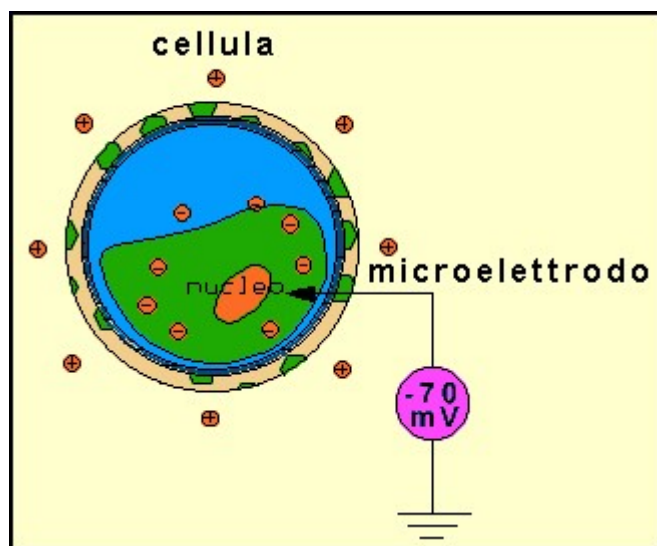


Brevi richiami di elettrofisiologia

POTENZIALE DI RIPOSO



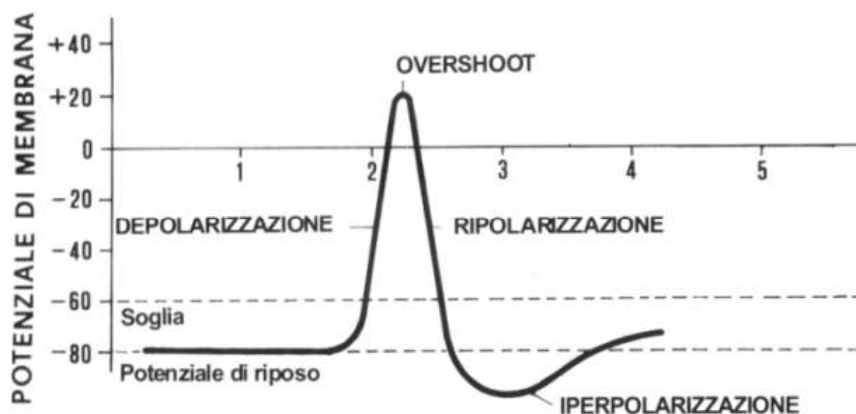
Il corpo umano, in gran parte è composto di una soluzione salina conduttrice.

La cellula è selettiva nei confronti degli ioni, infatti, preferisce fare entrare gli ioni K⁺ e lasciare fuori gli ioni Na⁺ per questo motivo ha 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.

Brevi richiami di elettrofisiologia

POTENZIALE D'AZIONE



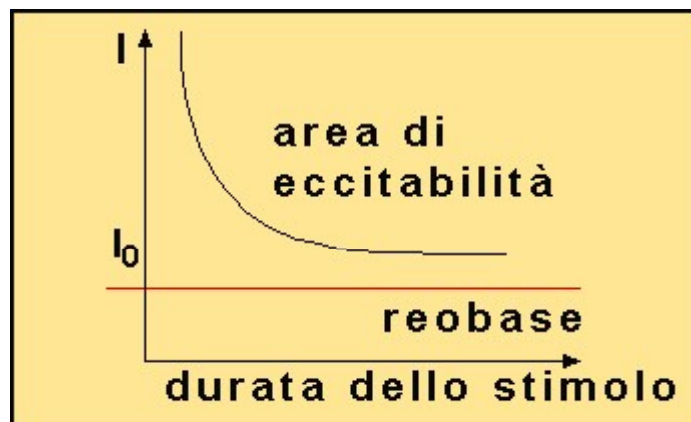
Se ad una cellula eccitabile si applica un impulso di corrente di polarità inversa a quella della cellula e di durata e ampiezza adeguati, il potenziale della cellula da negativo diventa positivo per poi ritornare al suo valore iniziale.

L'andamento del potenziale prende il nome di **Potenziale d'azione**

Lo stimolo, rappresentato dall'impulso elettrico, **aumenta di 500 – 1000 volte la permeabilità della membrana** agli ioni sodio Na^+ ; l'ingresso di questi ioni positivi depolarizza la cellula, nel senso che annulla la differenza di potenziale tra interno ed esterno, fino ad invertirne la polarità.

Brevi richiami di elettrofisiologia

CURVA DI ECCITABILITÀ

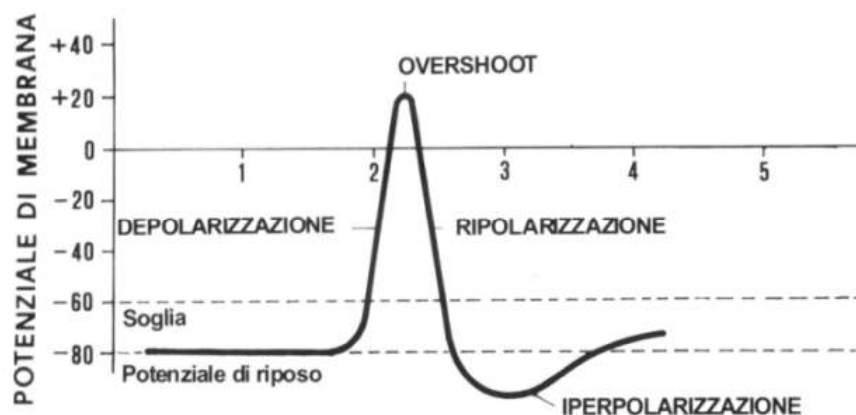


L'ampiezza minima dell'impulso di corrente necessario ad eccitare la cellula e a determinarne l'inversione del potenziale decresce con l'aumentare della durata per tendere ad un valore costante secondo una curva simile ad un'iperbole equilatera denominata **curva di eccitabilità**.

- Uno stimolo elettrico riesce a 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 di 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.

Brevi richiami di elettrofisiologia

CURVA DI ECCITABILITÀ



• L'ampiezza del potenziale d'azione non è proporzionale all'intensità dello stimolo, ma segue una legge del tutto o nulla. La cellula passa da uno stato di quiete ad uno stato di eccitamento.

- Se gli stimoli sono ravvicinati la cellula non risponde a tutti gli stimoli o risponde parzialmente.
- Si definisce **Periodo di refrattarietà assoluta** l'intervallo di tempo susseguente all'inizio dell'eccitamento cellulare, durante il quale uno stimolo successivo non produce l'eccitamento, qualunque sia la sua intensità

Brevi richiami di elettrofisiologia

CURVA DI ECCITABILITÀ

- Si definisce **periodo di refrattarietà relativa** l'intervallo di tempo, che segue il periodo di refrattarietà assoluta, in cui uno stimolo può produrre nuovamente l'eccitamento della cellula, secondo una curva di eccitabilità superiore.
- La cellula una volta eccitata non risponde più per un certo tempo a nessuno stimolo; poi risponde solo a stimoli più intensi di quelli che ne producono l'eccitamento allo stato di riposo, solo dopo un certo tempo, detto **periodo refrattario** (pari alla somma del periodo refrattario assoluto e del periodo refrattario relativo) risponde agli stimoli secondo la curva di eccitabilità.
- Se lo stimolo dura, ininterrottamente, per tempi più lunghi del periodo refrattario, si verifica un fenomeno detto di **accomodazione**. Lo stimolo produce l'eccitamento all'inizio, ma finito il periodo refrattario non produce un nuovo eccitamento: la cellula, adattatasi alla nuova situazione, ha aumentato la soglia di eccitabilità. Solo uno stimolo di forte intensità, se applicato per lungo tempo, provoca eccitamenti successivi.

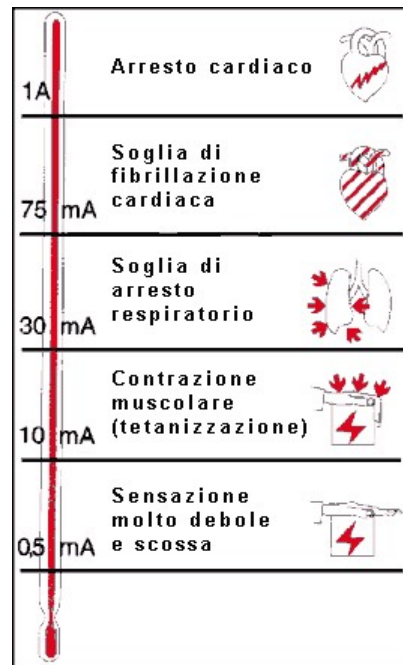
Brevi richiami di elettrofisiologia

LA SOGLIA DI SENSIBILITÀ

Considerazioni utili:

- L'attività biologica si accompagna ad una attività elettrica. Nulla da meravigliarsi quindi che correnti elettriche esterne, sommandosi alle piccole correnti fisiologiche interne, possano alterare le funzioni vitali dell'organismo, fino a provocarne effetti letali.
- La curva di eccitabilità delle singole cellule contiene già i presupposti della curva di pericolosità corrente – tempo
- Dalla curva di eccitabilità della singola cellula si comprende perché una corrente ad alta frequenza sia meno pericolosa di una corrente a bassa frequenza.
- La corrente continua è meno pericolosa della corrente alternata, grazie al fenomeno di accomodazione.
- **La soglia di sensibilità** (percezione), **cioè il minimo valore di corrente che produce una sensazione**, è all'incirca di **45 μ A** (elettrodi appoggiati sulla lingua, l'organo più sensibile alla corrente elettrica).
- Un po' meno sensibili sono i polpastrelli **0.5 mA** **valore efficace** a 50 - 100 Hz e **2 mA in corrente continua**

Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano

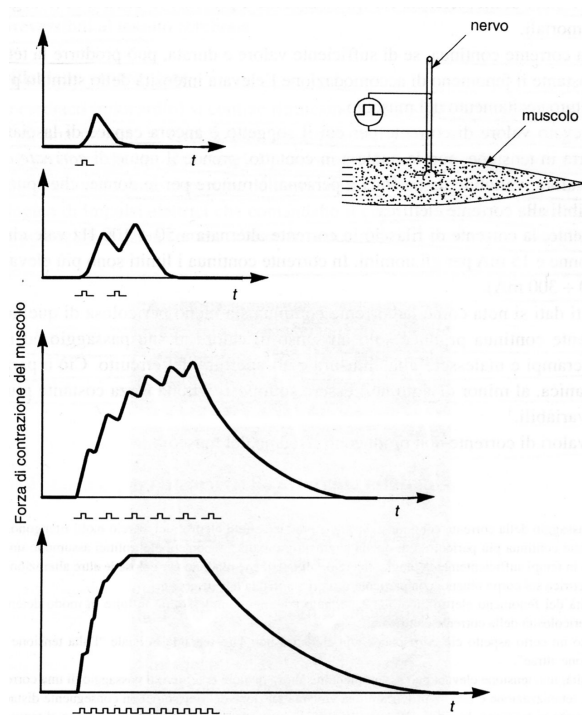


Gli effetti più frequenti e più importanti che la corrente elettrica produce sul corpo umano sono fondamentalmente:

- ✓ Tetanizzazione
- ✓ Arresto della respirazione
- ✓ Fibrillazione ventricolare
- ✓ Ustioni

Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano

TETANIZZAZIONE



Se lo stimolo ha intensità e durata appropriate, produce un potenziale d'azione che si propaga l'ungo la fibra nervosa fino al muscolo. Sotto l'azione dello stimolo il muscolo si contrae per poi ritornare allo stato di riposo.

Se al primo stimolo se ne segue un secondo, dopo il periodo refrattario, ma prima che il muscolo sia tornato allo stato di riposo, i due effetti possono sommarsi.

Più stimoli opportunamente intervallati contraggono ripetutamente il muscolo in modo progressivo (**Contrazione tetanica**).

Se la frequenza supera un certo limite si ha la contrazione totale del muscolo che dura fin che non cessano gli stimoli, dopo torna lentamente allo stato di riposo.

Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano

TETANIZZAZIONE

Quando il corpo umano è attraversato da una corrente alternata, subisce l'effetto della contrazione totale del muscolo, l'infortunato, quindi, può rimanere appiccicato alla parte in tensione. Il contatto prolungato nel tempo, può produrre **asfissia, collasso e stato d'incoscienza**.

Anche la corrente continua, se di valore e durata sufficiente, può produrre la tetanizzazione; nonostante il fenomeno di accomodazione l'elevata intensità dello stimolo può produrre il ripetuto eccitamento del muscolo.

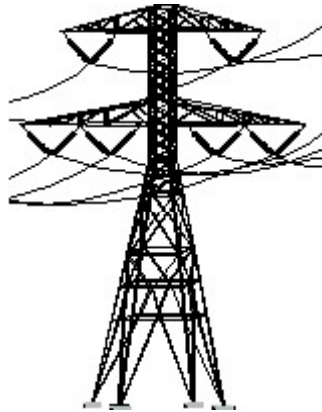
Il più elevato valore di corrente per cui il soggetto è ancora in grado di lasciare la presa della parte in tensione, con la quale è in contatto, prende il nome di **corrente di rilascio**. Questo valore è variabile da persona a persona, è minore per le donne, che sono in genere più sensibili alla corrente elettrica.

Mediamente la corrente di rilascio **in corrente alternata a 50 – 100 Hz vale circa 10 mA per le donne e 15 mA per gli uomini** (in corrente continua i valori sono più alti e imprecisi (100 – 300 mA)

Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo

umano

TETANIZZAZIONE



La tetanizzazione è presente in circa il 10% degli infortuni elettrici mortali

Elevati valori di corrente non producono la tetanizzazione del muscolo.

Detto: “L’alta tensione respinge la bassa tensione attrae”

In realtà, una tensione elevata può essere meno insidiosa qualora determini il passaggio di una corrente superiore ai livelli di tetanizzazione e tale da provocare una violenta reazione del muscolo, con conseguenza del distacco della persona dalla parte in tensione.

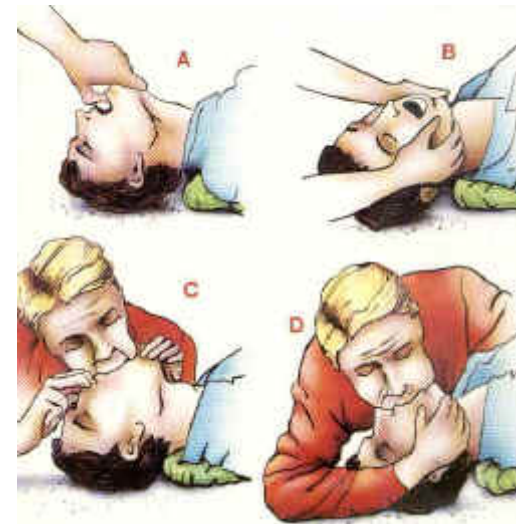
Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano

ARRESTO DELLA RESPIRAZIONE

Una complicanza dovuta alla tetanizzazione è la paralisi dei centri nervosi che controllano la respirazione. Se la corrente elettrica attraversa i muscoli che controllano il movimento dei polmoni, la contrazione involontaria di questi muscoli altera il normale funzionamento del sistema respiratorio e il soggetto può morire soffocato o subire le conseguenze di traumi dovuti all'asfissia.

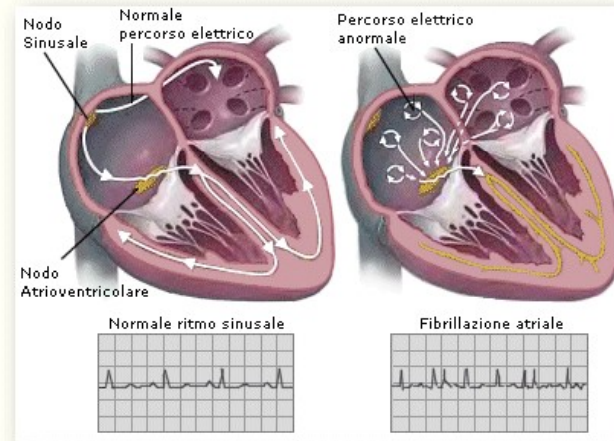
Come agire:

In questi casi il fenomeno è reversibile solo se si provvede con prontezza, anche con l'ausilio della respirazione artificiale, al soccorso dell'infortunato per evitare danni al tessuto cerebrale.



Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano

FIBRILLAZIONE VENTRICOLARE



Il muscolo cardiaco si contrae ritmicamente 60 – 100 volte al minuto (circa 1 Hz). La contrazione delle fibre muscolari è prodotta dal **nodo senoatriale**. Questo è un vero e proprio generatore biologico di impulsi elettrici che comandano il cuore.

L'impulso raggiunge il **nodo atrioventricolare**, dal quale si diparte il **fascio di His** che conduce lo stimolo alle fibre muscolari dei ventricoli (**fibrille**); queste si contraggono e producono così la sistole ventricolare che spinge il sangue nel sistema arterioso.

Nell'attività elettrica normale il muscolo cardiaco ha un pulsare ordinato, quando sopraggiunge l'azione perturbante della corrente le fibrille vengono stimulate in maniera caotica, quindi, cominciano a contrarsi in maniera disordinata, l'una indipendente dall'altra; ecco che subentra la **fibrillazione**.

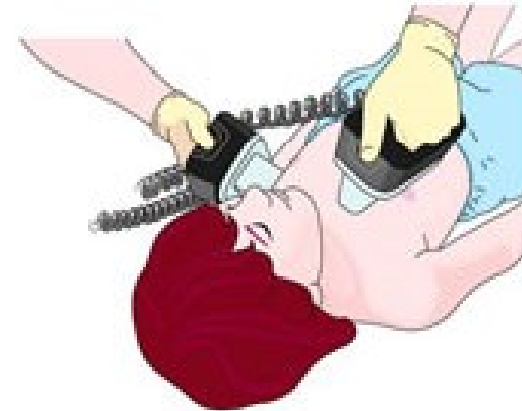
Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano

FIBRILLAZIONE VENTRICOLARE

Il fenomeno della fibrillazione ventricolare è responsabile di oltre il 90% delle morti per folgorazione.

Come agire:

Il tempo in questi casi gioca un ruolo importante: Cessata l'attività cardiaca entro **3 minuti** intervengono lesioni irreparabili al muscolo cardiaco e al tessuto celebrale.



Nella maggioranza dei casi in tale breve intervallo di tempo è praticamente impossibile portare l'infortunato in ospedale attrezzato.

Si può prolungare l'intervallo di tempo utile con **massaggio cardiaco** e la **respirazione bocca- bocca**

Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo umano

FIBRILLAZIONE VENTRICOLARE

<i>Percorso</i>	<i>Fattore di percorso (F)</i>
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 - dorso	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 - dorso	0,3
Mano destra - torace	1,3
Regione glutea verso mano destra o sinistra o entrambe le mani	0,7

Ogni individuo reagisce in modo diverso al passaggio della corrente per cui la quantità di corrente necessaria ad innescare la fibrillazione può variare da caso a caso; nonostante questo, il percorso seguito dalla corrente ha una grande influenza sulla probabilità d'innescamento.

Per questo motivo è stato definito un **“fattore di percorso”** che indica la pericolosità dei diversi percorsi seguiti dalla corrente considerando come riferimento il percorso mano sinistra-piedi.

Il percorso più pericoloso è quello mano sinistra - torace

Effetti fisiologici della corrente elettrica sul corpo

umano

USTIONE

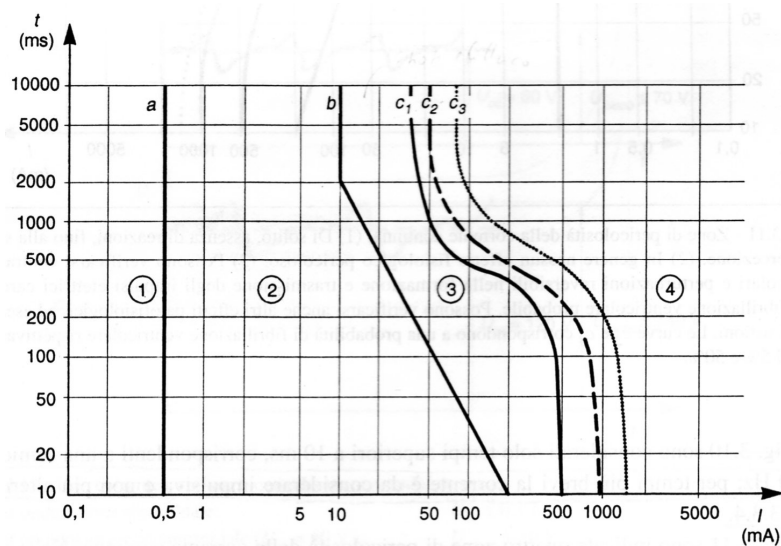


Sono prodotte dal calore che si sviluppa per effetto Joule dalla corrente elettrica che fluisce attraverso il corpo (per esempio, se attraverso la pelle si innesca un flusso di corrente la cui densità è di circa 60 milliampere al mm^2 , questa verrà carbonizzata in pochi secondi).

Il marchio elettrico è presente nel 25% degli infortuni mortali a bassa tensione e nel'89% in alta tensione.

Limiti di pericolosità della corrente elettrica

PERICOLOSITÀ DELLA CORRENTE IN FUNZIONE DEL TEMPO



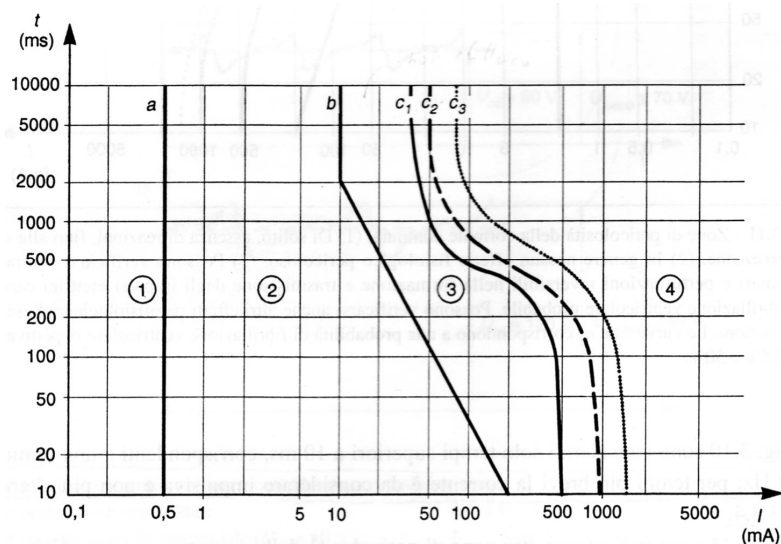
I limiti convenzionali di pericolosità della corrente elettrica sia alternata che continua, in funzione del tempo sono stati riassunti in un grafico tempo-corrente (dati IEC).

Zona 1 - si è sotto la soglia di percezione

Zona 2 - non si hanno in genere effetti fisiologici pericolosi

Limiti di pericolosità della corrente elettrica

PERICOLOSITÀ DELLA CORRENTE IN FUNZIONE DEL TEMPO



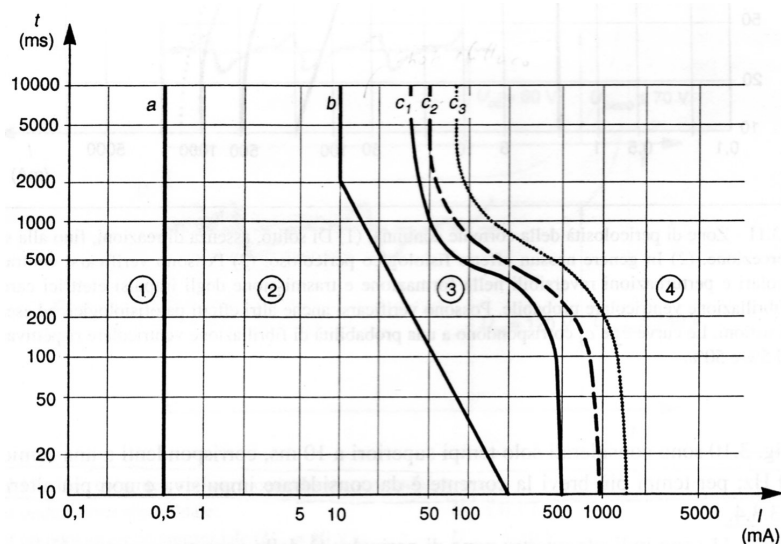
Zona 3 - si possono verificarsi effetti patofisiologici quasi sempre reversibili quali:

- contrazioni muscolari
- difficoltà della respirazione
- aumento della pressione sanguigna
- fibrillazione atriale
- arresto cardiaco
- Non si presenta la fibrillazione ventricolare

Zona 4 – è probabile l'insorgenza della fibrillazione ventricolare. Gli effetti che si possono produrre sono: Arresto del cuore, arresto della respirazione, gravi ustioni.

Limiti di pericolosità della corrente elettrica

PERICOLOSITÀ DELLA CORRENTE IN FUNZIONE DEL TEMPO



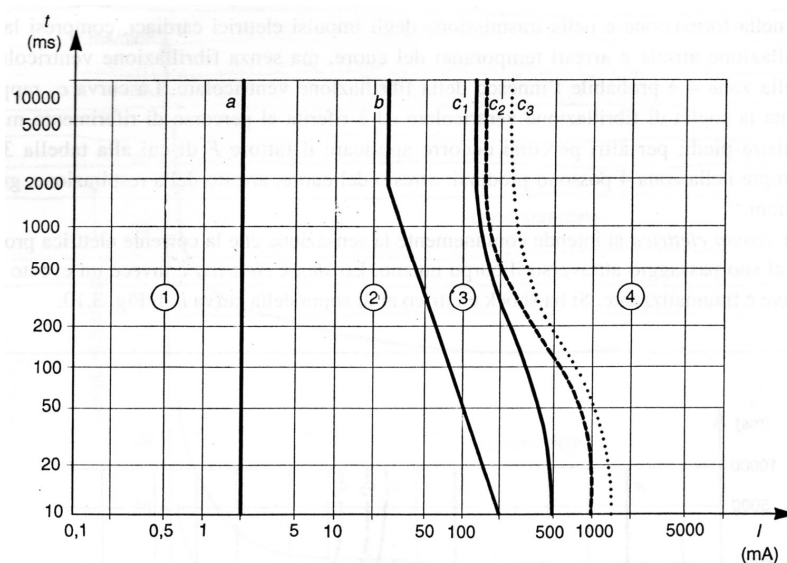
La curva C1 rappresenta la soglia di fibrillazione ventricolare ed è riferita al percorso di riferimento mano sinistra – piedi.

Per altri percorsi occorre applicare il fattore di percorso F

La curva C1 rappresenta la soglia di fibrillazione ventricolare, le curve C2 e C3 corrispondono a una probabilità di fibrillazione ventricolare rispettivamente del 5% e del 50%

Limiti di pericolosità della corrente elettrica

PERICOLOSITÀ DELLA CORRENTE IN FUNZIONE DEL TEMPO

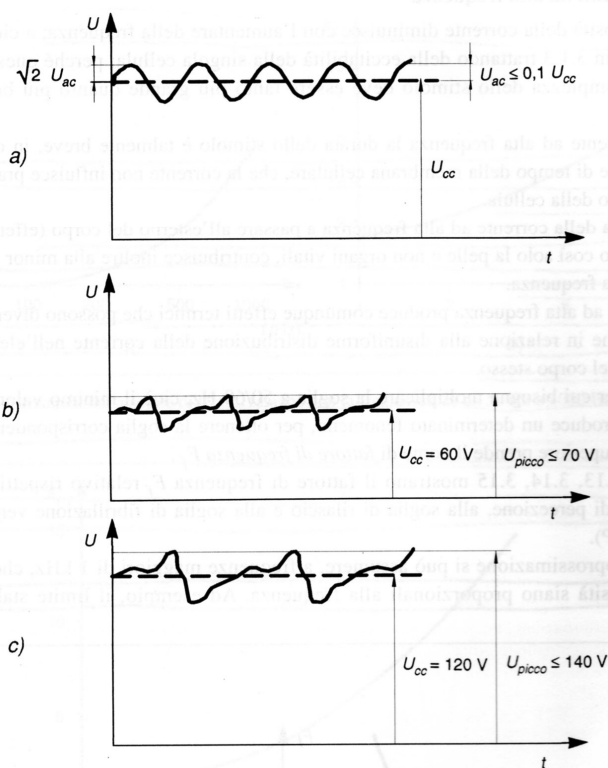


In **corrente continua** valgono le stesse regole che in corrente alternata solo che i valori di corrente sono più alti.

La curva C1 indica la soglia di fibrillazione ventricolare e si riferisce a correnti ascendenti, cioè diretti dai piedi verso la testa. Le correnti discendenti sono meno pericolose e i valori di corrente della curva C1 devono essere raddoppiati

Limiti di pericolosità della corrente elettrica

PERICOLOSITÀ DELLA CORRENTE IN FUNZIONE DEL TEMPO



Ai fini della pericolosità si ritiene continua una corrente con una ondulazione sinusoidale di valore efficace inferiore al 10% della componente continua.

Se l'ondulazione non è sinusoidale è sufficiente che il valore di picco non superi 70V o 140V, rispetto ad una tensione continua di valore nominale 60V o 120V

Limiti di pericolosità della corrente elettrica

CORRENTI AD ALTA FREQUENZA

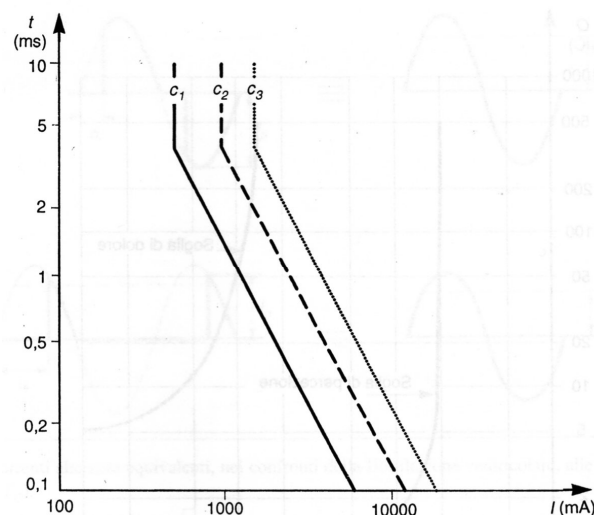


- La pericolosità della corrente diminuisce all'aumentare della frequenza.
- In una corrente ad alta frequenza la durata dello stimolo è talmente breve, in confronto alla costante di tempo della cellula, che la corrente non influisce praticamente sullo stato della cellula.
- La tendenza della corrente ad alta frequenza di passare all'esterno del corpo (effetto pelle), interessando così solo la pelle e non organi vitali contribuisce alla minor pericolosità dell'alta frequenza.

La corrente ad alta frequenza produce effetti termici che possono diventare pericolosi, anche in relazione della disuniforme distribuzione della corrente nell'elettrodo di contatto e nel corpo stesso.

Limiti di pericolosità della corrente elettrica

CORRENTI IMPULSIVE



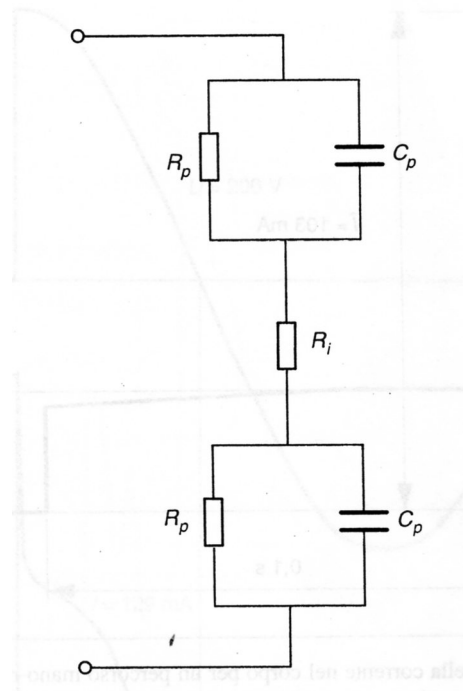
Ai fini della pericolosità, si intendono impulsive le correnti che fluiscono attraverso il corpo umano per un tempo inferiore a 10 ms

I risultati sperimentali per impulsi di durata compresa tra 0.1 e 10 ms indicano che:

- ✓ La soglia di percezione e la soglia di dolore dipendono dalla carica elettrica
- ✓ La soglia di fibrillazione ventricolare dipende dal percorso, dalla forma d'onda, dal valore di picco della corrente e dall'istante di applicazione in relazione alla fase del ciclo cardiaco

La maggiore probabilità di fibrillazione ventricolare si hanno se l'impulso va ad interessare il periodo vulnerabile del cuore dove le fibrille si stanno organizzando per dare l'impulso al cuore.

Resistenza elettrica del corpo umano



Spesso più che alle correnti pericolose, ci si riferisce alle tensioni pericolose. Le une e le altre sono legate, tramite la legge di Ohm, alla resistenza del corpo umano.

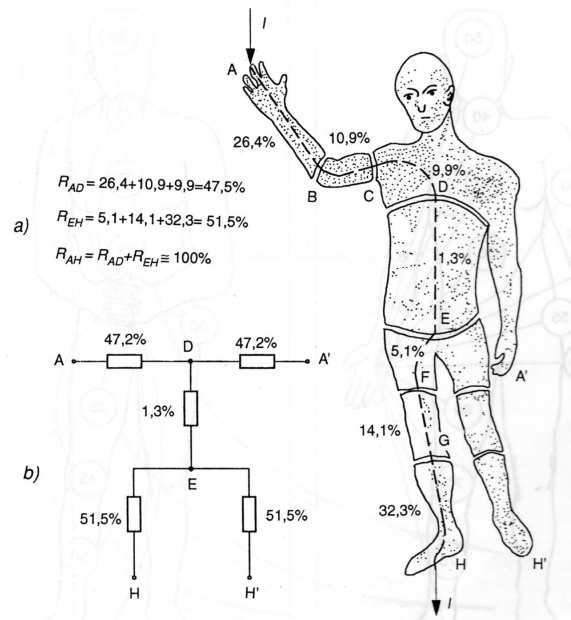
Il corpo umano corrisponde ad una impedenza capacitiva

Le capacità C_p e le resistenze R_p rappresentano i punti d'ingresso e d'uscita della corrente elettrica. La pelle infatti presenta un'isolante che si interpone tra l'elettrodo ed il tessuto conduttore sottostante. La resistenza R_p è dovuta soprattutto ai pori della pelle.

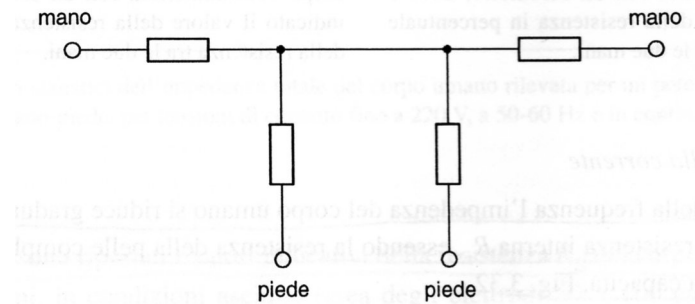
Alla frequenza di 50Hz è lecito trascurare le piccole capacità della pelle e si parla principalmente di resistenza del corpo umano R_b (body)

Resistenza elettrica del corpo umano

LE VARIABILI

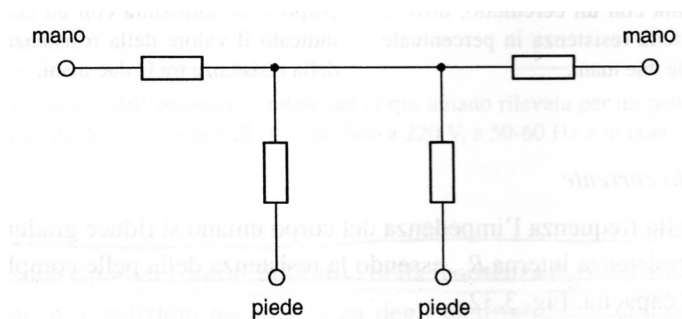


La resistenza del corpo umano è concentrata soprattutto negli arti, superiori ed inferiori, di sezione ridotta e costituita da muscoli e da ossa. Il tronco di grossa sezione e piena soprattutto d'acqua, presenta invece una resistenza trascurabile.



Resistenza elettrica del corpo umano

LE VARIABILI



La resistenza del corpo umano è una grandezza variabile e dipende principalmente da:

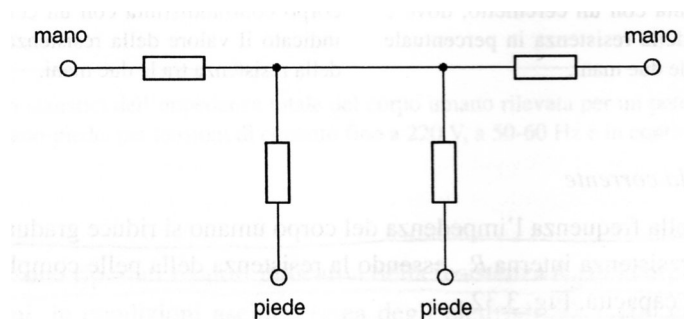
✓ **Tensione di contatto:** La resistenza diminuisce all'aumentare della tensione applicata al corpo umano

✓ **Stato della pelle:**

- **L'umidità** diminuisce la resistenza della pelle.
- **Il sudore**, soluzione salina, peggiora ancor più la situazione, diminuendo la resistenza anche fino a metà di quella corrispondente a condizioni asciutte.
- **Tagli, ferite o contusioni**, la resistenza cade a valori molto bassi
- **Calli, indurimento della pelle**, la resistenza aumenta

Resistenza elettrica del corpo umano

LE VARIABILI

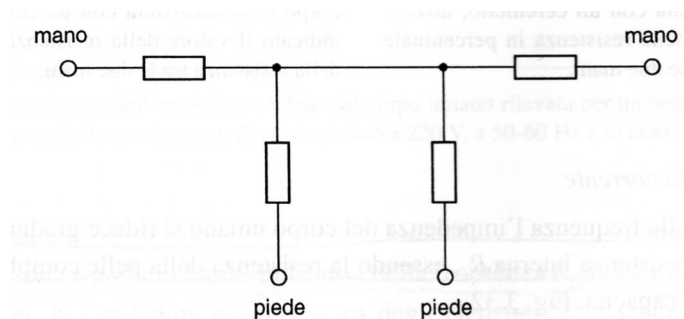


✓ **Superficie di contatto:** all'aumentare della superficie di contatto diminuisce la resistenza della pelle. Ciò accade, ad esempio, alla persona che operi distesi all'interno di una caldaia o di una tubazione.

✓ **Pressione di contatto:** ad una maggiore pressione di contatto corrisponde una minore resistenza. È il caso degli apparecchi portatili, saldamente sorretti e guidati durante l'uso dell'operatore (es. saldatori, levigatori, trapani...). I muscoli della mano contratti nello sforzo sono inoltre più esposti al pericolo di tetanizzazione.

Resistenza elettrica del corpo umano

LE VARIABILI



✓ **Durata del contatto:** Con il prolungarsi del contatto, diminuisce la resistenza della pelle; ma se il calore sviluppato è tale da carbonizzare la pelle, la resistenza aumenta notevolmente.

✓ **Frequenza della corrente:** all'aumentare della frequenza l'impedenza del corpo umano diminuisce gradualmente fino a ridursi alla sola resistenza interna. Questo è dovuto al fatto che ad alta frequenza la capacità della pelle cortocircuita la resistenza in parallelo.

Resistenza elettrica del corpo umano

I VALORI

<i>Tensione</i> (V)	<i>Valori di R_B che non sono sorpassati dal</i>		
	<i>5%</i>	<i>50%</i>	<i>95%</i>
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
Valore asintotico	650	750	850

Nella tabella sono riportati i valori indicativi della resistenza R_B del corpo umano misurata tra due mani, in condizioni asciutte, in funzione delle tensioni applicata.

I valori si riferiscono a tre diversi livelli di probabilità che i valori indicati non siano sorpassati dal 5%, 50% o 95% della popolazione

Resistenza elettrica del corpo umano

PERICOLOSITÀ DEL PERCORSO

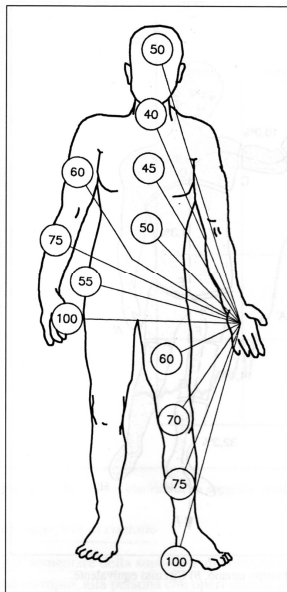


Fig. 3.28 - Tragitto tra una mano e la parte del corpo contraddistinta con un cerchietto, dove è indicato il valore della resistenza in percentuale della resistenza tra le due mani.

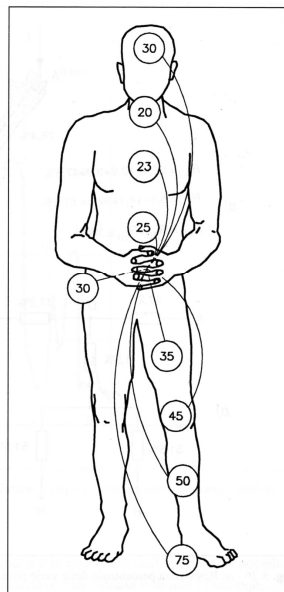


Fig. 3.29 - Tragitto tra due mani e la parte del corpo contraddistinta con un cerchietto, dove è indicato il valore della resistenza in percentuale della resistenza tra le due mani.

Lo stesso valore di tensione applicata a punti diversi del corpo umano produce valori di correnti diverse, perché a punti diversi corrispondono valori diversi di resistenza.

Quanto più piccola è la resistenza tanto maggiore è la corrente che passa, inoltre tanto maggiore è il fattore di percorso tanto maggiore è la probabilità di fibrillazione ventricolare. Ne consegue che il percorso più pericoloso è quello corrispondente al valore massimo del rapporto:

$$\frac{F}{R_B}$$

I percorsi più pericolosi sono nell'ordine: Mani – torace, mano sinistra – torace, mano destra – torace e mani - piedi

Il percorso meno pericoloso è il percorso mano –mano