

EFFETTI DELLA CORRENTE ELETTRICA SUL CORPO UMANO

Prof. Messina

Gli effetti della corrente elettrica sul corpo umano dipendono principalmente dall'INTENSITA' e dalla FREQUENZA della corrente che, in un dato momento attraversa il corpo, ma anche dalla sensibilità individuale e dalla zona del corpo in cui il fenomeno ha luogo.

Il valore di questa intensità è dato dalla formula $I = V : R$, ove **V** indica il valore della tensione dell'impianto ed **R** la resistenza, espressa in OHM, del corpo umano verso terra.

Gli effetti fisiologici dell'elettricità sono i seguenti :

mA(Milliampere)	Effetti Fisiologici
da pochi μA a 5mA	Non pericolosa anche se si percepisce. N.B. La soglia di sensibilità (percezione), cioè il minimo valore di corrente che produce una sensazione è all'incirca 45 μ A, ottenuto con elettrodi appoggiati sulla lingua, l'organo più sensibile alla corrente elettrica, ad 1 cm di distanza. Un po' meno sensibili sono le altre parti del corpo umano, sui polpastrelli delle dita si hanno ad esempio valori di soglia di 0,5 mA.
Gli effetti più frequenti e più importanti che la corrente elettrica produce sul corpo umano sono fondamentalmente quattro: <ul style="list-style-type: none">• Tetanizzazione;• Arresto della respirazione;• Fibrillazione ventricolare;• Ustioni.	
superiori a10 mA per le donne ed a 15 mA per gli uomini.	<u>Tetanizzazione</u> si manifestano contrazioni dei muscoli della mano e del braccio interessato e tendenza a rimanere "incollati" alla parte metallica in tensione e generatrice della corrente. L'infortunato può non riuscire ad allontanarsi dall'elemento in tensione, il contatto permane nel tempo determinando fenomeni di asfissia, svenimenti e stato di incoscienza.
correnti superiori a 20÷30 mA	<u>Arresto della respirazione</u> Si verifica quando il fenomeno della tetanizzazione interessa i muscoli coinvolti nella respirazione, determinando perdita di conoscenza e soffocamento.
correnti superiori a 70÷100 mA.	<u>Fibrillazione ventricolare</u> Il cuore si contrae in maniera caotica e disordinata determinando il fenomeno della fibrillazione ventricolare che annulla la capacità del cuore di espletare le sue funzioni. Il fenomeno della fibrillazione ventricolare ha luogo per correnti superiori a 70÷100 mA ed è responsabile del 90 % delle morti per folgorazione.
<u>Ustioni</u> Un altro rischio importante collegato all'impiego dell'elettricità è legato alle ustioni, molto frequenti in ambiente domestico e soprattutto industriale. Il passaggio della corrente sul corpo umano è accompagnato da sviluppo di calore per effetto Joule e quindi da un aumento di temperatura in particolare nella parte in cui è avvenuto il contatto con l'elemento disperdente.	

Sulla base delle considerazioni su esposte è possibile rappresentare graficamente le zone di pericolosità della corrente alternata attraverso il corpo umano **in base alla sua intensità ed al tempo di esposizione**

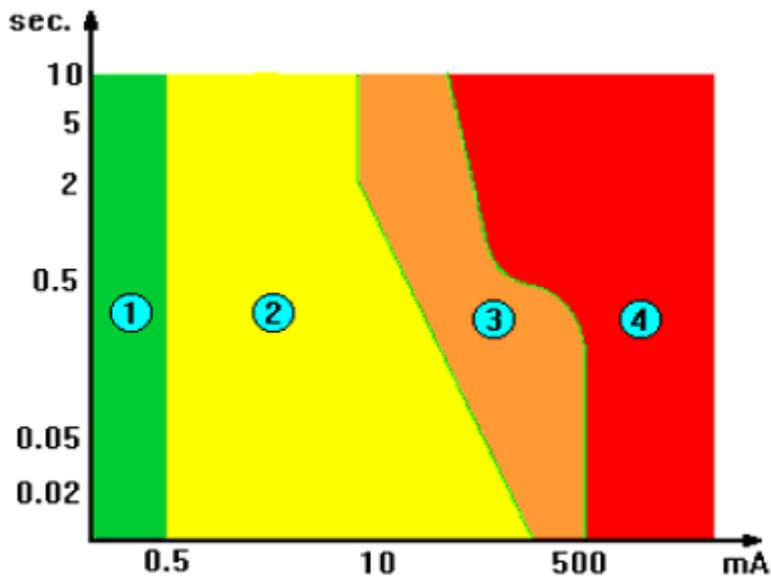


FIG. 1 Zone di pericolosità della corrente alternata di frequenza contenuta nell'intervallo 15÷100 Hz
In cui:

Zona 1: abitualmente nessun effetto;

Zona 2: abitualmente nessun effetto fisiopatologico pericoloso;

Zona 3: abitualmente nessun pericolo di fibrillazione cardiaca;

Zona 4: pericolo di possibile fibrillazione cardiaca (probabilità fino al 50%);

Se si considera una corrente alternata, il campo di frequenze 50 ÷ 100 Hz è quello a cui corrisponde la maggiore pericolosità. **Correnti a maggior frequenza sono meglio sopportate.** La pericolosità della corrente elettrica diminuisce perché questa tende a passare attraverso la pelle.

Il fenomeno descritto si chiama appunto **"effetto pelle"** poiché i danni provocati dal passaggio della corrente elettrica interessano solo la pelle e non gli organi vitali.

Occorre precisare, inoltre, che l'effetto della corrente continua DC sul corpo umano è differente da quello della corrente alternata AC.

Infatti *la corrente continua*, al contrario della corrente alternata, non risente dell'effetto pelle (crescente con la frequenza) che fa passare la corrente verso l'esterno del corpo senza interessare il cuore, ciò *comporta* immancabilmente *una maggiore compromissione dei tessuti interni*, compresi quelli degli organi vitali. D'altro canto però **il corpo umano riporta meno danni, a parità di intensità, al passaggio della corrente continua piuttosto che a quello della corrente alternata**). Il valore di corrente continua **ritenuto potenzialmente in grado di innescare il fenomeno della fibrillazione ventricolare è circa 3 VOLTE più elevato di quello corrispondente in corrente alternata.**

Ciò in quanto le correnti pulsanti a 50 Hz risultano particolarmente dannose per il sistema nervoso (provocano la tetanizzazione dei muscoli), mentre la corrente continua ha prevalentemente un effetto di riscaldamento resistivo dei tessuti.

RESISTENZA DEL CORPO UMANO

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 esso infatti dipende dallo stato in cui si trova esposto il corpo umano in quel dato momento. La resistenza del corpo umano è una grandezza estremamente variabile anche con le condizioni ambientali. La resistenza varia nella stessa persona al variare delle condizioni fisiologiche

Esempi: piedi scalzi, piedi su suolo bagnato, (Resistenza molto bassa ed intensità di corrente molto alta = GRAVE PERICOLO !), piedi calzati con scarpe quasi isolanti, poggiati a terra su pavimento o suolo quasi isolante (Resistenza alta ed intensità di corrente bassa = PERICOLO !).

La valutazione della resistenza che il corpo umano oppone al passaggio della corrente deve inevitabilmente tener conto delle variabili da cui essa dipende, in particolare della tensione, superficie, pressione e durata del contatto, dello stato della pelle e del percorso della corrente. Segue una breve descrizione dei parametri sopra citati.

Tensione di contatto

Si è visto sperimentalmente che, all'aumentare della tensione applicata al corpo umano, la resistenza della pelle diminuisce, fino a diventare trascurabile per tensioni superiori a circa 100 V.

Stato della pelle

La sudorazione, la presenza di umidità o di ferite in corrispondenza del contatto determina una riduzione delle resistenza della pelle, avviene il contrario invece se nella zona di contatto la pelle è indurita, ad esempio per la presenza di calli.

Superficie di contatto

All'aumentare della superficie di contatto diminuisce la resistenza della pelle, ciò potrebbe accadere, ad esempio, alla persona che operi distesa all'interno di una caldaia o di una tubazione soggetta a dispersioni.

Pressione di contatto

Ad una maggiore pressione di contatto corrisponde una minore resistenza, è questo il caso degli apparecchi portatili, saldamente sorretti e guidati durante l'uso dell'operatore, i muscoli della mano contratti sono inoltre più esposti al fenomeno della tetanizzazione (per tale motivo la normativa CEI vigente richiede che apparecchi di tale tipo siano di classe 2, ossia con doppio isolamento).

Durata del contatto

Con il prolungarsi del contatto, diminuisce la resistenza della pelle, tuttavia, se la quantità di calore sviluppata è tale da carbonizzare la pelle, la resistenza può risalire a valori molto elevati.

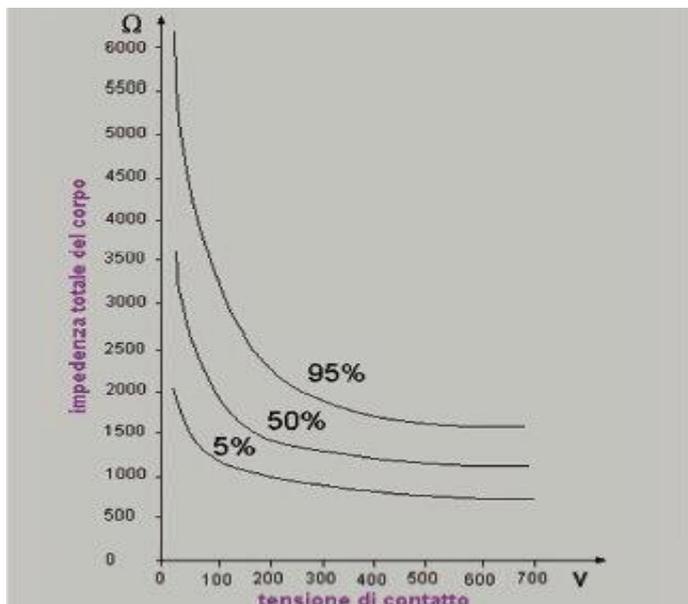
Percorso della corrente

Un fattore rilevante nella valutazione della pericolosità della corrente elettrica è il percorso che la corrente effettua nel corpo umano. Il percorso più pericoloso nei confronti della fibrillazione ventricolare è quello mano sinistra - torace.

Come detto, dare dei **valori precisi alla resistenza elettrica del corpo umano RC risulta piuttosto difficoltoso** essendo questa influenzata da molte variabili.

La **resistenza elettrica del corpo umano è valutabile, dunque, solo statisticamente** e quindi le norme CEI fanno riferimento a valori convenzionali riferiti ad un campione medio di popolazione

Ad esempio, con riferimento alla curva relativa al 5% degli individui, nel senso che solo il 5% delle persone presenta valori di RC minori di questi, si può notare che per tensioni intorno ai 50 V risulta RC=1500 ohm mentre per tensioni di 230 V risulta RC=1000 ohm.



La fig. 1 sopra riportata, è stata ottenuta considerando un percorso ipotetico che va dalla mano sinistra ai piedi.

Per dedurre gli effetti equivalenti (soprattutto in termini di probabilità di fibrillazione ventricolare) che una stessa corrente I, a parità di tempo di esposizione, avrebbe in caso di percorsi differenti attraverso il corpo del soggetto interessato, viene definito un **fattore di percorso F** considerando come riferimento il percorso mano sinistra-piedi preso uguale a 1, tale che $I_{eq} = I/F$.

Qui di seguito sono indicati alcuni dei valori attribuiti al fattore di percorso F:

Tabella 1 - Fattori di percorso

Percorso	Fattore di percorso
Mani - Piedi	1
Mano sinistra - Piede sinistro	1
Mano sinistra - Piede destro	1
Mano sinistra - Piedi	1
Mano sinistra - Mano destra	0,4
Mano sinistra - Schiena	0,7
Mano sinistra - Torace	1,5
Mano destra - Piede sinistro	0,8
Mano destra - Piede destro	0,8
Mano destra - Piedi	0,8
Mano destra - Schiena	0,3
Mano destra - Torace	1,3
Glutei - Mano destra e sinistra / Mani	0,7

Dalla tabella 1 si può notare che il **percorso mano-schiena risulta il meno pericoloso**, fattore di percorso 0,3, mentre il contatto **mano sinistra-torace, fattore di percorso 1,5, il più pericoloso**

LA CURVA DI SICUREZZA

Si assume come **curva di sicurezza corrente/tempo** la curva tratteggiata di (fig.5), intermedia fra la curva *b*, al di sopra della quale si ha lo shock elettrico, e la curva *c1* che individua i limiti della fibrillazione ventricolare.

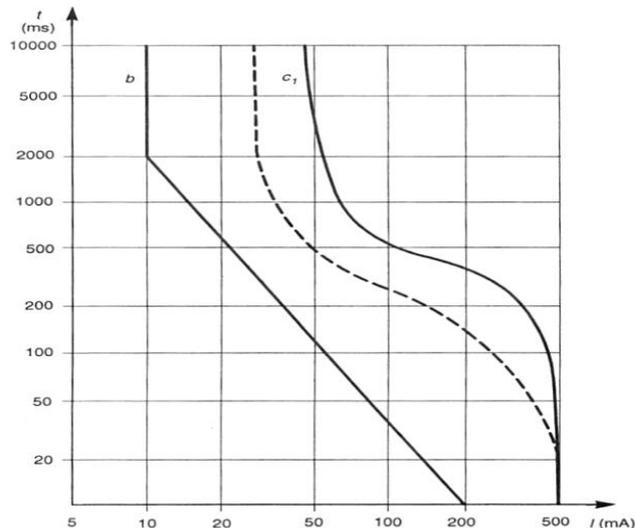


FIG. 2
La curva tratteggiata indica la curva di sicurezza corrente- tempo assunta in sede normativa internazionale.

Tuttavia, in pratica ci si riferisce, più che ai limiti di corrente pericolosa, ai limiti di tensione pericolosa.

Nel ricavare la **curva di sicurezza tensione - tempo** (fig. 3) ci si riferisce prudenzialmente al percorso mani-piedi di una persona che afferra con entrambe le mani un apparecchio elettrico ed ha i due piedi nel suolo.

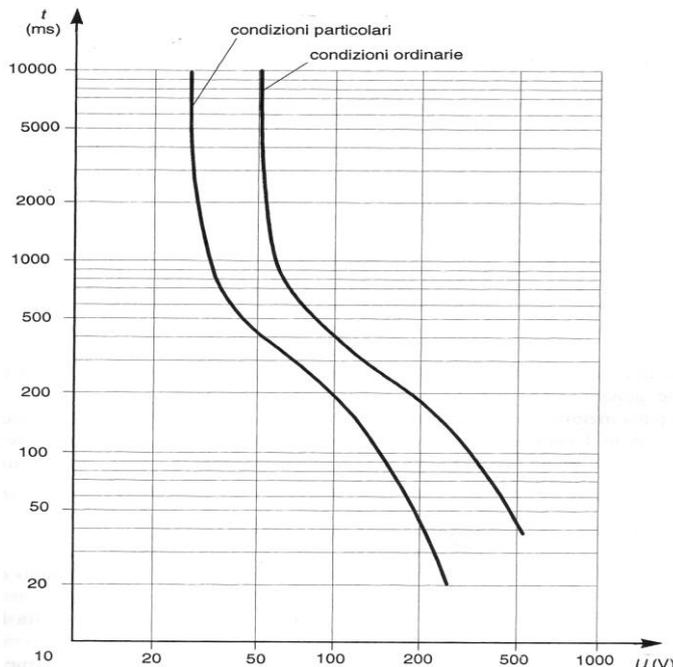


FIG. 3
Curva di sicurezza tensione-tempo in condizioni ambientali ordinarie e particolari

Dalla fig. 3 si deduce che la massima tensione sopportabile dal corpo umano indefinitamente è pari a **50 V in condizioni ambientali ordinarie ed a 25 V in condizioni particolari (all'aperto)**.

Il valore di tensione così definito prende il nome di **tensione di contatto limite convenzionale VI**, che troviamo in corrispondenza al tempo di intervento di 5 s. Nel caso di corrente continua, i valori della tensione di contatto limite convenzionale sono rispettivamente pari a 120 V per le condizioni ordinarie e 60 V per quelle particolari.

È sulla base di queste considerazioni che le Norme pongono un limite al livello di tensione sopportabile senza che intervenga qualche altra forma di protezione (CEI 64-8).
Tale valore è il risultato di un compromesso tra la limitazione della probabilità di danno alle persone ed i limiti tecnologici delle apparecchiature elettriche di interruzione.