

PERICOLOSITÀ DELLA CORRENTE ELETTRICA

INDICE

Effetti fisiopatologici della corrente elettrica. Limiti di pericolosità della corrente. Resistenza elettrica del corpo umano. Limiti di pericolosità della tensione.

EFFETTI FISIOPATOLOGICI DELLA CORRENTE ELETTRICA

Gli effetti che la corrente elettrica provoca sul corpo umano variano da una persona all'altra e dipendono da molti fattori:

intensità di corrente, durata del contatto, natura della corrente (quella continua è meno pericolosa di quella alternata), frequenza (elevate frequenze sono meno pericolose), la massa corporea della persona, lo stato di salute, il sesso (le donne sono più sensibili agli effetti della corrente).

I principali effetti che la corrente provoca sul corpo umano sono i seguenti.

Tetanizzazione dei muscoli. Consiste nel blocco involontario dei muscoli attraversati dalla corrente, i quali non obbediscono più agli impulsi elettrici fisiologici provenienti dal cervello e non permettono alla persona di staccarsi dalla parte in tensione. Questo fenomeno prolunga il tempo di contatto producendo effetti ancora più dannosi. Si chiama **corrente di rilascio** il massimo valore di corrente per il quale una persona è ancora in grado di lasciare la presa. Il valore effettivo varia leggermente da una persona all'altra ma, convenzionalmente, si assume il valore medio di 10 mA.

Difficoltà di respirazione. È dovuta al blocco involontario dei muscoli che riguardano la respirazione. Il fenomeno può provocare l'arresto della respirazione se non si interviene entro pochi minuti dall'infortunio praticando la respirazione bocca-bocca o la respirazione bocca-naso.

Fibrillazione ventricolare. È dovuta al blocco involontario dei muscoli del cuore, che altera il normale sincronismo del battito cardiaco. Questo fenomeno può portare alla morte per arresto cardiaco o per arresto della circolazione. In attesa dei soccorsi bisogna intervenire immediatamente con il massaggio cardiaco e la respirazione bocca-bocca o bocca-naso. All'arrivo dei soccorsi è possibile intervenire con il defibrillatore, uno strumento che trasmette scariche elettriche per regolarizzare il battito cardiaco.

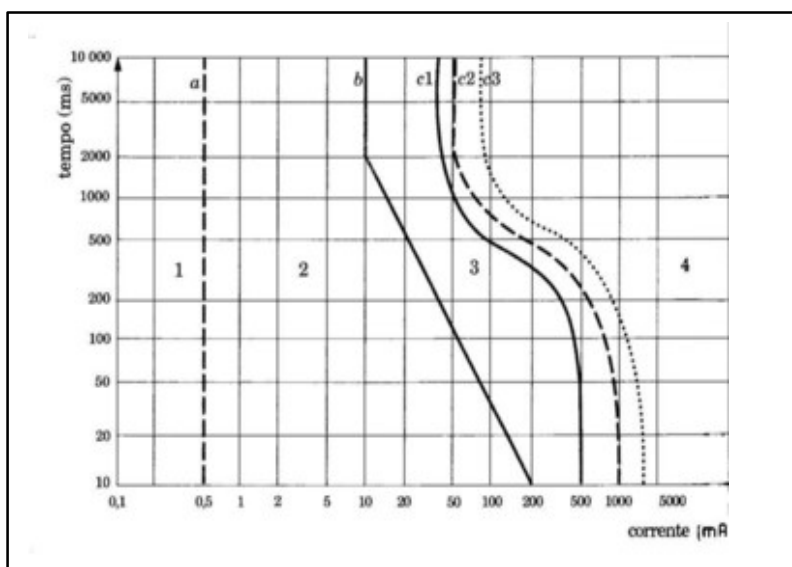
Ustioni. Sono prodotte dal calore sviluppato dal passaggio di corrente nel corpo umano. La pelle è il tessuto più esposto a questo fenomeno poiché ha una elevata resistenza elettrica ($P = I^2R$).

LIMITI DI PERICOLOSITÀ DELLA CORRENTE

Nel caso più frequente di corrente alternata con frequenza di 50Hz, si è potuto stabilire che per la maggior parte delle persone risulta che:

- 1) i valori di corrente che vanno da 0 mA a 0,5 mA non vengono neanche percepiti e non provocano alcun effetto qualunque sia la loro durata. Il valore di 0,5 mA è considerato la **soglia di percezione**.
- 2) Per valori che vanno da 0,5 mA a 10 mA la corrente viene percepita ma non provoca effetti dannosi qualunque sia la durata, e la persona è sempre in grado di staccarsi dal contatto. Il valore di 10 mA è considerato la **soglia di pericolosità**.
- 3) Per valori di corrente da 10 mA a 200 mA il contatto può essere dannoso oppure no secondo la durata. Il tempo di sopportabilità della corrente diminuisce all'aumentare dell'intensità di corrente.
- 4) Per valori di corrente maggiori di 200 mA il contatto provoca sempre effetti dannosi qualunque sia la durata.

Tutti questi risultati si possono riassumere con questo grafico, che rappresenta il tempo di sopportabilità in funzione della corrente che passa nel corpo umano.



La zona 1 e la zona 2 non sono pericolose.

Nella zona pericolosa 3 si verificano fenomeni patologici meno gravi: tetanizzazione dei muscoli, difficoltà di respirazione, leggere ustioni, leggeri disturbi cardiaci.

Nella zona pericolosa 4 si innesca la fibrillazione ventricolare, con una probabilità tanto maggiore quanto più ci si allontana dalla curva c_1 . La curva c_2 si riferisce al 5% delle persone e la curva c_3 al 50% delle persone. In seguito alla fibrillazione si verificano effetti patologici gravi: arresto della respirazione, gravi ustioni, arresto cardiaco, arresto della circolazione.

RESISTENZA ELETTRICA DEL CORPO UMANO

Poiché nel caso di corrente alternata a 50 Hz la soglia di pericolosità è di 10 mA, se indichiamo con Z_C l'impedenza del corpo umano e con V_C la tensione di contatto, per evitare rischi si deve avere:

$$\frac{V_C}{Z_C} < 10 \text{ mA}$$

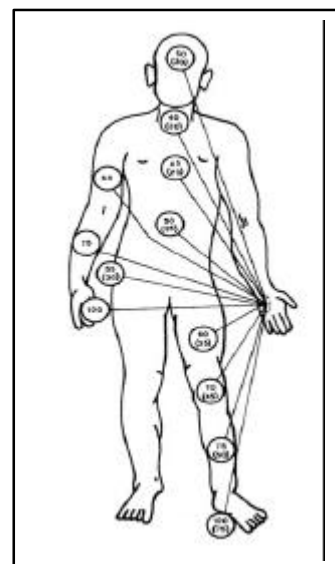
L'impedenza del corpo umano è composta da tre termini:

- 1- L'impedenza del punto di entrata dovuta al contatto con la pelle, che alla frequenza industriale di 50 Hz ha carattere prevalentemente ohmico e si può indicare con R_e (per frequenze > 1000 Hz avrebbe carattere ohmico-capacitivo).
- 2- L'impedenza interna, di carattere ohmico e indicata con R_i , dovuta al percorso della corrente all'interno del corpo umano.
- 3- L'impedenza del punto di uscita, analoga al primo termine e indicata con R_u .

Risulta allora che: $Z_C = R_C = R_e + R_i + R_u$.

Il valore di R_C non si può stabilire con precisione poiché R_e , R_i ed R_u dipendono da vari fattori:

1- **Percorso della corrente** all'interno del corpo umano; questo percorso influenza R_i . I percorsi che offrono la maggiore resistenza sono quello mano-mano e quello mano-piede, a cui corrisponde una resistenza R_i di circa 700 Ω . Assunto questo percorso come riferimento è possibile assegnare agli altri percorsi un valore espresso in percentuale rispetto a quello di riferimento (vedi figura).



2- **Stato della pelle**; questo influenza R_e ed R_u che diminuiscono con la presenza di sudore, umidità, ferite, graffi e aumentano con la presenza di calli.

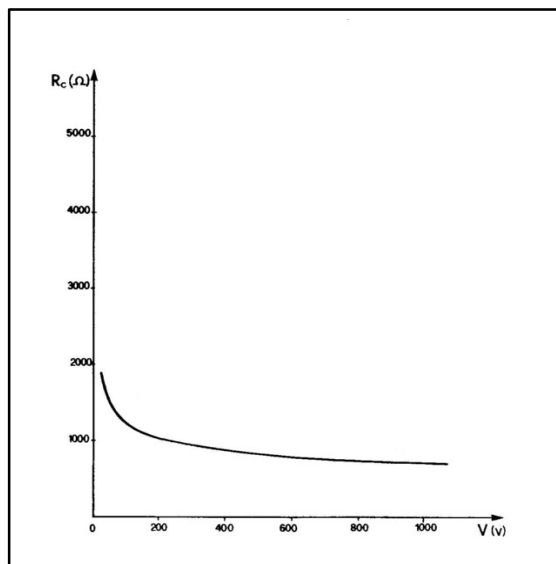
3- **Superficie di contatto**; se questa aumenta R_e ed R_u diminuiscono.

4- **Pressione di contatto**; se questa aumenta R_e ed R_u diminuiscono.

5- **Tensione di contatto**; se questa aumenta R_e ed R_u diminuiscono.

Il grafico accanto rappresenta la resistenza del corpo umano in funzione della tensione applicata. Il grafico si riferisce al contatto mano-mano o mano-piede in condizioni di pelle asciutta ed è relativo al 5% delle persone, nel senso che solo il 5% delle persone presenta valori di R_C minori di questi e risulta quindi più a rischio.

Si può osservare che per tensioni di circa 50 V risulta $R_C=1500 \Omega$ mentre per tensioni di circa 220 V risulta $R_C=1000 \Omega$. Tale valore è stato assunto come **resistenza convenzionale del corpo umano** dalla norma CEI 11-8.



LIMITI DI PERICOLOSITÀ DELLA TENSIONE

Se indichiamo con R_C la resistenza del corpo umano, con I_P la corrente che passa nella persona e con V_C la tensione di contatto, risulta: $V_C = R_C \cdot I_P$

Poiché conosciamo i limiti di pericolosità della corrente I_P , se potessimo moltiplicare questi valori per R_C otterremmo i limiti di pericolosità della tensione di contatto V_C .

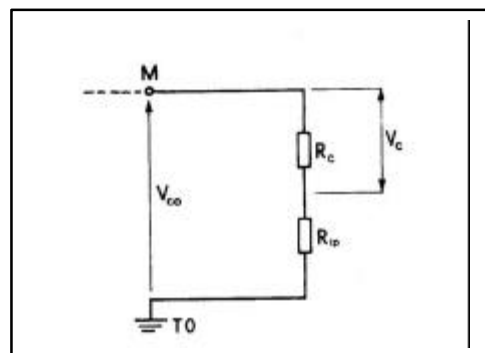
In realtà non è possibile seguire questa procedura sia perché R_C varia in funzione della tensione di contatto, sia perché la stessa tensione di contatto V_C dipende da vari fattori.

Per capire questo consideriamo una persona di resistenza R_C che ha i piedi per terra e tocca con la mano una massa M sotto tensione. In serie alla resistenza R_C bisogna considerare la resistenza verso terra della persona R_{TP} , dovuta alle scarpe, al pavimento ed al terreno sottostante.

In assenza di contatto tra la persona e il punto sotto tensione M , la ddp tra M e la terra si chiama **tensione di contatto a vuoto** e si indica con V_{C0} mentre, quando c'è il contatto della persona col punto M , la ddp che si stabilisce sulla persona è proprio la **tensione di contatto** V_C .

La tensione V_C si può calcolare applicando la regola del partitore di tensione:

$$V_C = \frac{V_{C0} \cdot R_C}{R_C + R_{TP}} = \frac{V_{C0}}{1 + \frac{R_{TP}}{R_C}}$$



Si può osservare che risulta sempre $V_C < V_{C0}$ tuttavia, se $R_{TP} \gg R_C$ (scarpe e pavimento isolanti e asciutti), risulta $V_C \ll V_{C0}$ mentre se $R_{TP} \ll R_C$ (scarpe e pavimento non isolanti, umidi o bagnati) risulta $V_C \approx V_{C0}$.

Dato che la tensione di contatto V_C dipende da vari fattori ed è difficilmente prevedibile mentre la tensione di contatto a vuoto V_{C0} si conosce facilmente, per gli impianti utilizzatori in BT funzionanti in corrente alternata a frequenza industriale si è stabilito di fissare i limiti di pericolosità non della tensione di contatto V_C ma della tensione di contatto a vuoto V_{C0} .

Si sono così ottenute le **curve di sicurezza**, che rappresentano il tempo di sopportabilità in funzione della tensione di contatto a vuoto V_{C0} .

In figura sono rappresentate le curve di sicurezza relative a contatti che avvengono in luoghi ordinari (interni e asciutti) ed in luoghi particolari (esterni, umidi, bagnati o ad uso medico).

Si può osservare che in condizioni ordinarie le tensioni $V_{C0} < 50$ V si possono sopportare per un tempo indeterminato, la tensione $V_{C0} = 50$ V si può sopportare per un tempo massimo di 5 s mentre la tensione $V_{C0} = 220$ V si può sopportare per un tempo massimo di 0,2 s. La tensione di 50 V si chiama **tensione di contatto limite convenzionale** e si indica con V_L .

In condizioni particolari le tensioni $V_{C0} < 25 \text{ V}$ si possono sopportare per un tempo indeterminato, la tensione $V_{C0} = 25 \text{ V}$ si può sopportare per un tempo massimo di 5 s mentre la tensione $V_{C0}=110 \text{ V}$ si può sopportare per un tempo massimo di 0,2 s. In questi luoghi la **tensione di contatto limite convenzionale** risulta $V_L=25 \text{ V}$.

