

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA
Dipartimento di Ingegneria
Contrada Di Dio I, 98166 – Villaggio S. Agata Messina

Appunti Corso di Sistemi Elettrici

Capitolo 02 Elettrofisiologia

Anno Accademico 2015-2016

prof. ing. Bruno Azzerboni

Fonti:

Manuali, guide e cataloghi
ABB, bTicino, Gewiss, Merlin Gerin
Schneider, Siemens

Web:

www.elektro.it,
www.voltimum.it
www.electroyou.it

Sommario

2. Elettrofisiologia	3
2.1 Variazioni di potenziale e attività biologica	3
2.2 Potenziale di riposo	3
2.3 Potenziale d'azione	4
2.4 Soglia di percezione	4
2.5 Effetti fisiopatologici della corrente elettrica	5
2.6 Limiti di pericolosità della corrente	6
2.7 Resistenza elettrica del corpo umano	9
2.8 Limiti di pericolosità della tensione	12

2. Elettrofisiologia

2.1 Variazioni di potenziale e attività biologica

Sono molto conosciuti gli esperimenti che Galvani fece alla fine del XVIII secolo sulla contrazione del muscolo di una rana per l'applicazione di una differenza di potenziale elettrico. Da allora, la conoscenza dei fenomeni elettrici inerenti il corpo umano e degli effetti della corrente elettrica esterna introdotta su di esso, sono ampiamente studiati in una disciplina scientifica denominata *elettrofisiologia*. Le variazioni di potenziale prodotte dall'attività biologica, all'interno del corpo umano sono indicative del funzionamento normale o anormale di alcuni organi: cuore (elettrocardiogramma), cervello (elettroencefalogramma), muscoli (elettromiogramma), occhio (retinogramma).

2.2 Potenziale di riposo

Il corpo umano, in gran parte composto di una soluzione salina conduttrice, si può dire sia costituito da un insieme di atomi o gruppi di atomi che, quando perdono o acquistano elettroni, sono chiamati ioni (cationi cioè ioni con carica positiva, se hanno perso elettroni, oppure anioni cioè ioni con carica negativa, se hanno acquistato elettroni); sono tali le cellule (Fig. 2.1) o il liquido interstiziale che le separa. Poiché la cellula ha verso gli ioni un comportamento di tipo selettivo, gli ioni non si diffondono allo stesso modo dentro e fuori la cellula (ad esempio la cellula è molto permeabile allo ione potassio piuttosto che allo ione sodio). Lo ione K^+ è trasportato all'interno della cellula mentre lo ione Na^+ è espulso (ogni tre ioni Na^+ espulsi, due ioni K^+ sono inseriti all'interno) con la tipica azione di pompaggio biochimico a spese dell'organismo (pompa metabolica). La cellula viene quindi a possedere un potenziale negativo all'interno rispetto all'esterno (potenziale di riposo). Nei mammiferi le cellule del sistema nervoso centrale presentano un potenziale di riposo di 70 mV: una differenza di potenziale notevole se si considerano le piccole dimensioni della cellula.

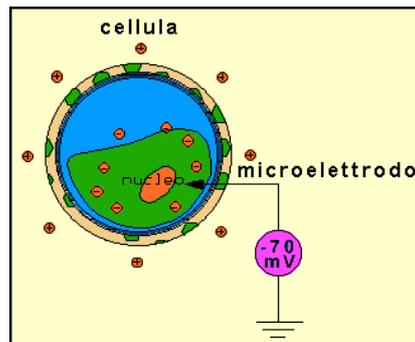


Fig. 2.1 - E' possibile misurare il potenziale che presenta la cellula, negativo all'interno rispetto all'esterno, tramite un millivoltmetro

La membrana cellulare separando cariche elettriche si comporta come un condensatore. La membrana non è perfettamente isolante ed è attraversata da un certo numero di ioni perciò, oltre ad un valore di capacità, presenterà anche una resistenza elettrica. Il modello elettrico semplificato delle cellule umane sarà perciò rappresentato da un condensatore C in parallelo con una resistenza R e da un generatore di tensione che rappresenta il potenziale di riposo determinato dalla diversa concentrazione di ioni nella cellula (Fig. 2.2)

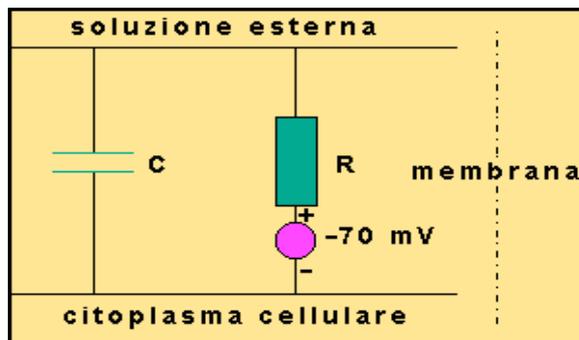


Fig. 2.2 Schema elettrico equivalente di una cellula.

2.3 Potenziale d'azione

Se si applica a una cellula eccitabile un impulso di corrente di polarità inversa a quella della cellula stessa, il potenziale da negativo diviene positivo per ritornare di nuovo al valore iniziale. Quando lo stimolo elettrico eccita la cellula, aumenta notevolmente la permeabilità della membrana agli ioni sodio che, entrando nel citoplasma della cellula, prima la depolarizzano, annullando la differenza di potenziale tra interno ed esterno, e poi ne causano l'inversione di polarità. L'ampiezza minima dell'impulso di corrente necessario ad eccitare la cellula e a determinarne l'inversione del potenziale decresce con l'aumentare della durata per tendere ad un valore costante secondo una curva simile ad un'iperbole equilatera denominata curva di eccitabilità. *Uno stimolo elettrico riesce ad eccitare la cellula soltanto se produce un flusso di corrente la cui intensità e durata sono superiori ad una soglia che prende il nome di reobase. Per stimoli d'intensità superiore alla reobase, l'eccitazione avviene soltanto se la durata dello stimolo e l'intensità di corrente sono al di sopra della curva mostrata in figura 2.3.* Questa curva rappresenta il limite per cui uno stimolo riesce a eccitare una cellula.

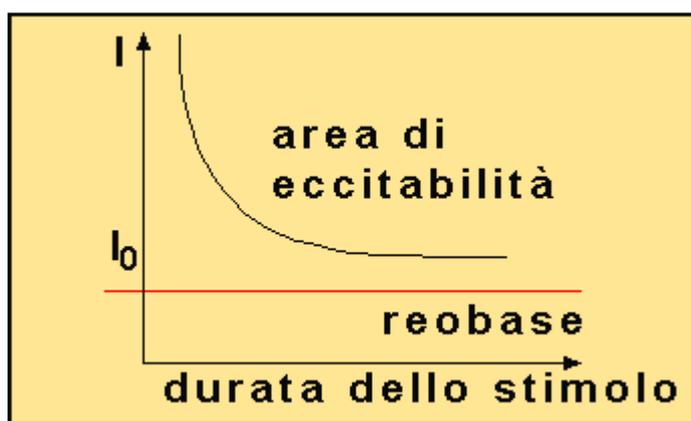


Fig. 2.3 - Curva di eccitabilità di una cellula

2.4 Soglia di percezione

I segnali elettrici connessi con l'attività biologica controllano il funzionamento dei vari organi e vengono trasmessi dai neuroni del sistema nervoso. Stimoli elettrici che superano la soglia di eccitabilità e che provengono dall'esterno possono essere pericolosi e influire sulle funzioni vitali. La pericolosità di questi stimoli può variare a seconda dell'intensità e della natura della corrente, dalla durata del contatto, dalla costituzione fisica della persona colpita (massa corporea e stato di salute) e dalla frequenza. **Correnti a maggior frequenza sono meglio sopportate** in quanto la durata dell'impulso necessario ad eccitare la cellula, inversamente proporzionale alla frequenza, diminuisce all'aumentare della frequenza e quindi è necessario aumentare l'intensità dello stimolo per provocare la modificazione del potenziale di riposo della cellula. Inoltre 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. Anche la **corrente continua** può essere pericolosa ma è necessaria un'intensità maggiore di quella alternata a 50 Hz a causa di un fenomeno che avviene nella cellula sottoposta ad uno stimolo continuo detto di **accomodazione**: in presenza di uno stimolo ininterrotto la cellula si adatta alla nuova situazione aumentando la sua soglia di eccitabilità. Il valore di corrente percepibile da una persona è un fatto individuale che dipende da diversi fattori: non è facile determinare i minimi valori di corrente che superano la soglia di percezione e quindi si ricorre a criteri statistici e a metodi sperimentali.

2.5 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 quali:

- l'intensità di corrente,
- la durata del contatto,
- la natura della corrente (quella continua è meno pericolosa di quella alternata),
- la 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:

- 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.

Avviene quando l'impulso cui sono soggette le cellule nervose ha intensità e durata tale da creare un potenziale d'azione, ossia per correnti superiori a 10 mA per le donne ed a 15 mA per gli uomini. In queste condizioni il muscolo, collegato alle stesse fibre nervose, si contrae per poi portarsi alla condizione di riposo; tuttavia se al primo stimolo ne seguono degli altri intervallati in modo tale che fra l'uno e l'altro il muscolo abbia raggiunto la condizione di riposo, gli effetti si sommano e si fondono determinando una contrazione completa del muscolo in questa posizione che perdura fino a che gli stimoli non sono cessati. 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. La tetanizzazione è causa del 10 % delle morti per folgorazione.

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.

Da notare che correnti molto elevate non producono solitamente la tetanizzazione perché quando il corpo entra in contatto con esse, l'eccitazione muscolare è talmente elevata che i movimenti muscolari involontari generalmente staccano il soggetto della sorgente.

- Difficoltà di respirazione. Avviene quando il fenomeno della tetanizzazione interessa i muscoli coinvolti nella respirazione, ossia per correnti superiori a 20÷30 mA, determinando perdita di conoscenza e soffocamento. La difficoltà di respirazione è dovuta, quindi, 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. L'arresto della respirazione è causa del 6% delle morti per folgorazione.
- Fibrillazione ventricolare. Gli impulsi elettrici generati dai centri nervosi in condizioni normali costituiscono ordini di azionamento trasmessi al muscolo cardiaco, se altri impulsi elettrici estranei si sovrappongono ai primi, il cuore in mancanza di ordini coordinati si contrarrà in maniera caotica e disordinata determinando il fenomeno della fibrillazione ventricolare, responsabile del 90% delle morti per folgorazione.

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. Il fenomeno della fibrillazione ventricolare ha luogo per correnti superiori a 70÷100 mA.

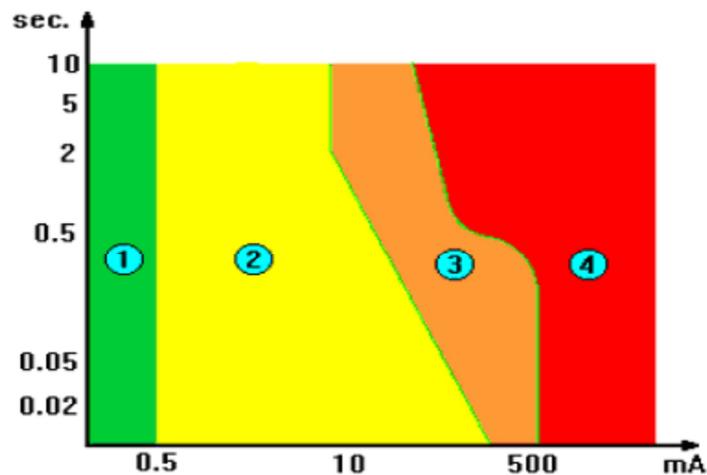
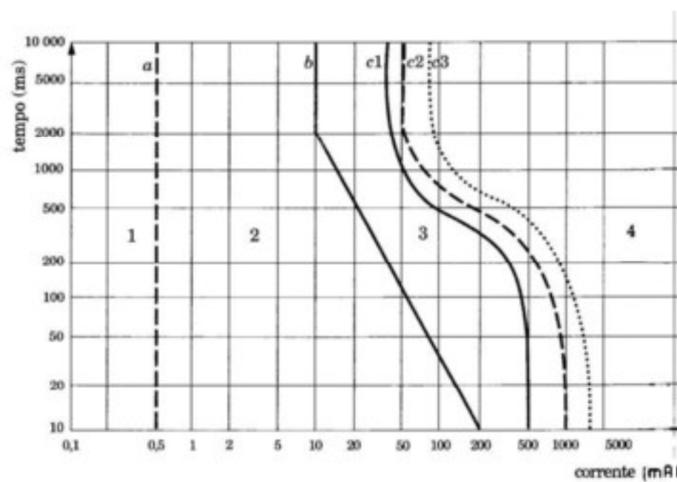
- Ustioni. Un altro rischio importante collegato all'impiego dell'elettricità è legato alle ustioni, molto frequenti in ambiente domestico e soprattutto industriale. Il passaggio della corrente sul corpo umano è accompagnato da sviluppo di calore per effetto Joule e quindi da un aumento di temperatura in particolare nella parte in cui è avvenuto il contatto con l'elemento disperdente. La pelle è il tessuto più esposto a questo fenomeno poiché ha un'elevata resistenza elettrica ($P=RI^2$).

2.6 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:

- 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, quindi, la *soglia di percezione*.
- 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, di conseguenza la *soglia di pericolosità*.
- 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.
- 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.



Nel grafico sono evidenziate quattro zone e precisamente:

- *Zona 1*- retta "a" di equazione $I=0,5 A$ in cui normalmente non si hanno effetti dannosi;
- *Zona 2*: tra la retta "a" e la curva "b" di equazione $I=10+10/t$ (mA), con asintoto verticale $I=10$ mA non si hanno normalmente effetti fisiopatologici pericolosi;
- *Zona 3*: tra la curva "b" e la curva "c" (soglia di fibrillazione ventricolare) possono verificarsi effetti quasi sempre reversibili che possono divenire pericolosi se a causa del fenomeno della tetanizzazione, che impedisce il rilascio, ci si porta nella zona 4. Si verificano fenomeni patologici meno gravi: tetanizzazione dei muscoli, difficoltà di respirazione, leggere ustioni, leggeri disturbi cardiaci, abitualmente nessun pericolo di fibrillazione cardiaca;
- *Zona 4*: La pericolosità aumenta allontanandosi dalla curva "c" . Si può innescare la fibrillazione con conseguente arresto cardiaco, arresto della respirazione e ustioni. Pericolo di possibile fibrillazione cardiaca (probabilità fino al 50%); s'innescano la fibrillazione ventricolare, con una probabilità tanto maggiore quanto più ci si allontana dalla curva c1. La curva c2 si riferisce al 5% delle persone e la curva c3 al 50% delle persone. In seguito alla fibrillazione si verificano effetti patologici gravi: arresto della respirazione, gravi ustioni, arresto cardiaco, arresto della circolazione.

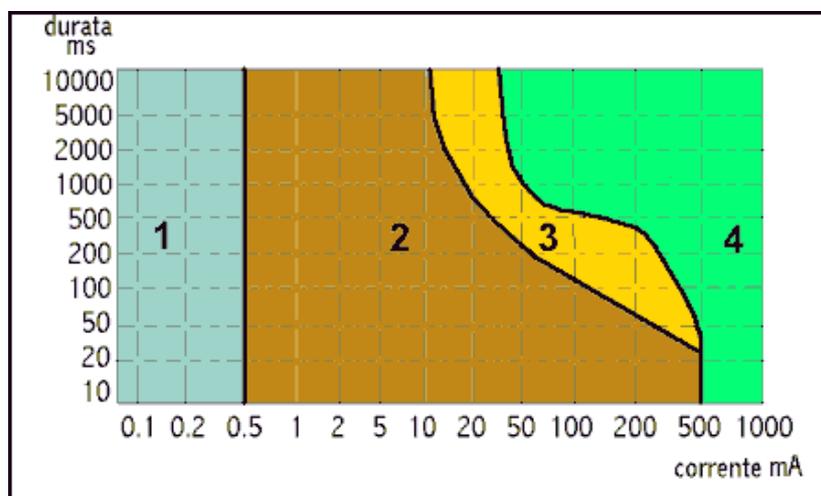


Fig. 2.4 - Zone di pericolosità convenzionali IEC della corrente elettrica alternata sinusoidale a 50, 60 Hz .

Per contatti con la corrente continua la curva di pericolosità è leggermente diversa da quella vista in precedenza (fig. 2.4) tempo-corrente dove le correnti diventano pericolose per valori leggermente superiori rispetto alle correnti in alternata (fig. 2.5)

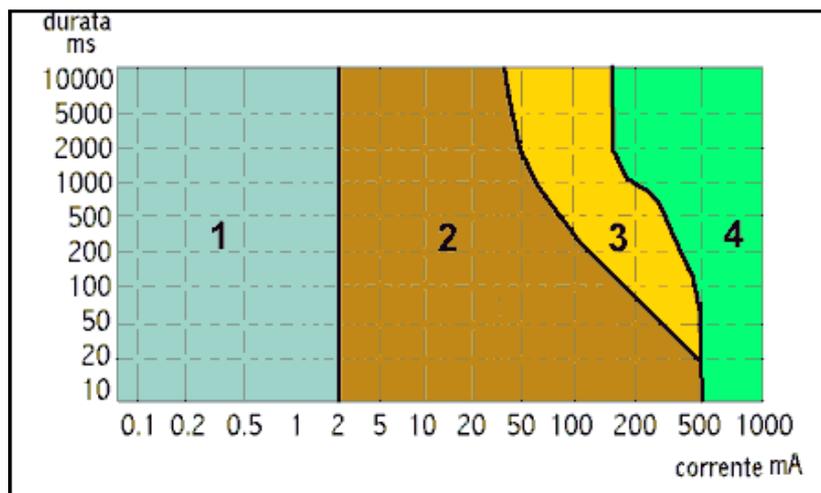


Fig. 2.5 - Zone di pericolosità convenzionali IEC della corrente elettrica continua

Occorre precisare 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), 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 d'intensità, al passaggio della corrente continua piuttosto che a quello della corrente alternata LF (Light Frequency). Ciò poiché 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.

Un fattore rilevante nella valutazione della pericolosità della corrente elettrica è il percorso che la corrente compie nel corpo umano, da esso dipende, infatti, la direzione del campo elettrico che agisce sul cuore e di conseguenza la probabilità d'innescare la fibrillazione ventricolare. Il percorso più pericoloso nei confronti della fibrillazione ventricolare è quello mano sinistra - mano destra.

In figura 2.6 sono sintetizzate le conseguenze del passaggio della corrente elettrica nel corpo umano.

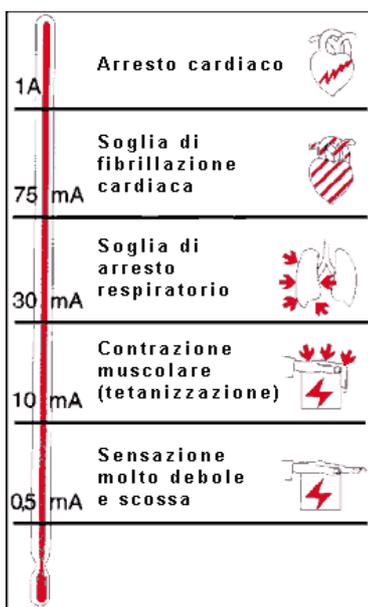


Fig. 2.6 - Conseguenze del passaggio della corrente elettrica alternata nel corpo umano

La pericolosità della corrente diminuisce all'aumentare della frequenza poiché ad alte frequenze la corrente tende a passare solo attraverso la pelle. Il fenomeno si chiama appunto effetto pelle e le lesioni provocate dal passaggio della corrente elettrica sono solo superficiali e non interessano organi vitali. Dalla figura 2.7 si può notare come le correnti a frequenza di 50 cicli al secondo si trovino nella fascia di frequenze più pericolose. In fig. 2.8 sono indicate la soglia di percezione e quella di dolore per scariche impulsive (considerando il valore della tensione di picco dell'impulso, sempre minore di 10 ms, e la quantità di carica trasferita).

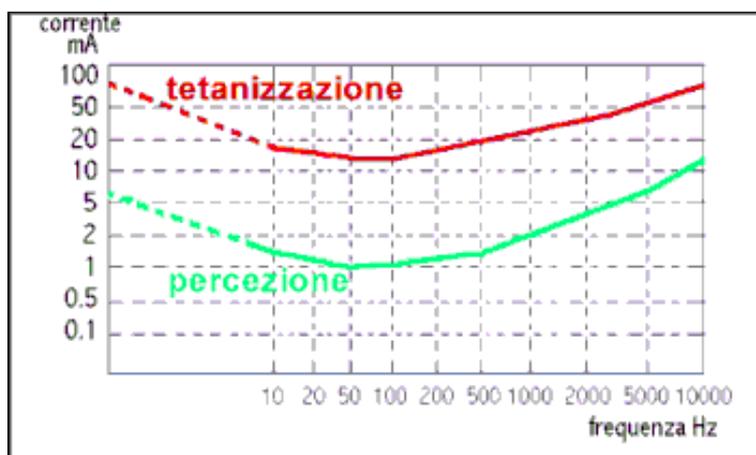


Fig. 2.7 - Pericolosità della corrente elettrica al variare della frequenza

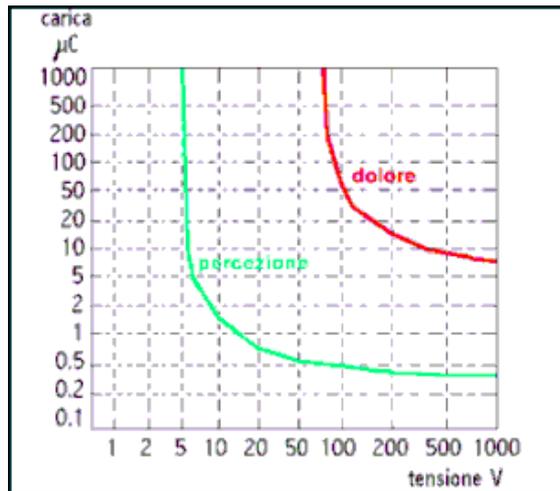


Fig. 2.8 - Pericolosità delle correnti impulsive (durata dell'impulso minore di 10 ms)

2.7 Resistenza elettrica del corpo umano

Dare dei valori precisi alla resistenza elettrica del corpo umano risulta piuttosto difficoltoso essendo questa influenzata da molte variabili: percorso della corrente, stato della pelle (presenza di calli, sudore, umidità, tagli, abrasioni ecc.), superficie di contatto, tensione di contatto (sperimentalmente si è visto che all'aumentare della tensione diminuisce la resistenza). Come tale è possibile valutarla solo statisticamente e quindi le norme CEI fanno riferimento a valori convenzionali riferiti ad un campione medio di popolazione. Nel caso che il contatto avvenisse tramite strati isolanti (guanti, calzari, pedane ecc.) alla R_c occorre ovviamente aggiungere la resistenza di tali materiali.

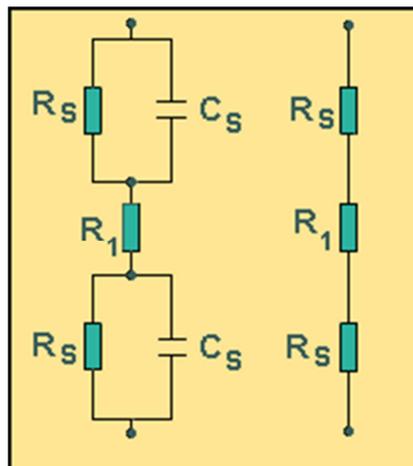


Fig. 2.9 Circuito equivalente del corpo umano tra due punti

Dal circuito equivalente di fig. 2.9 si può rilevare che R_s e C_s sono la resistenza e la capacità dei punti di contatto mentre R_i è la resistenza interna del corpo umano. Tali valori possono essere diversi a seconda dei casi e l'impedenza capacitiva è rilevante solo per frequenze superiori a 1000 Hz. A frequenza industriale l'impedenza Z si riduce alle sole resistenze del corpo umano. Si è visto che la corrente elettrica può risultare pericolosa a partire da valori di 10 mA. Ai fini pratici è più conveniente riferirsi ai valori di tensione che sono in grado di far circolare una particolare corrente piuttosto che a dei valori di corrente veri e propri.

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:

$$\frac{V_c}{Z_c} < 10mA$$

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

- 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 (R_S di fig 2.9) per frequenze > 1000 Hz avrebbe carattere ohmico-capacitivo.
- L'impedenza interna, di carattere ohmico e indicata con R_i dovuta al percorso della corrente all'interno del corpo umano.
- L'impedenza del punto di uscita, analoga al primo termine e indicata con R_u (R_S di fig 2.9).

Risulta allora che: $Z_c = R_c = R_e + R_i + R_u$

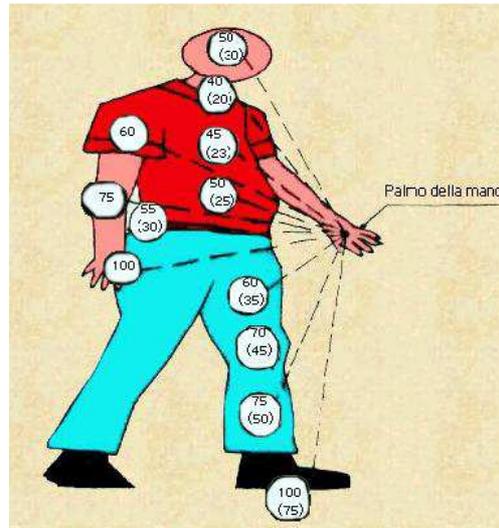
Il valore di R_c non si può stabilire con precisione poiché R_e , R_i ed R_u dipendono da vari fattori:

- *Tensione di contatto*; se questa aumenta R_e ed R_u diminuiscono.
- *Stato della pelle*; questo influenza R_e e R_u che diminuiscono con la presenza di sudore, umidità, ferite, graffi e aumentano con la presenza di calli.
- *Superficie di contatto*; se questa aumenta R_e ed R_u diminuiscono.
- *Pressione di contatto*; se questa aumenta R_e ed R_u diminuiscono.
- *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*; 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. 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, è definito un fattore di percorso f tale che $I_{eq}=I/f$.

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

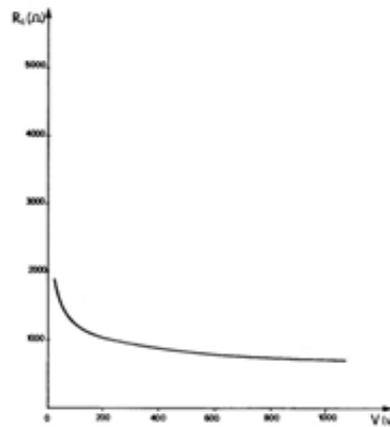
- | | |
|------------------------------------|---------|
| • Mani – Piedi | $f=1,0$ |
| • Mano Sinistra – Piede Sinistro | $f=1,0$ |
| • Mano Sinistra – Piede Destro | $f=1,0$ |
| • Mano Sinistra – Entrambi i Piedi | $f=1,0$ |
| • Mano Sinistra – Mano Destra | $f=0,4$ |
| • Mano Sinistra – Dorso | $f=0,7$ |
| • Mano Sinistra – Torace | $f=1,5$ |
| • Mano Destra – Piede Sinistro | $f=0,8$ |
| • Mano Destra – Piede Destro | $f=0,8$ |
| • Mano Destra – Entrambi i Piedi | $f=0,8$ |
| • Mano Destra – Dorso | $f=0,3$ |
| • Mano Destra – Torace | $f=1,3$ |
| • Glutei – Mani | $f=0,7$ |

Si deduce che i casi più pericolosi si hanno quando la corrente fluisce fra mano destra e mano sinistra o fra mano destra e schiena. Viceversa se uno dei due poli d'ingresso/uscita della corrente è il torace, la pericolosità si riduce notevolmente.



Il grafico seguente 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 50V risulta $R_c=1500 \Omega$ mentre per tensioni di circa 220V risulta $R_c=1000 \Omega$.

Tale valore è stato assunto come *resistenza convenzionale del corpo umano* dalla norma CEI 11-8.



2.8 Limiti di pericolosità della tensione

Se indichiamo con:

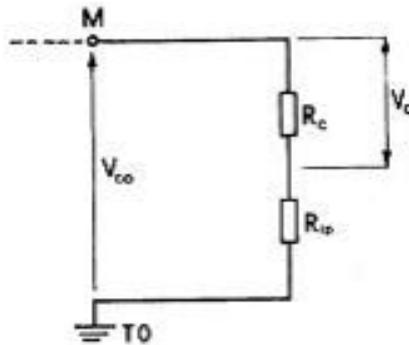
- R_c la resistenza del corpo umano,
- I_p la corrente che passa nella persona,
- V_c la tensione di contatto

risulta: $V_c = R_c \times I_p$ e, 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 d.d.p. 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 d.d.p. che si stabilisce sulla persona è proprio la *tensione di contatto* V_c . (cfr. figura).



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

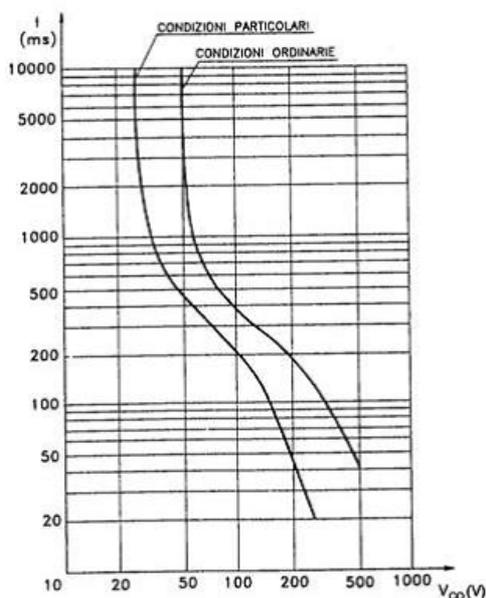
$$V_c = \frac{V_{c0} \times R_c}{R_c + R_{tp}} = \frac{V_{c0}}{1 + \frac{R_{tp}}{R_c}}$$

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 che si riferiscono a contatti che avvengono in luoghi ordinari (interni e asciutti) e in luoghi particolari (esterni, umidi, bagnati o ad uso medico).



Si può osservare che in condizioni ordinarie le tensioni $V_{c0} < 50V$ si possono sopportare per un tempo indeterminato, la tensione $V_{c0} = 50V$ si può sopportare per un tempo massimo di 5 s mentre la tensione $V_{c0} = 220V$ si può sopportare per un tempo massimo di 0,2 s. La tensione di 50V si chiama *tensione di contatto limite convenzionale* e si indica con V_L .

In condizioni particolari le tensioni $V_{c0} < 25V$ si possono sopportare per un tempo indeterminato, la tensione $V_{c0} = 25V$ si può sopportare per un tempo massimo di 5 s mentre la tensione $V_{c0} = 110V$ si può sopportare per un tempo massimo di 0,2 s. In questi luoghi la *tensione di contatto limite convenzionale* è $V_L = 25V$.

Nel caso di corrente continua, i valori della tensione di contatto limite convenzionale sono rispettivamente pari a $V_L = 120V$ per le condizioni ordinarie e $V_L = 60V$ 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 e i limiti tecnologici delle apparecchiature elettriche d'interruzione.