

# **Corrente elettrica e corpo umano**

1/68

## **Brevi richiami di elettrofisiologia**

1790 Luigi Galvani effettuò esperimenti sulla contrazione del muscolo di rana per mezzo di un bimetallo: concluse che si trattava di “elettricità animale” che si scaricava attraverso il bimetallo.

Alessandro Volta diede al fenomeno una interpretazione fisica più completa.

2/68

Galvani associò l'attività elettrica a quella biologica.



Elettrofisiologia  
in medicina

Volta considerò la rana un semplice conduttore elettrolitico che chiudeva il circuito tra due metalli di natura diversa.



Pila  
in elettrotecnica

3/68

Le variazioni di potenziale prodotte dall'attività biologica, registrate all'esterno del corpo, sono indicative del funzionamento normale o anormale di determinati organi:

cuore	⇒	elettrocardiogramma
muscoli	⇒	elettromiogramma
cervello	⇒	elettroencefalogramma
occhio	⇒	retinogramma

4/68

## Il potenziale di riposo

Il corpo umano può essere definito un sacco d'acqua pieno di ioni: cellule e liquido interstiziale che le separa.

Gli ioni ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ , ecc) si muovono secondo il gradiente di minor concentrazione (diffusione).

Ciascuno di essi è soggetto al campo elettrico generato dagli altri ioni.

La membrana cellulare presenta una permeabilità agli ioni di tipo selettivo: più permeabile agli ioni  $K^+$ , che non agli ioni  $Na^+$ .

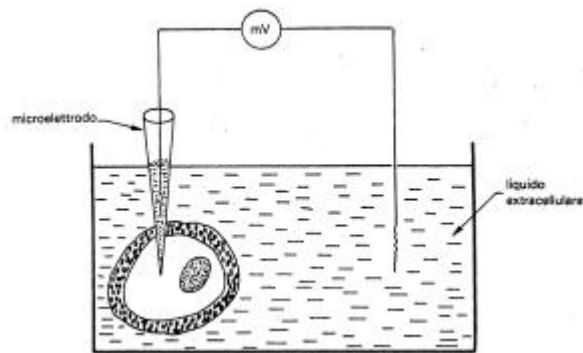
5/68

Un particolare meccanismo biologico trasporta gli ioni potassio entro la cellula e contemporaneamente espelle gli ioni sodio.

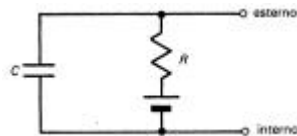
Questa azione di pompaggio bio-chimico avviene a spese dell'energia dell'organismo (pompa metabolica).

L'insieme di questi ed altri fenomeni fa sì che la cellula presenti un potenziale negativo all'interno rispetto all'esterno (potenziale di riposo).

6/68



La membrana si comporta come una capacità ( $1 \div 10 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ ).  
 La resistenza indica la membrana non perfettamente isolante  
 e la pila corrisponde al potenziale di riposo.



7/68

### Il potenziale d'azione

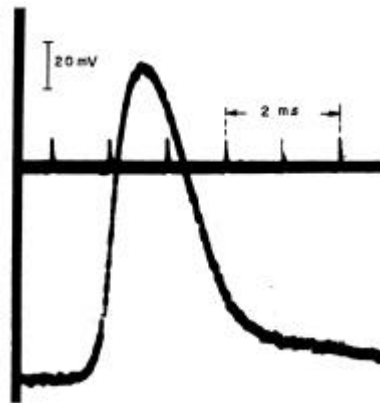
Se si applica un impulso di corrente di polarità inversa



impulso depolarizzante

di durata ed ampiezza adeguati, il potenziale della cellula da negativo diviene positivo per poi tornare al valore negativo.

8/68



L'andamento del potenziale è la registrazione dello stato di eccitamento della cellula e prende il nome di:



potenziale d'azione

9/68

Lo stimolo, rappresentato dall'impulso elettrico, aumenta di 500 ÷ 1000 volte la permeabilità della membrana agli ioni sodio.

L'ingresso di questi ioni positivi depolarizza la cellula: annulla la differenza di potenziale tra interno ed esterno, fino ad invertire la polarità.

Lo stimolo eccita la cellula solo se ha una intensità sufficiente in relazione al tempo per cui permane.

10/68

L'intensità minima  $I$  dell'impulso di durata  $t$  capace di produrre l'eccitamento è data dall'espressione:

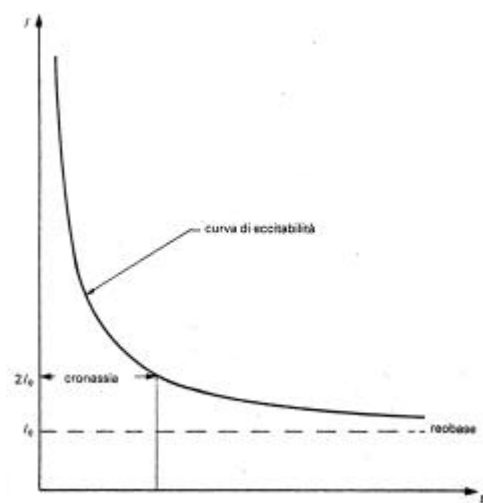
$$I = \frac{I_0}{1 - e^{-t/H}}$$

ove  $I_0$  ed  $H$  sono costanti tipiche della cellula.

11/68

Curva di eccitabilità della cellula:  $I = I(t)$

$$I = \frac{I_0}{1 - e^{-t/H}}$$



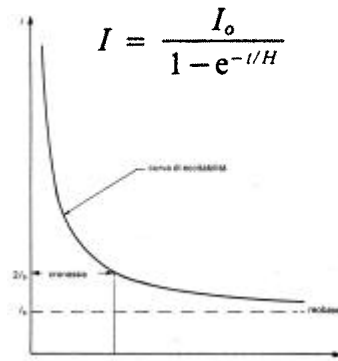
12/68

$I_0$  rappresenta la minima intensità dello stimolo capace di produrre l'eccitamento se applicato per un tempo indefinito:



reobase

Per la costruzione della curva, è necessario individuare H.

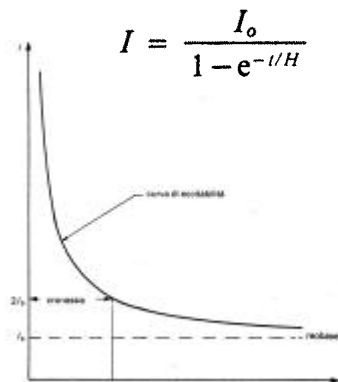


13/68

Si fa riferimento al tempo minimo per cui deve essere applicato uno stimolo di ampiezza  $2I_0$  per produrre l'eccitamento:



cronassia

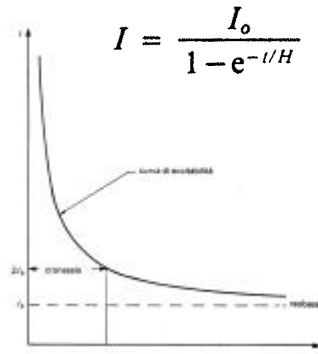


14/68

La curva di eccitabilità corrisponde ad una iperbole equilatera:



è sensibile, in prima approssimazione, alla quantità di carica elettrica  $It$  scambiata tra interno ed esterno della cellula stessa.



Se l'impulso, per durata ed intensità, cade al di sopra della curva, si innesca il potenziale d'azione.

15/68

L'ampiezza del potenziale d'azione non è proporzionale alla intensità dello stimolo, ma risponde alla legge del tutto o nulla:



La cellula passa da uno stato di quiete 0 ad uno stato di eccitamento:



Comportamento binario della cellula nervosa.

16/68



La curva di eccitabilità si riferisce a stimoli sufficientemente distanziati nel tempo;

se gli stimoli sono ravvicinati nel tempo, la cellula non risponde a tutti gli stimoli o risponde solo parzialmente.

L'intervallo di tempo susseguente all'inizio dell'eccitamento cellulare, durante il quale uno stimolo successivo non produce l'eccitamento, qualunque sia l'intensità, si chiama:



periodo di refrattarietà assoluta

17/68

L'intervallo di tempo, che segue il periodo di refrattarietà assoluta, in cui uno stimolo può produrre nuovamente l'eccitamento della cellula, ma secondo una curva di eccitabilità superiore a quella già vista:



periodo di refrattarietà relativa

L'intervallo di tempo che deve trascorrere, da uno o più stimoli, affinché la cellula risponda nuovamente secondo la curva nota, è uguale alla somma del periodo refrattario assoluto e quello relativo, e viene definito:



periodo refrattario

18/68

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.

19/68

Il sistema nervoso dell'uomo è costituito da alcune decine di miliardi di unità funzionali unicellulari, detti neuroni.

Il neurone è dotato di un lungo prolungamento (assone) ed ha, come compito fondamentale, la trasmissione di segnali.

Esso si mette in contatto con altri neuroni, con fibre muscolari, con ghiandole, ecc., attraverso contatti specializzati (sinapsi).

I segnali vengono trasmessi tramite la propagazione del potenziale d'azione lungo l'assone.

Tramite questa particolare attività elettrica il sistema nervoso controlla la contrazione e l'estensione di un muscolo, il battito del cuore, la respirazione ecc.

20/68

## La soglia di sensibilità

L'attività biologica si accompagna ad una attività elettrica:



correnti elettriche esterne, sommandosi alle piccole correnti fisiologiche interne, possono alterare le funzioni vitali dell'organismo, fino a provocare effetti letali.

21/68

La curva di eccitabilità della singola cellula contiene già i presupposti della curva di pericolosità corrente-tempo per l'intero corpo umano che, come si vedrà in seguito, non si discosta molto da una iperbole equilatera.

Una corrente ad alta frequenza è meno pericolosa di una corrente a bassa frequenza.

Una corrente alternata va vista come un susseguirsi di singoli impulsi (stimoli) di durata:

$$\frac{1}{2f}$$

al crescere della frequenza  $f$  aumenta l'intensità dello stimolo necessario per produrre l'eccitamento.


22/68

Elettrobisturi: correnti elevate, a frequenza di alcuni MHz, non provocano folgorazione.

Il minimo valore di corrente che provoca una sensazione è di circa 45  $\mu$ A (elettrodi poggiati sulla lingua ad 1 cm).

Tale valore è detto soglia di sensibilità (percezione).

Parti del corpo meno sensibili sono:

polpastrelli delle dita:  0,5 mA (valore efficace) in corrente alternate a 50 ÷ 100 Hz e 2 mA in c.c.

23/68

Effetti fisiopatologici della corrente elettrica sul corpo umano

La corrente elettrica che attraversa il corpo umano produce una azione diretta sui vasi sanguigni, sul sangue, sulle cellule nervose (stato di shock).

Può determinare alterazioni permanenti:

- nel sistema cardiaco: (aritmie, lesioni al miocardio, alterazioni permanenti di conduzione);
- nell'attività celebrale: (modificazione dell'elettroencefalogramma).

24/68

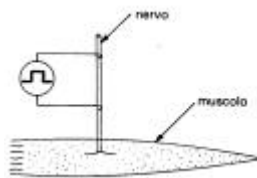
Gli effetti più frequenti ed importanti che la corrente elettrica produce sul corpo umano sono fondamentalmente quattro:

- ➡ tetanizzazione
- ➡ arresto della respirazione
- ➡ fibrillazione ventricolare
- ➡ ustioni

25/68

### Tetanizzazione

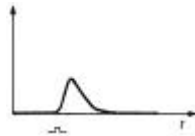
Lo stimolo elettrico è applicato ad una fibra nervosa.



Se lo stimolo ha intensità e durata appropriate, produce un potenziale d'azione che si propaga lungo la fibra nervosa fino al muscolo.

26/68

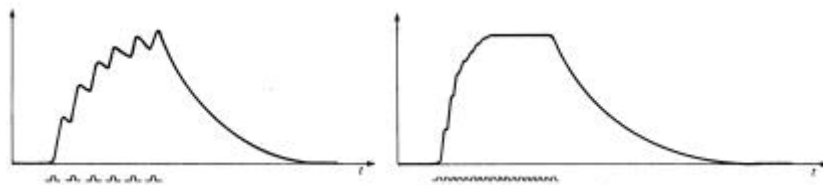
Sotto l'azione dello stimolo il muscolo si contrae, per poi ritornare allo stato di riposo:



Se al primo stimolo 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:

27/68



contrazione tetanica

tetano fuso

Se la frequenza degli stimoli sorpassa un certo limite gli effetti si fondono (tetano fuso) ed il muscolo è portato alla contrazione completa; in questa posizione permane finché non cessano gli stimoli, successivamente ritorna lentamente allo stato di riposo.

Le conseguenze sul corpo umano sono: svenimenti, asfissia, collasso, e stato di incoscienza.

28/68

Il più elevato valore di corrente per cui il soggetto è ancora capace di lasciare la presa è definita:



Corrente di rilascio

In corrente alternata 50 ÷ 100 Hz tale valore è mediamente uguale a:

10 mA c.a.            donne e bambini

15 mA c.a.            uomini

In corrente continua i valori sono più elevati ed imprecisi:  
~100 ÷ 300 mA

29/68

### Arresto della respirazione

Correnti superiori ai limiti indicati per la corrente di rilascio producono nell'infortunato difficoltà di respirazione e segni di asfissia.

Il passaggio di corrente determina una contrazione dei muscoli addetti alla respirazione o una paralisi dei centri nervosi che sovrintendono alla funzione respiratoria.

Se la corrente perdura, l'infortunato perde conoscenza e può morire soffocato.

E' necessario intervenire entro 3 ÷ 4 minuti per evitare l'asfissia o lesioni cerebrali (per es. con respirazione bocca a bocca).

30/68

## Fibrillazione ventricolare

Il muscolo cardiaco (miocardio) si contrae ritmicamente 60 ÷ 100 volte al minuto.

La contrazione delle fibre muscolari è prodotta da impulsi elettrici provenienti da un particolare centro:



nodo senoatriale

posto nella parte superiore dell'atrio destro.

31/68

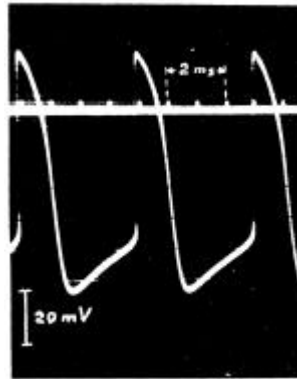


Il nodo senoatriale è un vero e proprio generatore biologico di impulsi elettrici che comandano il cuore.

32/68



Registrazione, mediante oscilloscopio, dei potenziali di azione emessi dal nodo senoatriale nel cuore di un coniglio.



33/68



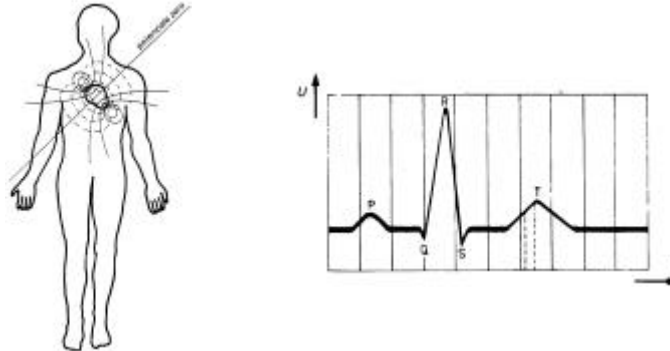
Tramite il tessuto specifico di conduzione (fascio di His) gli impulsi di comando provenienti dal nodo senoatriale vengono trasmessi al muscolo cardiaco.

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 ultime si contraggono e producono così la sistole ventricolare che spinge il sangue nel sistema arterioso.

34/68

All'attività del cuore corrisponde il campo elettrico:



Con un millivoltmetro si può misurare direttamente la differenza di potenziale che si stabilisce tra parti diverse del corpo durante il ciclo cardiaco:  $U = U(t)$  [elettrocardiogramma].

35/68

Il generatore biologico d'impulsi, può essere sostituito da un generatore artificiale: il pacemaker.

Nel cuore vengono generate e circolano correnti del tipo di quelle che percorrono un comune circuito elettrico.

Se alle normali correnti elettriche fisiologiche si sovrappone una corrente elettrica, di origine esterna, enormemente più grande, si determina un consistente disturbo all'equilibrio elettrico del corpo.

Gli impulsi elettrici generati dai centri nervosi costituiscono ordini trasmessi ai muscoli.

Se le fibrille del ventricolo ricevono segnali elettrici eccessivi ed irregolari, vengono sovrastimate in maniera caotica ed iniziano a contrarsi in modo disordinato: fibrillazione ventricolare (morti per folgorazione).

36/68

Una scarica elettrica violenta, opportunamente dosata, può arrestare un processo di fibrillazione (defibrillatore).

Non è possibile quantificare il valore delle minime correnti capaci di innescare la fibrillazione, in relazione al tempo per il quale fluiscono attraverso il corpo umano:

- a) impossibilità di sperimentare;
- b) la corrente responsabile della fibrillazione è solo una parte della corrente totale (misurabile) che attraversa tutto il corpo: inoltre è definito il fattore di percorso (F).

37/68

Preso come riferimento il percorso: mano sinistra – piedi;

- $I_{rif}$  valore di corrente che secondo il percorso di riferimento ha un determinato grado di probabilità di innescare la fibrillazione;
- $I$  valore di corrente che secondo il percorso che si considera ha lo stesso grado di probabilità di innescare la fibrillazione.

$$F = \frac{I_{rif}}{I}$$

38/68

Fattori di percorso per alcuni percorsi tipici della corrente

Percorso	Fattore di percorso (F)
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

Il percorso più pericoloso nei confronti della fibrillazione ventricolare è quello mano sinistra-torace.

Una corrente continua, diretta dalla testa verso i piedi ha la stessa probabilità di innescare la fibrillazione ventricolare di una corrente di metà valore diretta nel verso opposto.

39/68

- c) Nel ciclo cardiaco esiste un periodo detto vulnerabile: esso corrisponde alla fine del periodo di refrattarietà delle fibrille ventricolari; le fibrille non più pilotate dallo stimolo naturale sono più sensibili agli stimoli esterni.
- d) Correnti di durata maggiore del ciclo cardiaco ( $0,5 \div 1$  s) sono molto più pericolose di quelle di durata inferiore: nei primi cicli produce una contrazione (extrasistole) e questo facilita l'innescio della fibrillazione nei cicli successivi.
- e) Elevati valori di corrente non provocano in genere la fibrillazione: possono determinare l'arresto del cuore o indurre alterazioni organiche permanenti nel sistema cardiaco.

40/68

## Ustioni

Il passaggio di corrente elettrica su una resistenza è accompagnato da sviluppo di calore per effetto Joule.

Si consideri un volume di tessuto biologico omogeneo di sezione costante  $S$ , lunghezza  $l$  e resistività  $\rho$ , attraversato da una corrente  $I$  per un tempo  $\Delta t$ .

Si supponga il fenomeno adiabatico, trascurabili le perdite dielettriche e le variazioni della resistività  $\rho$  con la temperatura, il bilancio termico vale:

$$c S l \Delta \vartheta = \rho \frac{l}{S} I^2 \Delta t \quad \Rightarrow \quad \Delta \vartheta = \frac{\rho}{c} \left( \frac{I}{S} \right)^2 \Delta t$$

$c$  = calore specifico medio riferito all'unità di volume

41/68

Le ustioni peggiori si hanno sulla pelle (marchio elettrico):

- a) questa presenta una resistività più grande dei tessuti interni;
- b) la densità di corrente è maggiore nei punti di entrata e di uscita della corrente:
  - densità alcuni milliampere al millimetro quadrato che perdurano per tempi dell'ordine del secondo possono determinare  
ustioni
  - densità  $\sim 50$  mA/mm<sup>2</sup> in pochi secondi provocano carbonizzazione della pelle.

42/68

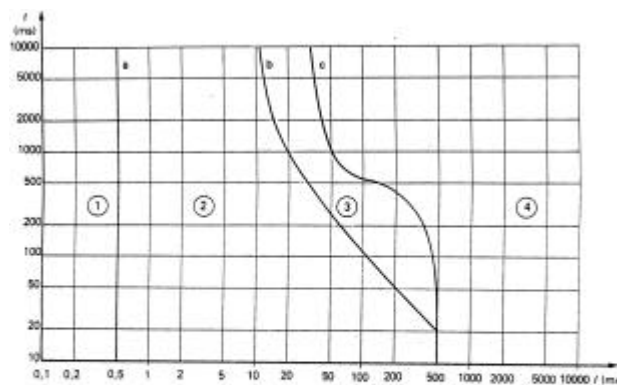
Quando le ustioni sono estese la morte sopravviene spesso per insufficienza renale.

Il marchio elettrico è spesso utilizzato per l'obiettivazione medico-legale dell'elettrocuzione.

Può essere evidenziato, e distinto da lesioni puramente termiche, attraverso le modificazioni caratteristiche che il passaggio di corrente produce nella struttura microscopica dei tessuti.

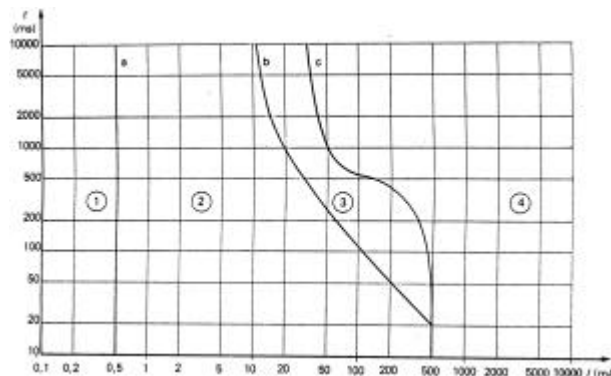
43/68

### Pericolosità della corrente in funzione del tempo



Zone di pericolosità della corrente elettrica alternata (15 + 100 Hz). (1) Di solito, assenza di reazioni, fino alla soglia di percezione (dita della mano). (2) In genere nessun effetto fisiologico pericoloso, fino alla soglia di tetanizzazione. (3) Possono verificarsi effetti patofisiologici, in genere reversibili, che aumentano con l'intensità della corrente e con il tempo, quali: contrazioni muscolari, difficoltà di respirazione, aumento della pressione sanguigna, disturbi nella formazione e trasmissione degli impulsi elettrici cardiaci, compresi la fibrillazione atriale e arresti temporanei del cuore ma senza fibrillazione ventricolare. (4) Probabile fibrillazione ventricolare, arresto del cuore, arresto della respirazione, gravi bruciature.

44/68

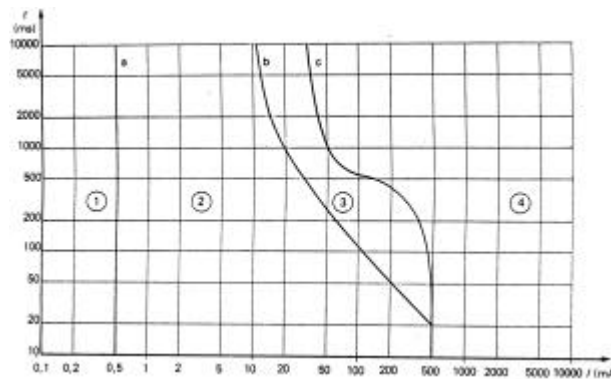


La curva c è riferita al percorso di riferimento mano sinistra-piedi; per altri percorsi occorre applicare il fattore F.

La curva b corrisponde all'equazione:  $I = 10 + 10/t$

10 mA = limite di rilascio (per le donne) e indica il massimo valore di corrente che si può sopportare per un tempo infinito.

45/68

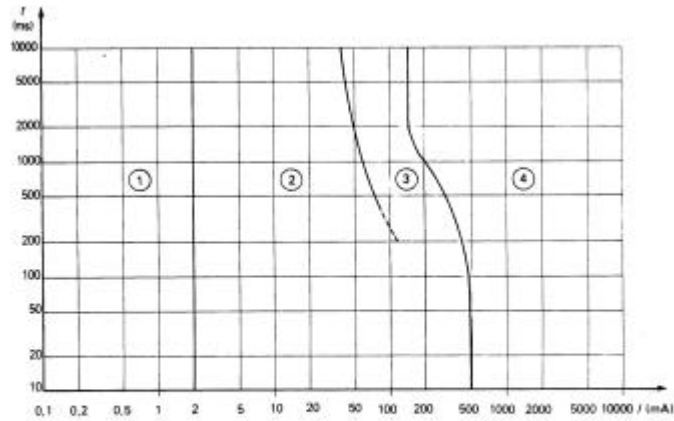


La curva b si adatta bene alla curva di eccitabilità della singola cellula.

Sono considerati tempi superiori a 10 ms, corrispondenti ad una semionda a 50 Hz; per tempi più brevi la corrente è da considerare impulsiva e non più alternata.

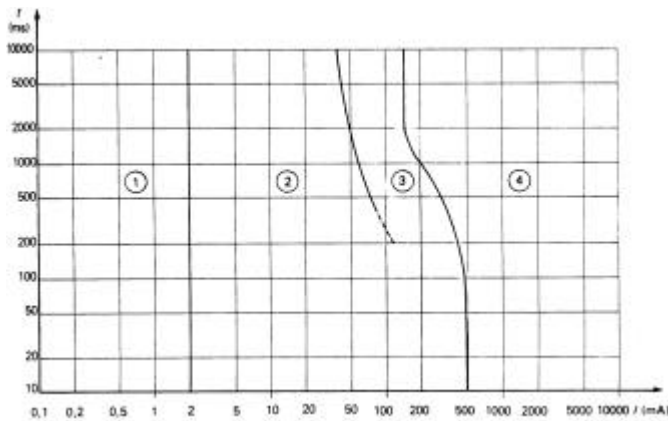
46/68

## Pericolosità della corrente continua in funzione del tempo



Zone di pericolosità della corrente continua. (1) Di solito, assenza di reazioni, fino alla soglia di percezione. (2) In genere nessun effetto fisiologico pericoloso. (3) Possono verificarsi contrazioni muscolari e perturbazioni reversibili nella formazione e trasmissione degli impulsi elettrici cardiaci. (4) Fibrillazione ventricolare probabile. Possono verificarsi anche altri effetti patofisiologici, ad esempio gravi ustioni.

47/68



La curva c si riferisce a correnti continue ascendenti, dirette cioè dai piedi verso la testa.

Le correnti discendenti sono meno pericolose e i valori di corrente della curva c devono essere raddoppiati.

È estremamente improbabile che una corrente continua inneschi la fibrillazione ventricolare nel percorso mano-mano.

48/68



## Correnti ad alta frequenza

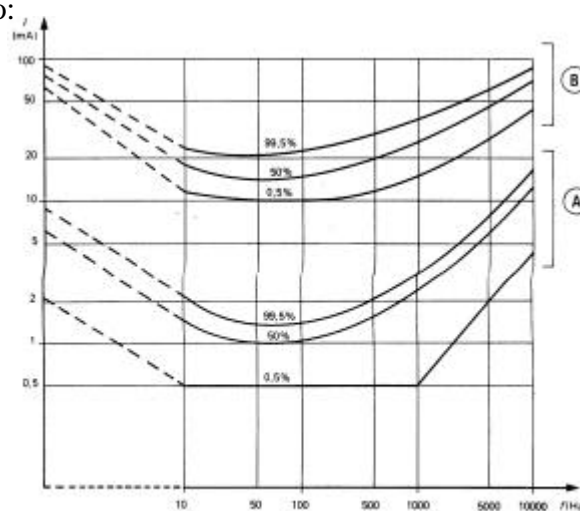
La pericolosità della corrente diminuisce con l'aumentare della frequenza.

Ad alta frequenza la durata dello stimolo è talmente breve che la corrente non influisce praticamente sullo stato della cellula.

La tendenza della corrente ad alta frequenza a passare all'esterno del corpo (effetto pelle), interessando così solo la pelle e non organi vitali.

49/68

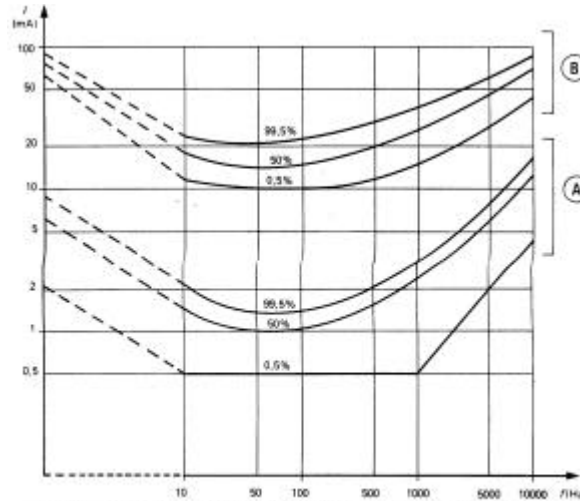
Soglie di percezione e di tetanizzazione in funzione della frequenza, secondo la probabilità di produzione del fenomeno:



Variazioni della soglia di percezione e di tetanizzazione in funzione della frequenza.  
A) soglia di percezione. B) soglia di tetanizzazione.

50/68

A frequenze maggiori di 1 kHz il limite di pericolosità è proporzionale alla frequenza.



Variazioni della soglia di percezione e di tetanizzazione in funzione della frequenza.  
A) soglia di percezione. B) soglia di tetanizzazione.

51/68

### Correnti impulsive

Si intendono a questi fini impulsive le correnti che fluiscono attraverso il corpo umano per un tempo inferiore a 10 ms.

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 e dal valore di picco della corrente;
- la soglia di fibrillazione ventricolare dipende dal percorso, dalla forma d'onda, dal valore di picco della corrente, e dall'istante in cui l'impulso va ad interessare il periodo vulnerabile (cardiaco).

52/68

Quale parametro caratteristico può essere assunta l'energia specifica dell'impulso:

$$\int_0^t i^2 dt$$

Quanto minore è il picco di corrente, cioè la tensione di carica del condensatore, tanto più elevata è la carica elettrica richiesta per raggiungere la soglia di percezione.

Impulsi di energia specifica dell'ordine del millesimo di A<sup>2</sup>s non sono in grado di provocare la fibrillazione.

53/68

Per scariche di tipo capacitivo l'energia specifica può essere assunta pari a:

$$\frac{1}{2} C \frac{U^2}{R}$$

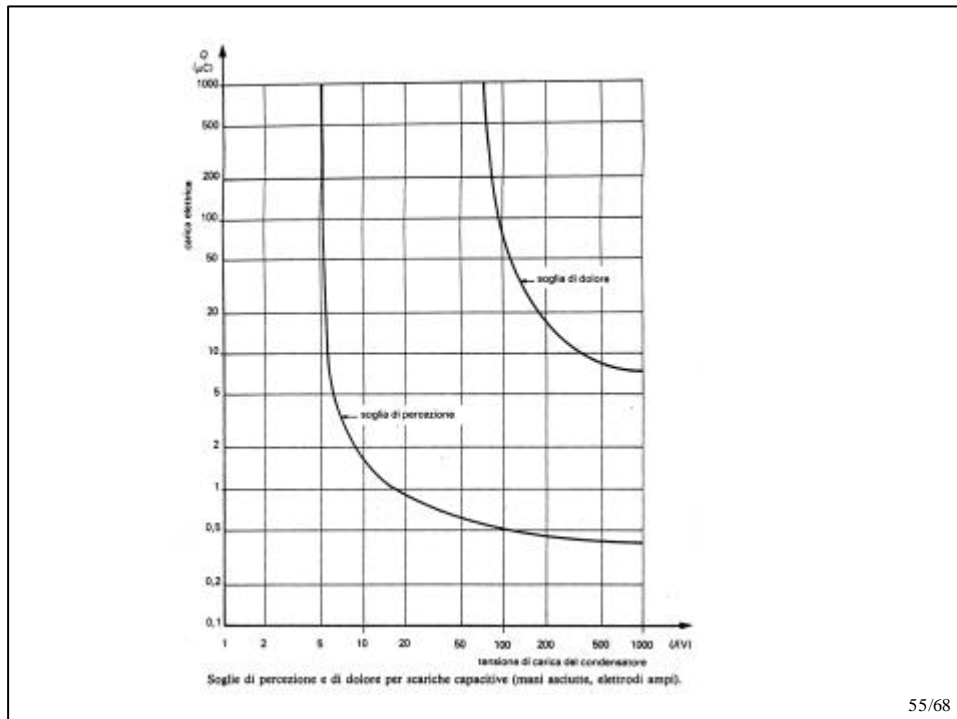
La scarica si considera estinta dopo:

$$t = 3RC$$

La scarica può essere considerata impulsiva se:

$$3RC < 10 \text{ ms}$$

54/68



55/68

### Resistenza elettrica del corpo umano

Il corpo umano corrisponde ad una impedenza capacitiva.

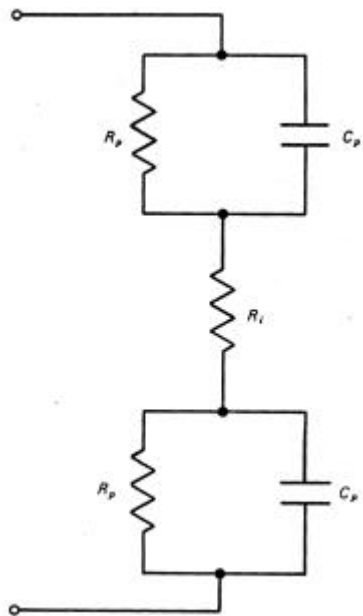
La capacità  $C_p$  risiede principalmente nella pelle che si interpone come isolante tra l'elettrodo ed il tessuto conduttore sottostante.

La resistenza  $R_p$ , dovuta ai pori della pelle, è in parallelo alla capacità.

Infine vi è la resistenza interna del corpo umano  $R_i$ .

A 50 Hz è lecito trascurare la piccola capacità della pelle e si parla di resistenza del corpo umano  $R_c$ .

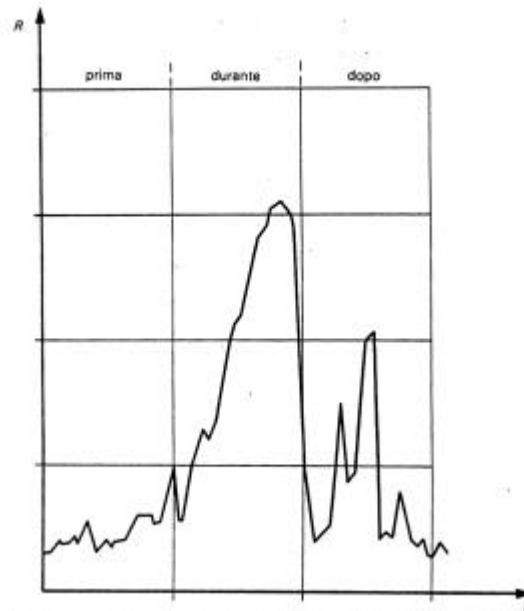
56/68



La resistenza del corpo umano è una grandezza estremamente variabile con le:

- condizioni ambientali
- condizioni fisiologiche

57/68



Resistenza elettrica di un soggetto, prima, durante e dopo un'intensa concentrazione mentale.

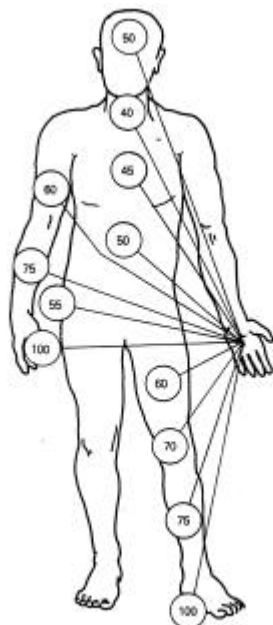
58/68

## Variabili che influenzano la resistenza del corpo umano

La resistenza interna  $R_i$  dipende:

- soprattutto dal tragitto della corrente;
- in minor misura dalla superficie di contatto degli elettrodi.

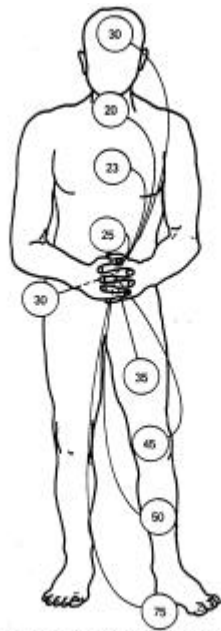
59/68



Fatto uguale a cento il valore della resistenza tra le due mani, si hanno i diversi valori percentuali in funzione del tragitto.

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.

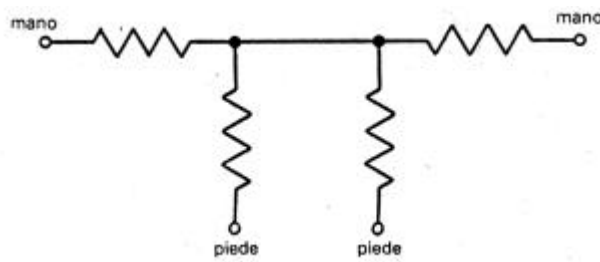
60/68



nonché tra le due mani congiunte e differenti punti del corpo.

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.

61/68



Schema elettrico equivalente del corpo umano per un percorso della corrente tra le estremità.

Per resistenza della pelle si intende la somma della:

- resistenza di contatto elettrodo-pelle;
- resistenza della pelle vera e propria.

62/68

a) Stato della pelle:

- l'umidità diminuisce la resistenza;
- il sudore, soluzione conduttrice di cloruro di sodio e di altri sali peggiora la situazione (riduzione sino al 50%);
- lacerazioni della pelle riducono la resistenza;
- la presenza di calli incrementa la resistenza.

b) Superficie di contatto:

- all'aumentare della superficie di contatto diminuisce la resistenza della pelle (lavorazioni interne a tubazioni).

63/68

c) Pressione di contatto:

- all'aumentare della pressione diminuisce la resistenza;
- le apparecchiature portatili, per la contrazione dei muscoli, sono maggiormente inducenti fenomeni di tetanizzazione.

d) Durata del contatto:

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

64/68



f) Frequenza della corrente:

- la misura per valori di corrente in continua ed in alternata fornisce circa gli stessi valori;
- alle alte frequenze la resistenza del corpo umano si riduce sensibilmente alla sola resistenza interna (risulta cortocircuitata la  $C_p$ ).

g) Tensione di contatto:

- la resistenza della pelle diminuisce all'aumentare della tensione applicata;
- per tensioni superiori a  $\sim 100$  V la resistenza della pelle è trascurabile: la resistenza del corpo umano  $R_c$  può essere confusa con la resistenza interna  $R_i$ .

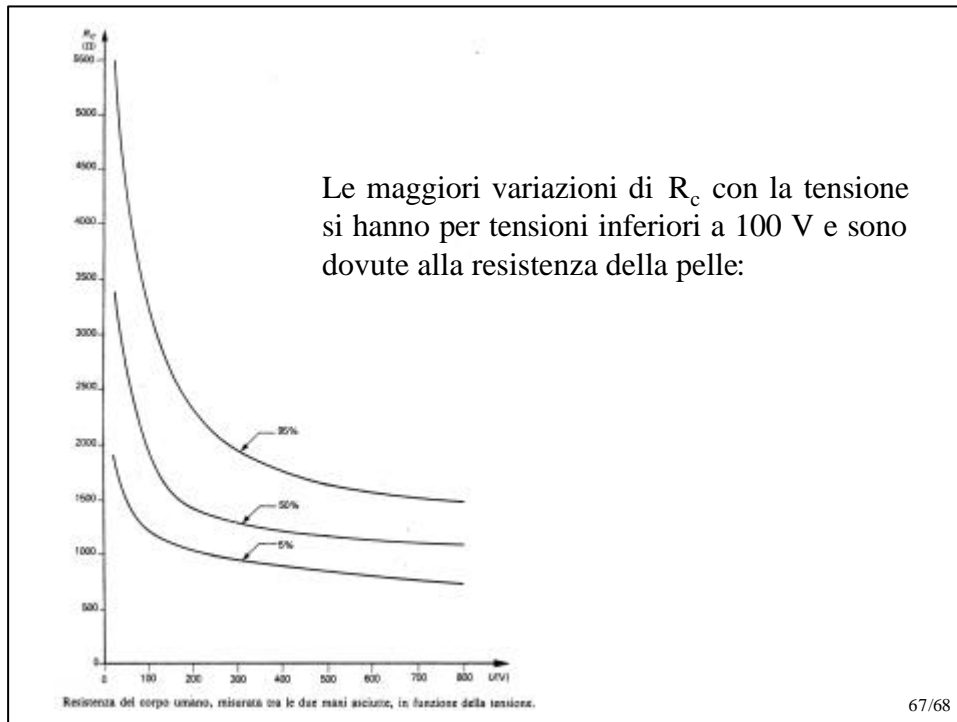
65/68

Valori indicativi della resistenza  $R_c$  del corpo umano misurata tra due mani, in condizioni asciutte (area tra gli elettrodi  $50 \div 100$  cm<sup>2</sup>, in funzione della tensione applicata):

Valori indicativi della resistenza elettrica del corpo umano

Tensione (V)	Valori di $R_c$ ( $\Omega$ ) che non sono sorpassati dal		
	5%	50% della popolazione	95%
25	1 750	3 250	6 100
50	1 450	2 625	4 375
75	1 250	2 200	3 500
100	1 200	1 875	3 200
125	1 125	1 625	2 875
220	1 000	1 350	2 125
700	750	1 100	1 550
1 000	700	1 050	1 500
Valore asintotico	650	750	850

66/68



### Pericolosità del percorso

Stesso valore di tensione applicato tra punti diversi del corpo corrisponde a correnti diverse, perché ad ogni percorso corrisponde una differente resistenza del corpo umano.

Quanto più è piccola la resistenza  $R_c$  per un dato percorso tanto maggiore è il valore di corrente per quel percorso.

Quanto più grande è il fattore di percorso  $F$  tanto maggiore è la probabilità di fibrillazione ventricolare.



Il percorso più pericoloso è quello corrispondente al massimo valore del rapporto  $F/R_c$ .

68/68