

Modulo 04: sicurezza elettrica

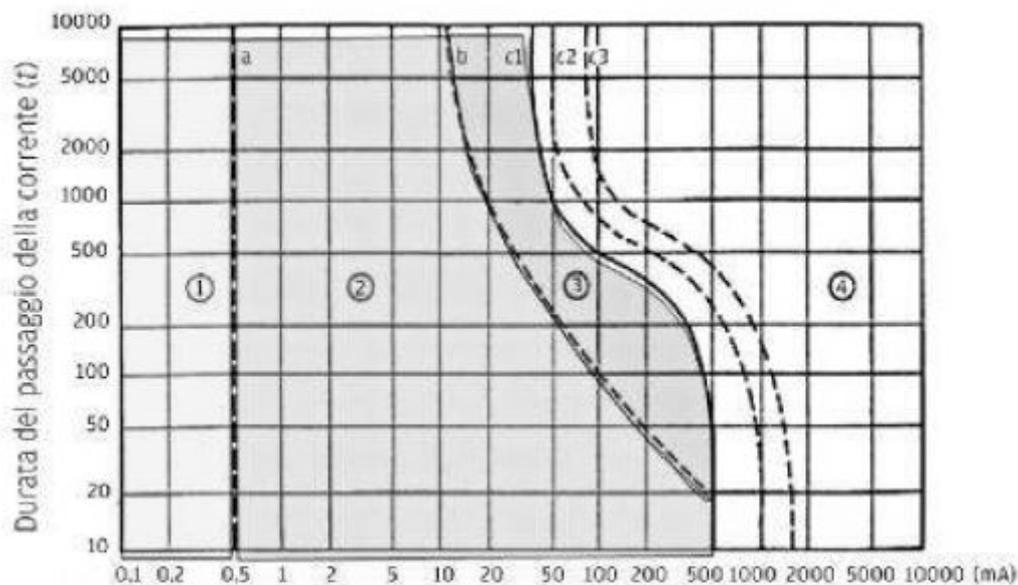
Tutti gli interventi sugli impianti elettrici, siano essi civili od industriali, devono essere effettuati con molta attenzione per evitare incidenti che possono avere conseguenze molto gravi.

Lavorando sugli impianti elettrici i rischi sono connessi ai seguenti eventi, che possono avvenire anche contemporaneamente:

- formazione dell'*arco elettrico*, che avviene quando i valori di tensione e corrente sono tali da ionizzare l'aria presente tra due contatti sino a renderla conduttiva
- *folgorazione* ovvero passaggio di corrente elettrica all'interno del corpo umano

Un *arco elettrico* può venir innescato anche in un impianto a bassa tensione (è sufficiente pensare alla caduta di una chiave inglese sui poli di una batteria automobilistica) e in questo caso provoca spavento nell'operatore che rischia di urtare contro qualche ostacolo e riportare delle ferite. In caso di elevate correnti di cortocircuito l'elevato calore prodotto può provocare ustioni, incendiare i materiali infiammabili, proiettare schizzi di metallo fuso. Per prevenire tali incidenti gli impianti sono generalmente dotati di dispositivi (interruttori magnetotermici, fusibili, ecc.) che limitano la massima corrente circolante interrompendo il circuito quando si verifica un cortocircuito. Questo però non è vero in alcune zone particolari dove occorre prestare la massima attenzione in caso di intervento. L'arco elettrico viene generato anche quando si interrompe un cavo in cui scorre una corrente elevata a causa delle sovratensioni che vengono a generarsi se il circuito è, come nella maggior parte dei casi, di tipo induttivo.

In caso di folgorazione le conseguenze dipendono sia dal tempo durante il quale la corrente attraversa il corpo umano sia dalla valore di tale corrente; tali conseguenze sono indicate nel seguente *diagramma di pericolosità della corrente elettrica* (cfr. pag. 323 libro di testo)



Tale diagramma è riferito ad una tensione alternata con frequenza compresa tra 15 e 100 Hz (il tempo è in millisecondi); le zone in cui è diviso devono essere interpretate nel modo seguente

- zona 1: nessuna reazione, il passaggio di corrente elettrica all'interno del corpo non viene percepito

- zona 2: a seconda del valore della corrente e della durata del contatto si hanno reazioni crescenti che vanno dal formicolio fino ad arrivare a contrazioni involontarie dei muscoli (come nell'esperimento di Volta sulle zampe di rana)
- zona 3: in questa zona si hanno fenomeni di tetanizzazione ovvero un irrigidimento dei muscoli che non sono più controllati dal cervello; questo fenomeno è particolarmente pericoloso se la contrazione impedisce il distacco da un conduttore in tensione
- zona 4: le curve c1, c2, c3 si hanno fenomeni di fibrillazione ventricolare¹ rispettivamente per il 5%, il 50% ed il 95% della popolazione; oltre la curva c3 si arriva all'arresto cardiaco, all'arresto respiratorio e si possono riportare gravi ustioni.

Come si vede nel grafico uno dei fattori da cui dipende la gravità dell'infortunio è l'intensità della corrente che attraversa il corpo umano; tale valore dipende dalla tensione e dalla resistenza del corpo umano che, convenzionalmente, viene ritenuta pari a 2 kΩ. La pelle è isolante soltanto per valori di tensione molto bassi e, nel caso essa sia bagnata, la sua resistenza diminuisce ulteriormente perchè in questo caso la corrente circola in modo analogo a quando si collegano molte resistenze in parallelo.

I fenomeni di contrazione involontaria dei muscoli possono interessare sia i muscoli estensori che i muscoli adduttori; il secondo caso è quello ritenuto più pericoloso in quanto tende a far rimanere il malcapitato in contatto con la parte in tensione.

Il contatto che causa la folgorazione viene definito *diretto* quando avviene con parti normalmente in tensione, *indiretto* quando avviene con parti che non dovrebbero essere in tensione ma, a causa di un malfunzionamento, sono in tensione (come, ad esempio la carcassa metallica di un elettrodomestico).



Come si può facilmente capire il contatto indiretto è più insidioso perchè avviene toccando parti che normalmente non dovrebbero essere sotto tensione; per la protezione dai contatti indiretti sono state emanate norme specifiche (cfr. CEI 64-8 art.23-6).

Il rischio legato alla folgorazione dipende anche da come la corrente elettrica attraversa il corpo umano; la pericolosità viene indicata da un parametro chiamato *fattore di percorso* in cui i diversi percorsi vengono confrontati con il percorso mano – piede al quale viene assegnato un fattore di

¹ La fibrillazione ventricolare si ha quando la frequenza della tensione si sovrappone al normale battito cardiaco provocando un battito molto accelerato che non permette la normale circolazione del sangue

percorso uguale ad 1

Percorso della corrente	Fattore di percorso
Mano-piede	1,0
Mano sinistra- mano destra	0,4
Schiena – mano destra	0,3
Schiena – mano sinistra	0,7
Torace – mano destra	1,3
Torace – mano sinistra	1,5
Glutei – mano (sinistra o destra)	0,7

Protezione dalle folgorazioni: per evitare gli incidenti legati al rischio elettrico occorre fare un'attenta valutazione dei rischi sia negli ambienti civili che in quelli industriali.

Per evitare incidenti vengono adottate le seguenti contromisure contro *i contatti indiretti*

- messa a terra degli involucri metallici
- utilizzo dell'interruttore differenziale (salvavita)
- separazione elettrica
- uso di alimentazioni di sicurezza
- misure per impedire tensioni pericolose
- attrezzi con isolamento di classe II (doppio isolamento)

e le seguenti contro *i contatti diretti*

- isolamento delle parti sotto tensione
- inserimento di ostacoli (le parti sotto tensione non devono essere raggiungibili)
- utilizzo dei DPI

Per effettuare la valutazione dei rischi occorre conoscere prima di tutto come è classificato l'impianto secondo le norme vigenti (CEI 64/8); per far questo si ricorre alla seguente tabella

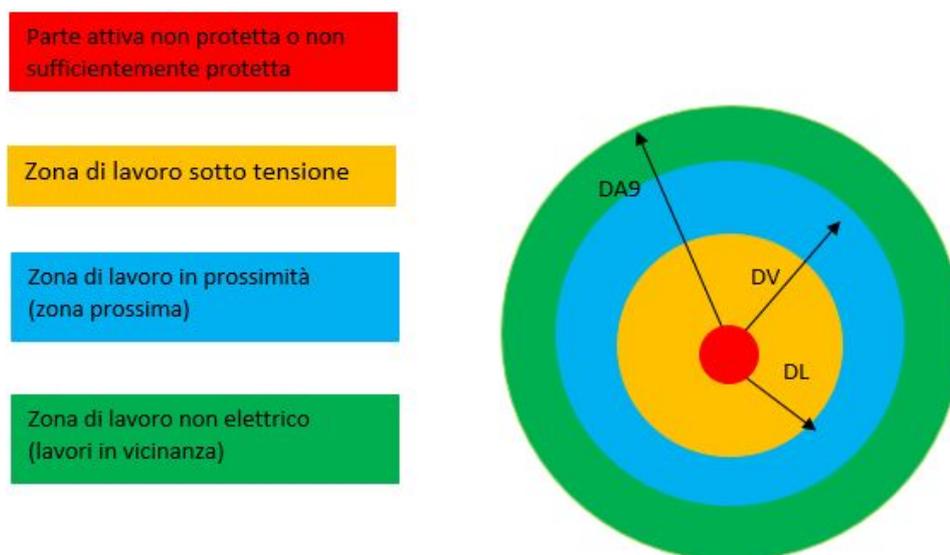
Categoria	Tensione di esercizio	Definizione
0	$V_n \leq 50 \text{ V CA}$ $V_n \leq 120 \text{ V CC}$	Bassissima tensione
1	$50 \text{ V} < V_n \leq 1000 \text{ V CA}$ $120 \text{ V} < V_n \leq 1500 \text{ V CC}$	Bassa tensione
2	$1 \text{ kV} < V_n \leq 30 \text{ kV CA}$ $1,5 \text{ kV} < V_n \leq 30 \text{ kV CC}$	Media tensione
3	$V_n > 30 \text{ kV}$ (sia CA che CC)	Alta tensione

Negli impianti che rientrano nelle categorie 2 e 3 non è possibile effettuare interventi quando l'impianto è sotto tensione in quanto non esistono DPI e precauzioni sufficienti ad operare in sicurezza; in questo caso prima di intervenire occorre interrompere l'alimentazione e mettere a terra le apparecchiature. Negli impianti della categoria 1 è possibile intervenire anche quando l'impianto è sotto tensione utilizzando le precauzioni e i DPI necessari. Negli impianti che rientrano in categoria 0 si può intervenire quando l'impianto è sotto tensione utilizzando comunque opportune modalità operative.

È fondamentale ricordare che in tutti i casi il personale prima di intervenire deve avere ricevuto un'adeguata formazione.

Distanze di sicurezza: quando si lavora su o nelle vicinanze di parti in tensione occorre rispettare le opportune distanze di sicurezza; la norma CEI 11-27 individua tre distanze da una parte in tensione classificandole come:

- Distanza limite (D_L): indica la parte di spazio prossima ad un conduttore in tensione nella quale si può entrare in contatto con la corrente elettrica indipendentemente se tale contatto avviene direttamente con una parte del corpo o con un oggetto come, ad esempio, un utensile.
- Distanza di prossimità (D_V): indica la parte di spazio attorno alla distanza limite; durante gli interventi tale parte deve essere delimitata per impedire l'accesso agli operatori che non devono intervenire direttamente.
- Distanza limite esterno lavori non elettrici (D_{A9}): è la distanza che deve rispettare il personale che non ha formazione specifica per lavori elettrici; tale maggiore distanza è giustificata dal fatto che tale personale può non riconoscere i rischi specifici del settore.



I valori di tali distanze variano con la tensione, in particolare la distanza limite; questo si spiega anche con la possibilità dell'innesco di un arco elettrico quando si ha a che fare con alti valori di tensione.

Le distanze di sicurezza secondo la norma 11-27 sono riassunte nella seguente tabella:

Tabella: distanze di sicurezza			
Tensione nominale (kV)	Distanza limite D_L (mm)	Distanza di prossimità D_V (mm)	Distanza limite lavori non elettrici D_{A9} (mm)
≤ 1	Nessun contatto	300	3000
3	60	1120	3500
6	90	1120	3500
10	120	1150	3500
15	160	1160	3500
continua...			

Quando si lavora su parti sotto tensione è necessario indossare gli opportuni DPI per cautelarsi principalmente da contatti involontari con le parti sotto tensione; per lo stesso motivo all'interno degli armadi elettrici non devono essere presenti parti in tensione che è possibile urtare per errore.

Messa a terra di involucri metallici: la messa a terra rappresenta il principale sistema di protezione dai contatti indiretti. Grazie alla messa a terra si riesce a mantenere, anche in caso di guasto, l'involucro metallico di un apparecchio al potenziale di terra eliminando il rischio di contatti indiretti eventualmente facendo intervenire gli interruttori automatici in caso di correnti di fuga elevate.

Per funzionare correttamente tale sistema necessita che la presa utilizzata sia dotata di un apposito contatto di terra (terzo polo nel caso di prese monofase) e che tali contatti siano connessi tra loro e ad un'apposita barra di terra collegata a dei picchetti infissi nel terreno in funzione di dispersori. Alla barra di terra devono essere elettricamente collegate anche le tubazioni metalliche e le altre parti metalliche presenti nell'edificio. L'efficacia dei dispersori deve essere controllata periodicamente da personale autorizzato dotato di apposita strumentazione.

L'obbligatorietà della messa a terra è regolata dalla norma CEI 64-8/4.

Isolamento: tutte le parti sotto tensione devono essere dotate di apposita copertura atta a prevenire contatti di tipo accidentale. Il livello di protezione degli involucri esterni è indicato da un codice IP (International Protection) formato da due cifre la prima delle quali indica la protezione contro la penetrazione di oggetti all'interno dell'involucro mentre la seconda indica il grado di protezione contro la penetrazione di acqua dolce.

Tabella: codice IP			
Protezione contro oggetti solidi		Protezione contro liquidi	
1°cifra	Descrizione	2°cifra	Descrizione
0	Nessuna	0	Nessuna protezione
1	Oggetti con $D > 50\text{mm}$	1	Gocce provenienti dall'alto
2	Oggetti con $D > 12\text{mm}$	2	Gocce provenienti dall'alto deviate di 15°

3	Oggetti con D>2,5mm	3	Protezione di spruzzi con inclinazione di 60°
4	Oggetti con D>1,0mm	4	Protezione da spruzzi da ogni direzione
5	Protezione parziale da polveri	5	Protezione da getti d'acqua a bassa pressione
6	Protezione totale da polveri	6	Protezione da forti getti d'acqua
-		7	Protezione contro l'immersione (*) per un tempo limitato
-		8	Protezione contro l'immersione (*) per un tempo prolungato
(*) l'immersione deve avvenire a precise condizioni di pressione			

La resistenza alla penetrazione di una mano od un dito all'interno dell'involucro viene invece indicata da una lettera aggiuntiva posta dopo il codice numerico (es. IPXXB); il significato di tale lettera è indicato nella tabella seguente

Lettera	Protezione
A	Protetto contro l'accesso con la mano (50mm)
B	Protetto contro l'accesso con il dito (12x80mm)
C	Protetto contro l'accesso con utensile (2,5x100mm)
D	Protetto contro l'accesso con il filo (1mm)

Gli elettrodomestici con marchio IMQ sono dotati di tale codice.

Barriere e protezioni: quando vengono eseguiti lavori in prossimità occorre utilizzare delle *protezioni* (es. teli isolanti) che evitino i contatti diretti con le parti in tensione e/o la caduta di oggetti realizzati con materiale conduttivo su di esse. La protezione contro i contatti diretti può anche essere realizzata con *barriere* che hanno lo scopo di confinare la zona pericolosa; tali barriere possono essere di tipo temporaneo, se installate in occasione di un intervento sulle parti in tensione, o di tipo permanente.

A tipo di esempio rientrano tra le protezioni anche i cappucci posti sui morsetti di una batteria automobilistica; anche se tale applicazione rientra nella categoria 0 (norma CEI 64/8), e quindi non si hanno rischi di folgorazione, il corto circuito causato dalla caduta di un utensile può provocare il surriscaldamento e l'esplosione della batteria.