavi multipolari**).

Ogni cavo ha una tensione di isolamento indicata da due valori U_0 - U :

- **U_0** : è la tensione massima che con sicurezza l'isolamento del cavo può sopportare verso terra (tensione cavo-terra);
- **U** : è la tensione massima che con sicurezza l'isolamento del cavo può sopportare rispetto a un cavo a stretto contatto (tensione cavo-cavo) (tab. 2).

Gli involucri possono assicurare la protezione di un componente elettrico anche contro agenti esterni. Essi hanno diversi gradi di protezione contro l'introduzione di **corpi solidi** e di **liquidi**, in base alle diverse situazioni in cui possono essere usati.

Il grado di protezione è indicato con le lettere **IP** seguite da due numeri: la prima cifra indica il grado di protezione contro i corpi solidi e la seconda il grado di protezione contro l'acqua. Se non vi è la classificazione per uno dei due casi, la cifra è sostituita da una **X** (tab 3).

Tab. 2 Simbolo di designazione dei cavi in base alla tensione nominale

TENSIONE NOMINALE U_0/U	SIMBOLO DI DESIGNAZIONE
< 100/100 V	00
$\geq 100/100$ V	01
< 300/300 V	02
300/300 V	03

300/500 V	05
450/750 V	07
0.6/1 kV	1
1.7/3 kV	3
3.5/6 kV	6
6/10 kV	10

Tab. 3 Descrizione del grado di protezione IP

	Descrizione		D e s c r i z i o n e
	Non protetto. Non è prevista alcuna particolare protezione		N o n p r o t e t t o
	Protetto contro i corpi solidi di dimensioni superiori a 50 mm o una grande superficie del corpo umano (ad es. una mano)		P r o t e t t o c o n t r o l a c a d u t a

			v e r t i c a l e d i g o c c e d i a c q u a
	<p>Protetto contro i corpi solidi di dimensioni superiori a 12 mm (ad es. un dito della mano)</p>		P r o t e t t o c o n t r o l a c a d u t a

			d i g o c c e d i a c q u a c o n u n a i n c l i n a z i o n e m a s s i m a d i 1 5
--	--	--	---

			g r a d i
	<p>Protetto contro i corpi solidi di dimensioni superiori a 2,5 mm (ad es. un cacciavite)</p>		P r o t e t t o c o n t r o l a p i o g g i a d a u n a d i r e z i o n e , r i

			s p e t t o a l l a v e r t i c a l e , f i n o a 6 0 g r a d i
	Protetto contro i corpi solidi di dimensioni superiori a 1 mm		P r o t e t t o c o n t r

			o g l i s p r u z z i d ' a c q u a d a t u t t e l e d i r e z i o n i
	Protetto contro la polvere		P r o t e t t o c

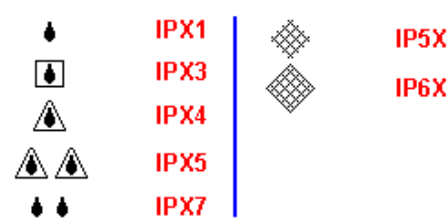
			o n t r o i g e t t i d ' a c q u a d a t u t t e l e d i r e z i o n i
	Totalmente protetto contro la polvere		P r o t e t t o c

			o n t r o l e o n d a t e o g e t t i p o t e n t i
			P r o t e t t o c o n t r o g l i e f

			f e t t i d e l l' i m m e r s i o n e
			P r o t e t t o c o n t r o g l i e f f e t t i d e l l' a

			s o m m e r s i o n e i n c o n t i n u i t à
--	--	--	---

Normalmente non si deve scendere mai al di sotto di IP20. In ambienti particolari il limite minimo sale, ad esempio: cucine IP21, giardini IP24, cantieri IP35, laboratori chimici IP44. A volte si possono incontrare dei simboli che corrispondono a specifici gradi di protezione:
I simboli possono essere combinati.



Oltre le due cifre appena descritte può apparire una lettera ad indicare l'inaccessibilità dell'involucro alle dita di una mano (Tab. 4).

Tab. 4 Descrizione della lettera che indica la protezione da contatto

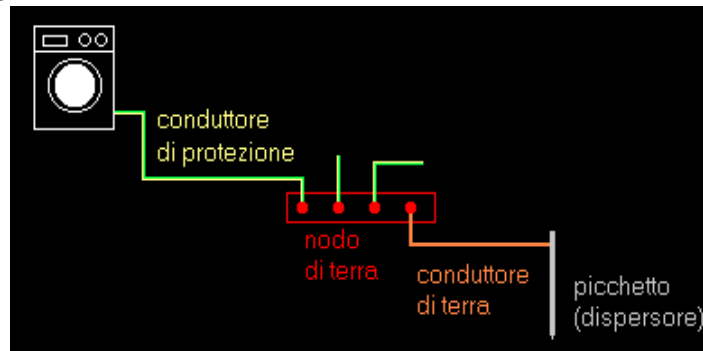
	Impedisce l'accesso con il palmo della mano
	Impedisce l'accesso con un dito
	Impedisce l'accesso con un attrezzo impugnato
	Impedisce l'accesso con un filo impugnato

PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI

La protezione contro i contatti indiretti si realizza nel collegare all'impianto di messa a terra la carcassa degli apparecchi da proteggere, mediante un apposito "conduttore di protezione".

Nel caso in cui la massa in questione dovesse andare sotto tensione, essa di scaricherà tramite il conduttore di protezione. Poiché tuttavia la tensione della carcassa dell'apparecchio non potrà esser nulla (l'impianto di terra presenta comunque una resistenza verso terra non nulla) occorre prevedere dispositivi automatici (interruttore magnetotermico o differenziale) coordinato con l'impianto di terra in modo che sia comunque rispettata la curva di sicurezza.

In un impianto elettrico ogni massa, tramite il **conduttore di protezione**, è collegata al **collettore (o nodo) principale di terra**. A sua volta il **conduttore di terra** collega il nodo ai **dispersori** e i dispersori tra loro. Questi ultimi, in intimo contatto col terreno, costituiscono la parte terminale dell'impianto.



Al nodo di terra vanno collegati anche i **conduttori equipotenziali**, che collegano le *masse estranee* come tubazioni e strutture metalliche. La *sezione del conduttore di protezione* deve essere uguale a quella dei conduttori di fase per sezioni di fase fino a 16 mmq, oltre tale valore la sezione del conduttore di protezione può essere pari alla metà di quella del conduttore di fase (fermo restando la sezione minima di 16 mmq).

Conclusioni

Per ridurre il rischio elettrico è necessario che gli impianti siano dotati dei dispositivi di protezione dai contatti diretti ed indiretti sopra illustrati; è necessario inoltre verificare che:

- * l'impianto stesso (e sue modifiche o ampliamenti) sia fatto a regola d'arte (legge 46/90) da ditte autorizzate; a tal proposito deve essere rilasciata la dichiarazione di conformità
- * i singoli componenti dell'impianto (prese, interruttori, conduttori, etc) abbiano il marchio IMQ o CEI o equivalente
- * l'impianto abbia l'interruttore magnetotermico
- * l'impianto abbia l'interruttore differenziale
- * l'impianto abbia la messa a terra (è vietato a tal proposito collegare la terra alle tubazioni dell'acqua)

Per quanto riguarda gli apparecchi elettrici ed il comportamento adeguato da tenere dobbiamo in particolare accertare che:

- * gli apparecchi elettrici abbiano il marchio IMQ o equivalente, non siano “difettosi” ed in questo caso provvedere a sostituirli o farli riparare da personale qualificato
- * non venga impiegato alcun apparecchio elettrico con mani bagnate
- * prima di pulire gli apparecchi elettrici la spina sia staccata
- * gli apparecchi elettrici in locali umidi siano utilizzati con prudenza
- * sia usata una presa per ogni apparecchio elettrico (le prese multiple sono accettabili solo per apparecchi di bassa potenza).