

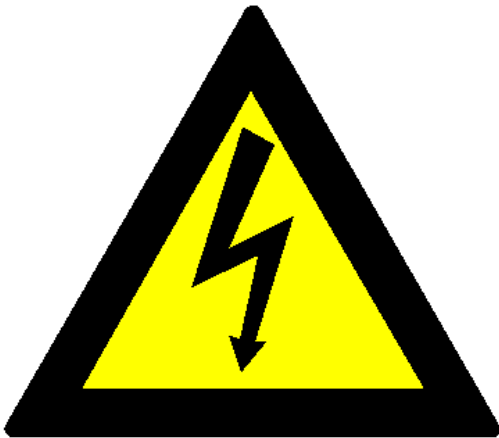
Meccanismo Complesso

[-www.meccanismocomplesso.org](http://www.meccanismocomplesso.org)

I pericoli della corrente elettrica

2014-04-24 16:04:52 BrunoOrsini

Post Views: 24.081



Premessa

Con questo articolo è mia intenzione porre in evidenza, ancora una volta, la grande pericolosità della corrente elettrica, oggi troppo spesso sottovalutata sia per mancanza di una corretta e costante formazione sia per eccessiva sicurezza e pressapochismo.

L'articolo che segue, dedicato soprattutto ai giovani professionisti freschi di abilitazione, è il risultato di continui aggiornamenti professionali e, in particolare, di situazioni vissute in prima persona a seguito della frequentazione per tantissimi anni di fabbriche elettroniche e cantieri elettrici; non è certo il frutto di un breve corso di formazione.

In tanti anni di attività elettrica ed elettronica ho avuto modo di assistere a tantissimi incidenti e relativi interventi di pronto soccorso; dagli attrezzi di lavoro tipo forbici, giraviti, pinze, guide DIN, andati inavvertitamente a contatto con parti in tensione soprattutto all'interno di quadri elettrici, a tetanizzazioni e ustioni per elettrocuzione e arco elettrico.

Incidenti più o meno seri, la maggior parte dei quali avvenuti per caso fortuito come quello occorso al sottoscritto, agli inizi dell'attività professionale, relativo ad una scarica di circa 1800 V in corrente continua (la tensione anodica di un amplificatore ad alta potenza, in cavità a radio frequenza) non per contatto diretto ma per prossimità all'interno di un ambiente eccessivamente umido, con conseguente contrazione dei muscoli del braccio rimasto bloccato e insensibile per circa 10 minuti. Fortunatamente la contrazione è avvenuta in modo da allontanare la mano dalla parte in tensione e il risultato è stato un piccolissimo forellino sul dito indice della mano e un surriscaldamento del braccio, tutto questo però è stato sufficiente per attivare da quel momento una costante attenzione anche e soprattutto in quei casi di apparente sicurezza, dove erroneamente non si ritiene necessaria alcuna forma di precauzione.

Cause ed effetti

Nel nostro paese circa il 5% degli infortuni causati dall'elettricità hanno esito mortale, la maggior parte degli

infortuni domestici avviene in cucina e/o nel bagno dove è più frequente il contatto con l'acqua da parte di un individuo, i cantieri edili hanno una elevata percentuale di infortuni causati dall'elettricità, circa il 20% degli incendi sono conseguenza di guasti elettrici, inoltre, molti altri infortuni hanno origine elettrica ma non figurano nelle statistiche elettriche perché classificati in base all'agente che li ha provocati come: cadute dall'alto a seguito di contatto elettrico; morte a causa di malfunzionamento di apparecchiature elettriche industriali; esplosioni in luoghi con presenza di materiali esplosivi la cui sorgente di innesco è di origine elettrica, ecc.

Nel caso di operazioni in presenza di corrente elettrica occorre tenere presente che l'incidente è costantemente in agguato e sostanzialmente può sopraggiungere:

- **per causa di forza maggiore** quando la causa dell'incidente è di natura sconosciuta alla tecnica e non è prevedibile;
- **per caso fortuito**, è praticamente il rischio calcolato accettato dalla regola dell'arte e richiamato dalle norme CEI "nessuna norma, per quanto accuratamente studiata, può garantire in modo assoluto l'immunità delle persone e delle cose dai pericoli dell'energia elettrica".

I pericoli dell'elettricità per le persone, si possono classificare in tre tipi:

- **effetto dell'arco elettrico** (acceccamento, calore);
- **effetti indiretti** (cadute, incendi);
- **elettrocuzione** (passaggio della corrente attraverso il corpo).

Arco elettrico

L'**arco elettrico** si manifesta come una sorgente di calore molto intensa e concentrata, con conseguente emissione di vapori tossici, gas e proiezione di particelle incandescenti, si manifesta soprattutto in caso di manovre su apparecchiature di sezionamento e comando o durante corto circuiti, particolarmente pericolosi sono gli archi provenienti da apparecchiature di sezionamento e comando in alta tensione.

Quando l'arco elettrico si manifesta su apparecchiature di sezionamento e comando, viene opportunamente incanalato entro percorsi dimensionati adeguatamente in modo da raffreddarlo ed estinguerlo, questo tipo di arco è definito "**arco controllato**" come quello che viene impiegato nella saldatura dei metalli tramite elettrodo; questo tipo di arco può provocare solo bruciature dovute ad imperizia. Molto più pericoloso e distruttivo è il caso dell'arco elettrico a seguito di cortocircuito, generalmente sottovalutato in quanto ritenuto risolto tramite l'applicazione della corretta tecnica costruttiva ed il sovradimensionamento dei cavi e degli interruttori di protezione; è bene precisare che nella maggior parte dei casi, il cortocircuito è causato da eventi esterni all'impianto fuori da ogni previsione, ad esempio errore umano durante la manutenzione, un cavo tranciato da una macchina operatrice, errori di cablaggio, ecc.

Per questi motivi la gravità di un cortocircuito risulta essere maggiore quando l'energia dovuta ad un guasto provoca un arco che non si sviluppa nei componenti atti ad interromperlo e di conseguenza estinguerlo, ma piuttosto si sviluppa nel punto dove è avvenuto l'evento accidentale, anche a diverse decine di metri dalle protezioni. In questo tipo di arco elettrico si sommano tre fattori particolarmente pericolosi:

- **il calore** che provoca gravi ustioni o, nel caso di quadri elettrici, la fusione di parti metalliche quali bullonerie di fissaggio e carpenterie;
- **le forti correnti** che possono distruggere supporti e deformare sbarre di distribuzione o causare la morte di un individuo;
- **l'onda d'urto** che può scagliare una persona a diversi metri di distanza o deformare pannelli e supporti nel caso di quadri elettrici.

A seguito di quanto esposto, è evidente che un cortocircuito che sviluppa un arco elettrico in aria, risulta essere un evento pericolosissimo in quanto l'energia che sprigiona in frazioni di secondo, non darebbe scampo alle persone presenti nelle vicinanze.

Effetti indiretti

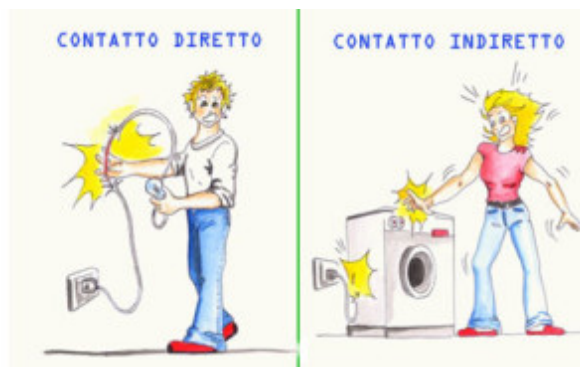
Gli effetti indiretti sono quelli che non dipendono esclusivamente dal passaggio di corrente attraverso il corpo umano ma dalla reazione da questa causata, come ad esempio caduta da un ponteggio a seguito di contatto elettrico accidentale innocuo, oppure esplosioni o incendi dovuti a scintille elettriche in ambienti in cui sono presenti gas infiammabili e materiali di facile combustione, o incidenti dovuti a improvvisa mancanza di energia elettrica.

Elettrocuzione

L'**elettrocuzione** o **shock elettrico** è il rischio più frequente ed è quello che risulta maggiormente pericoloso per il corpo umano; ovvero la scarica che attraversa il corpo quando una o più parti di esso entrano in contatto con componenti elettrici in tensione con conseguente passaggio di una corrente elettrica. Condizione necessaria perchè avvenga l'elettrocuzione è che la corrente abbia rispetto al corpo un **punto di entrata** e un **punto di uscita**, il punto di entrata è la zona di contatto con la parte in tensione mentre il punto di uscita è la zona del corpo che entra in contatto con altri conduttori, consentendo così la circolazione della corrente all'interno dell'organismo attraverso un determinato percorso. Ad esempio se accidentalmente con una mano si tocca una parte in tensione ma la persona è isolata da terra tramite scarpe di gomma e non vi è altro contatto con corpi estranei, non si verifica la condizione di passaggio della corrente e non si avrà elettrocuzione, come ad esempio gli uccelli che stazionano sui fili dell'alta tensione senza subire alcun danno. Viceversa se la medesima circostanza si verifica con la persona non isolata da terra, ad esempio a piedi nudi, si avrà elettrocuzione con circolazione della corrente nel percorso che va dalla mano come punto di entrata, ai piedi come punto di uscita. Si possono distinguere due modalità con cui si può verificare l'elettrocuzione:

contatto diretto quando una persona tocca direttamente una parte ordinarmente in tensione che momentaneamente si è resa accessibile, ad esempio fili elettrici con l'isolante danneggiato per abrasione, un portalampade, un morsetto, una sbarra di distribuzione, parti interne di un'apparecchiatura da cui sia stato rimosso il coperchio di protezione, ecc. Il contatto diretto può interessare due punti qualsiasi del corpo umano, anche se il più comune risulta quello che avviene tra mani e piedi con richiusura del circuito attraverso la terra. I soggetti più esposti sono generalmente i lavoratori che operano nei cantieri edili dove questo tipo di contatto avviene quasi sempre per cause accidentali dovute ad eccessiva imprudenza e coinvolge quasi sempre persone estranee a lavori di tipo elettrico; un elettricista esperto può infatti accorgersi tempestivamente del pericolo e quasi sempre riesce a limitare il danno;

contatto indiretto quando si entra in contatto con parti metalliche normalmente non in tensione che, a causa di un guasto nell'isolamento di alcuni componenti, risultano inaspettatamente in tensione. Questo tipo di contatto è molto più pericoloso rispetto a quello diretto in quanto coinvolge indistintamente tutti gli utilizzatori di apparecchiature elettriche ed è praticamente impossibile da prevedere, soprattutto quando riguarda parti metalliche degli elettrodomestici.



Danni provocati

Normalmente, in presenza di un incidente di natura elettrica, si è abituati a fare riferimento alla tensione come causa dei danni, in realtà anche se il processo parte dalla tensione quella che produce direttamente i danni è la corrente elettrica che attraversa il corpo umano e i danni conseguenti sono direttamente proporzionali al suo valore e alla durata nel tempo del contatto.

I principali effetti fisiopatologici che tale passaggio di corrente può provocare sono:

– **tetanizzazione** consiste nel blocco involontario dei muscoli attraversati dalla corrente elettrica, i quali non obbediscono più agli impulsi elettrici fisiologici provenienti dal cervello e provocano fenomeni indesiderati di contrazione incontrollabile che non permettono alla persona di staccarsi dalla parte in tensione, l'infortunato pur nella consapevolezza del rischio corso non riesce a far nulla per distaccarsi dalla parte in tensione. Nel caso in cui si è investiti da correnti elevate, vengono interessati al fenomeno della tetanizzazione tutti i muscoli, non solo quelli vicini al contatto, fra questi anche quelli delle fasce lombari e delle cosce, questo comporta violenti movimenti involontari che possono causare salti dell'infortunato con caduta anche a diversi metri dal punto di contatto. La tetanizzazione generalmente si manifesta come formicolio o scossa dolorosa con paralisi temporanea dei muscoli investiti dalla scarica elettrica;

– **difficoltà e/o arresto della respirazione** durante l'elettrocuzione per gli stessi motivi che determinano la tetanizzazione, a seconda del percorso della corrente, si possono contrarre i muscoli che consentono l'espansione della cassa toracica impedendo la respirazione. In questi casi si presentano fenomeni di asfissia con comparsa di cianosi, per cui se non si pratica la respirazione assistita, il soggetto colpito è destinato alla morte per asfissia; il fenomeno è reversibile solo se si provvede al soccorso dell'infortunato, anche con la respirazione artificiale, entro 4 o 5 minuti;

– **fibrillazione ventricolare** è l'effetto più pericoloso dell'elettrocuzione ed è dovuto alla sovrapposizione della corrente di contatto con quella fisiologica interna, che genera delle contrazioni cardiache scoordinate facendo perdere al cuore il giusto ritmo. I muscoli del cuore chiamati **fibrille**, si contraggono e si espandono ritmicamente a circa 60/100 volte al minuto e sono coordinati da un generatore di impulsi elettrici, **il nodo seno-atriale**. La fibrillazione ventricolare è reversibile entro massimo cinque minuti soltanto se il cuore è sottoposto ad una scarica elettrica molto violenta, per raggiungere questo scopo viene impiegato **il defibrillatore**, un'apparecchiatura medica che applica un impulso elettrico al torace dell'infortunato tramite due elettrodi. Il fenomeno della fibrillazione ventricolare è la causa principale della maggior parte dei decessi per folgorazione, ed è per questo motivo che ogni luogo di lavoro, grande o piccolo, dovrebbe essere munito di un apposito defibrillatore con relativo personale opportunamente addestrato:



– **ustioni** sono dovute al forte calore sviluppato dal passaggio della corrente nel corpo umano a causa dell'effetto Joule, la pelle e il tessuto più sensibile a questo fenomeno in quanto presenta generalmente una elevata resistenza elettrica ($P = I^2R$). Se l'intensità della corrente risulta molto alta si possono verificare ustioni profonde in tutto il corpo e possono essere danneggiati interi arti (spalle, braccia, gambe, ecc.). Le ustioni possono essere causate anche da archi provocati da scariche elettriche prodotte da apparecchiature sotto tensione, particolarmente pericolosi sono gli archi provenienti da apparecchiature elettriche alimentate in alta tensione. Generalmente le ustioni si manifestano nel punto di ingresso ed in quello di uscita della corrente dal corpo, proprio perchè la pelle e la parte che presenta maggiore resistenza e le conseguenze sono direttamente proporzionali all'intensità della corrente e alla durata del fenomeno.



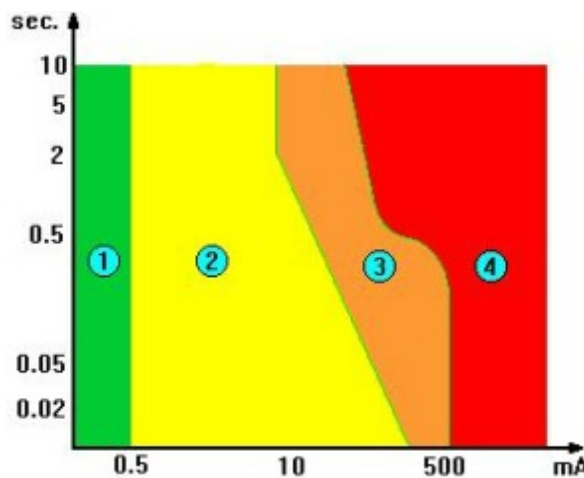
Curve di sicurezza

Gli effetti fisiologici dell'elettricità sul corpo umano non dipendono dall'intensità della tensione di contatto, ma dalla conseguente intensità di corrente che, in un dato istante attraversa il corpo, il valore di questa intensità risulta dal rapporto fra la tensione di contatto e la resistenza del corpo umano verso terra ($I = V/R$). La resistenza complessiva del corpo umano assume valori molto variabili e molteplici sono i fattori che concorrono a definirla, tra essi vi è l'età; il sesso; le condizioni ambientali e fisiche del momento; la resistenza

interna che varia da individuo a individuo; le condizioni della pelle ad esempio sudore, abrasioni, umidità determinano una riduzione della resistenza della pelle mentre avviene il contrario se nella zona di contatto la pelle è indurita a causa di callosità; il vestiario indossato; la massa corporea; la superficie del contatto elettrico; la pressione di contatto, infatti ad una maggiore pressione di contatto elettrico corrisponde una minore resistenza, è questo il caso delle apparecchiature di lavoro che vengono saldamente sorrette e/ o guidate dall'operatore, a seguito di tetanizzazione i muscoli si contraggono e non permettono di lasciare la presa, per questi motivi le norme CEI richiedono che tali apparecchi di lavoro siano di classe II con doppio isolamento. Ad esempio, a parità di tensione di contatto:

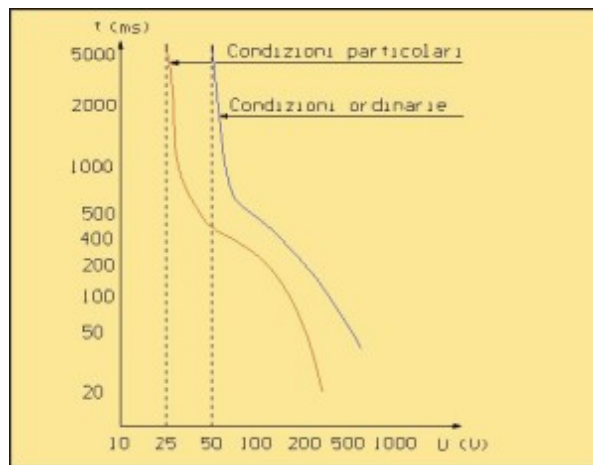
- una persona a piedi scalzi su suolo bagnato presenta una resistenza molto bassa per cui il valore della corrente risulta molto alto con conseguente situazione di grave pericolo;
- una persona con scarpe isolanti su pavimento parzialmente isolante presenta una resistenza molto alta per cui il valore della corrente risulta basso con conseguente situazione di scarso pericolo.

Considerando che ogni individuo reagisce in modo diverso al passaggio della corrente e che il percorso seguito all'interno del corpo ha una grande influenza, gli effetti fisiologici dell'elettricità in funzione dell'intensità di corrente, per tempi di contatto prolungato e per tensione alternata alla frequenza di 50 Hz, sono rappresentati dalla seguente curva di sicurezza corrente-tempo:



- **zona 1 fino a 0,5 mA** non viene percepita e non provoca alcun effetto qualunque sia la durata del contatto. Il valore di 0,5 mA viene considerato come “**soglia di percezione**”;
- **zona 2 da 0,5 a 30 mA** non provoca effetti dannosi anche se viene percepita, il valore di 10 mA viene considerato come “**soglia di pericolosità**” e viene definita “**corrente di rilascio**” ovvero la massima corrente per la quale si riesce a staccarsi dalla presa a seguito della contrazione dei muscoli;
- **zona 2 da 30 a 200 mA** gli effetti dannosi sono strettamente legati alla durata del contatto, ad esempio con corrente di 50 mA e ammissibile un contatto di durata non superiore a 0,1 s, il tempo di sopportabilità della corrente diminuisce con l'aumentare della corrente;
- **zona 3 da 200 a 500 mA** il contatto provoca sempre effetti dannosi qualunque sia la durata, si possono avere tetanizzazione, difficoltà di respirazione, aumento della pressione sanguigna, leggere ustioni, leggeri disturbi cardiaci soprattutto se la corrente attraversa il cuore;
- **zona 4 oltre 500 mA** il contatto provoca sempre gravi ustioni e fibrillazione ventricolare.

In pratica si fa riferimento, ai limiti di tensione pericolosa, più che ai limiti di corrente pericolosa; questi valori sono legati dalla legge di Ohm per mezzo della resistenza R_B del corpo umano e della resistenza R_{EB} della persona verso terra. Nel ricavare la curva di sicurezza tensione-tempo si fa riferimento al percorso mani-piedi di una persona che afferra con entrambe le mani un apparecchio elettrico e con i piedi poggiati al suolo, in serie alla resistenza del corpo umano si assume una resistenza R_{EB} di 1000 Ω nel caso la persona si trova in condizioni ordinarie ad esempio all'interno di edifici, e di 200 Ω nel caso la persona si trova in condizioni particolari ad esempio all'aperto.



Le curve così ottenute, evidenziano una tensione massima sopportabile dal corpo umano senza limite di tempo, di **50 V** in condizioni ambientali normali e una tensione di **25 V** in condizioni particolari. Questo valore di tensione, 50 V e 25 V, prende il nome di **tensione di contatto limite convenzionale U_L** . Nel caso di corrente continua, i valori di U_L sono **120 V** per le condizioni ordinarie e **60 V** per le condizioni particolari; sono questi i limiti di tensione sopportabile senza che sia necessaria una qualsiasi forma di protezione, prescritti dalla norma CEI 64-8.

Per quanto riguarda la corrente continua, il suo effetto sul corpo umano è notevolmente differente in quanto, al contrario della corrente alternata, non risente dell'effetto pelle; ciò comporta una maggiore penetrazione nei tessuti interni fino ad interessare quelli vitali. Complessivamente però, il corpo umano riporta meno danni a parità di intensità, al passaggio della corrente continua piuttosto che a quello della corrente alternata perchè la frequenza di 50 Hz provoca la contrazione nervosa dei muscoli (tetanizzazione), mentre la corrente continua ha prevalentemente un effetto di riscaldamento dei tessuti investiti dalla scarica elettrica.

Ai fini della pericolosità dell'elettrocuzione, i punti di ingresso e di uscita della corrente elettrica influiscono sulla possibilità di attraversamento del cuore e quindi sulla conseguente probabilità di fibrillazione ventricolare, per questo motivo le norme CEI definiscono un "**fattore di percorso F**" che indica, a parità di intensità di corrente, la probabilità che si inneschi la fibrillazione in funzione dei diversi percorsi seguiti dalla corrente, considerando come riferimento il percorso mano sinistra-piedi preso uguale a 1.

- mano sinistra – torace $F = 1,5$
- mano destra – torace $F = 1,3$
- mano sinistra – piede/i $F = 1$
- mano destra – piede/i $F = 0,8$
- schiena – mano sinistra $F = 0,7$
- glutei – mano/i $F = 0,7$
- mano sinistra – mano destra $F = 0,4$
- schiena – mano destra $F = 0,3$

Il fattore di percorso consente di ricavare il valore delle correnti I_h che hanno la stessa probabilità di innescare la fibrillazione di una corrente I_{ref} presa come riferimento, relativa al percorso mano sinistra-piedi con la relazione $I_h = I_{ref}/F$ (ad esempio una corrente di 30 mA riferita al percorso mano sinistra-piedi ha lo stesso effetto di una corrente di 75 mA con percorso mano sinistra-mano destra, infatti $I_h = 0,03/0,4 \cdot 103 = 75$ mA).

Un altro elemento che contribuisce alla pericolosità della corrente elettrica alternata è la **frequenza di lavoro**, la più usata è 50 Hz ma ci sono settori che usano valori diversi (ad esempio l'elettroterapia, in aeronautica, la saldatura, motori a velocità variabile, ecc.), nel momento del contatto il corpo umano si comporta come un conduttore che collegando due punti viene attraversato da una corrente elettrica e per il noto fenomeno chiamato **effetto pelle (skin effect)** la corrente elettrica alternata tende a concentrarsi sulla superficie del conduttore e la sua pericolosità diminuisce all'aumentare della frequenza proprio perchè la corrente tende a passare solo attraverso la pelle senza interessare organi vitali. A parità di tensione con l'aumento della frequenza si verifica anche un altro fenomeno importante completamente opposto all'effetto pelle, la riduzione dell'impedenza del corpo umano con conseguente aumento della corrente. Comunque globalmente il pericolo della corrente elettrica diminuisce con l'aumento della frequenza, tanto che alla tensione di 220V oltre i 500 Hz di frequenza il pericolo di fibrillazione ventricolare è praticamente nullo.

Precauzioni e raccomandazioni

In caso di folgorazione, un eventuale soccorritore deve fare molta attenzione a non toccare direttamente la persona infortunata ma deve provvedere ad interrompere immediatamente la tensione agendo sull'interruttore generale. Qualora non sia possibile interrompere la tensione, per allontanare l'infortunato dalla fonte di elettricità si può utilizzare del legno o panni, facendo molta attenzione che siano asciutti, e cercare di muoverlo afferrandolo per i vestiti. Dopo aver interrotto il contatto con la fonte elettrica, bisogna immediatamente controllare le condizioni della persona che può presentare: ustioni; perdita di conoscenza; arresto respiratorio e/o cardiaco; e quindi opportuno tenere sotto controllo la respirazione e il polso ed eventualmente procedere alla rianimazione artificiale. In caso di infortunio da elettrocuzione è bene tenere presente che se l'infortunato non viene soccorso entro 4 o 5 minuti, può subire conseguenze irreparabili; **in questo caso la tempestività è essenziale.**

In presenza di ustioni è bene comportarsi nel seguente modo:

- a- se l'infortunato non presenta attività cardiaca e non respira, non rimuoverlo e iniziare immediatamente la respirazione artificiale ed eventualmente il massaggio cardiaco;
- b- non togliere i vestiti e soprattutto non rompere le vesciche;
- c- non applicare pomate o lozioni;
- d- ricoprire le parti ustionate con garza sterile asciutta, in modo da impedire il contatto con l'aria;
- e- tenere l'infortunato sdraiato con i piedi sollevati rispetto alla testa;
- f- nel caso in cui l'infortunato non ha perso conoscenza ed è in grado di inghiottire, non far bere alcun tipo di alcolico ma solamente acqua con disciolto il bicarbonato di sodio e il sale contenuti nelle apposite bustine per ustionati presenti nelle dotazioni obbligatorie nei luoghi di lavoro; in caso di ambienti domestici sciogliere in un litro di acqua un cucchiaino di bicarbonato di sodio e un cucchiaino di sale da cucina;
- g- provvedere al trasporto immediato presso il più vicino pronto soccorso.

In tutti gli ambienti, ma soprattutto nei luoghi di lavoro, per quanto riguarda l'utilizzazione degli impianti elettrici è buona norma rispettare le seguenti raccomandazioni:

- a- assicurarsi dell'applicazione delle norme antinfortunistiche;
- b- essere a conoscenza della posizione del quadro elettrico generale e/o di zona;
- c- verificare spesso il corretto funzionamento degli interruttori differenziali;
- d- non utilizzare apparecchi elettrici nelle vicinanze di liquidi o in caso di elevata umidità;
- e- non utilizzare componenti non conformi alle norme;
- f- non utilizzare spine multiple tipo triple o prese multiple tipo ciabatte magari provenienti da altre prese multiple;
- g- non utilizzare mai acqua per spegnere un incendio di natura elettrica;
- h- non utilizzare apparecchiature senza elementi che le identificano con precisione;
- i- non lasciare cavi, prolungher, attrezzi elettrici abbandonati sulle vie di transito.

Conclusione

In caso di utilizzazione di energia elettrica, occorre tenere ben presente le seguenti caratteristiche che la rendono estremamente pericolosa, **l'energia elettrica è: INVISIBILE, INODORE, INCOLORE, MA SOPRATTUTTO SILENZIOSA E VELOCE.**