

La corrente elettrica

Le prime osservazioni sulla corrente elettrica (di origine animale) furono effettuate da Luigi Galvani nel XVIII secolo, con i suoi famosi esperimenti sulle rane. Galvani conìò il termine di *elettricità animale* per descrivere questo fenomeno. Alessandro Volta (inizialmente seguace di Galvani) in seguito ai suoi esperimenti sulla pila confutò la teoria di Galvani arrivando alla conclusione che l'elettricità era di origine fisica e non di tipo biologico. Nei decenni successivi, esperimenti condotti da Du Bois Raymond e da altri dimostrarono in maniera inconfutabile l'esistenza dei fenomeni elettrici negli organismi animali. Quindi oggi possiamo dire che l'ipotesi di Galvani era essenzialmente corretta. La corrente elettrica non è altro che un moto di cariche all'interno di un mezzo conduttore (elettroni all'interno di conduttori metallici, ma in biologia abbiamo moti di altri ioni; ad esempio Na , Cl , K , Ca in soluzione acquosa.)

Ponendo a contatto due fili metallici a potenziale diverso, gli elettroni passano dal potenziale più basso a quello al più alto, e il processo continua fino a quando i due conduttori si trovano allo stesso potenziale .

La conduzione elettrica si verifica quando esiste una differenza di potenziale fra due conduttori, **Forza elettromotrice** o *fem* (Electromotive Force).

I generatori di fem vengono detti **pile** o celle voltaiche e, tramite reazioni chimiche di ossidoriduzione, generano un moto di elettroni unidirezionale e ordinato (rettilineo uniforme) che viene chiamato **corrente continua**.

Oltre alla corrente continua esiste anche un'altro tipo di corrente elettrica in cui il moto delle cariche cambia continuamente verso che viene detta **corrente alternata**.

- Se agli estremi di un filo conduttore di sezione uniforme A e di lunghezza l applichiamo una ddp V , all'interno del conduttore si crea un campo elettrico $E = V/l$.
- Su ogni elettrone agisce una forza $e\vec{E}$ che, in base al secondo principio della dinamica, accelererà gli elettroni nel verso opposto al campo ($v(t) = \frac{eE}{m}t$)
- Il moto della cariche non risulta accelerato ma uniforme, a causa delle forze di attrito, come nel caso di un fluido reale.

Detta dq la quantità di carica che attraversa una sezione del filo nel tempo dt si definisce "intensità di corrente elettrica" :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

L'unità di misura di corrente nel SI è l'Ampere (A).

In un conduttore fluisce una corrente di 1 A se, in 1 secondo, una carica di 1 Coulomb attraversa una sezione del conduttore.

La corrente che attraversa nell'unità di tempo un'area unitaria è detta "densità di corrente": per un filo di sezione A

$$j = \frac{i}{A}$$

In analogia tra corrente elettrica e moto di un fluido (reale), possiamo pensare la corrente come il flusso di densità di carica j attraverso una sezione del condotto S e quindi $i = j \cdot S$.

La corrente elettrica è quindi l'analogo della portata.

Con questa analogia possiamo anche interpretare il concetto di flusso di un campo vettoriale attraverso una superficie: la portata è il flusso del campo di velocità di un fluido attraverso la sezione del condotto.

- La relazione fra corrente e fem è analoga alla relazione fra pressione e portata di un condotto.
- All'aumentare della fem , o della pressione, corrisponde un aumento della corrente, o della portata.
- La relazione è lineare: la corrente i è direttamente proporzionale al voltaggio V .
- Si introduce il concetto di **resistenza elettrica** definito in funzione del potenziale e della corrente elettrica.
- La resistenza di un conduttore R è data dal rapporto fra il voltaggio V e corrente i
- Questo rapporto si mantiene costante per una vasta gamma di materiali, e se a parità di voltaggio V si ottiene una corrente i piccola, diremo che tale materiale ha una resistenza grande.

Prima legge di Ohm

La prima legge di Ohm ci dice che il rapporto V/i è costante, V indica il voltaggio applicato ai capi del conduttore e i indica il valore della corrente che fluisce in esso:

$$\frac{V}{i} = R = \text{Costante} \quad \text{oppure} \quad i = \frac{V}{R} \quad (1)$$

R è la resistenza elettrica del materiale: l'unità nel S.I. della resistenza è l'ohm (Ω) $1\Omega = 1V/1A$.

Un conduttore ha resistenza di 1 ohm quando una differenza di potenziale ai suoi capi di 1 volt genera una corrente di intensità di 1 ampere.

Seconda legge di Ohm

Relazione fra la resistenza elettrica e le proprietà del conduttore. Per una vasta gamma di materiali, la resistenza dipende dalla lunghezza l del materiale e dalla sua sezione A :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

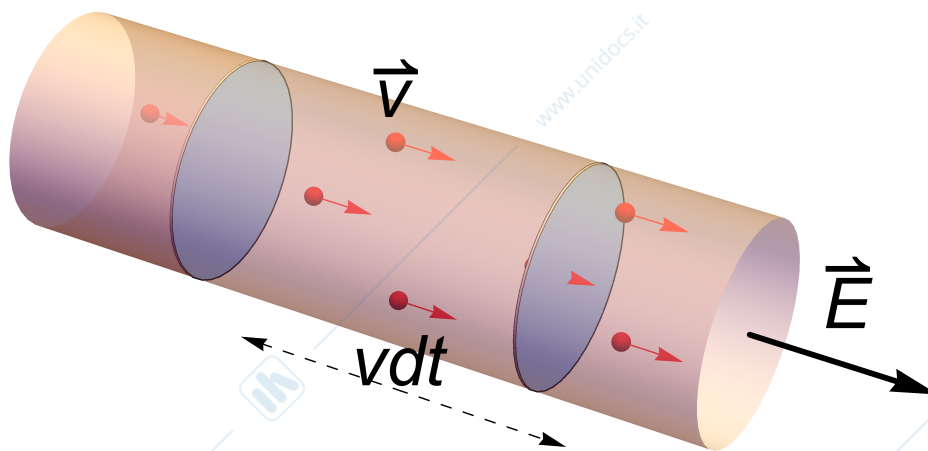
ρ resistività, misura SI $\Omega \cdot m$.

La resistività è una funzione della temperatura $\rho = \rho(T)$, e aumenta all'aumentare della temperatura.

I conduttori hanno resistività basse, gli isolanti alte e i semiconduttori intermedie.

La resistività è una proprietà intrinseca dei materiali, legata alla loro struttura atomica e molecolare, mentre la resistenza dipende anche dalle caratteristiche geometriche del conduttore.

Conduttore contenente \mathcal{N} elettroni liberi per unità di volume



Nel tempo dt gli elettroni percorrono una distanza vdt . Attraversano A solo quelli che distano meno di vdt .

$$j = \frac{i}{A} = \mathcal{N}ev$$

La resistenza di un tratto di circuito dipende dalla temperatura (nel filamento di una lampadina a incandescenza è molto maggiore alla temperatura di esercizio che non alla temperatura ambiente). Nei metalli la resistenza aumenta all'aumentare della temperatura, mentre nei semiconduttori è il contrario.

Per molti materiali:

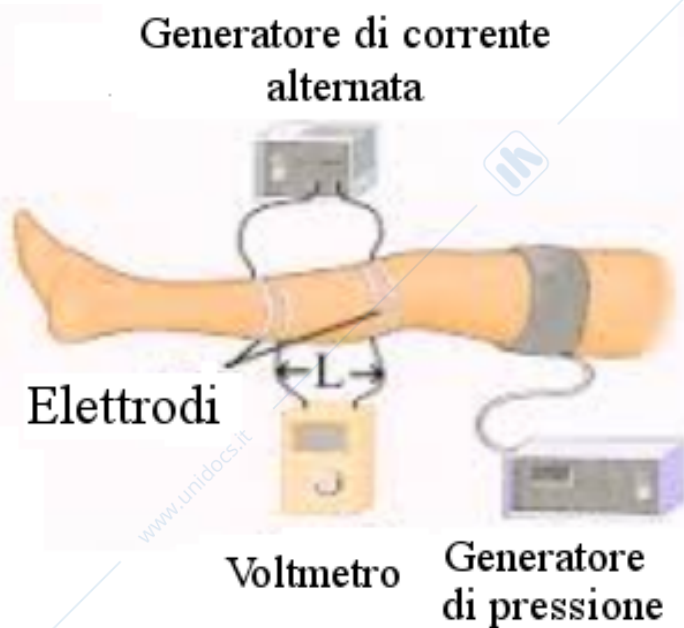
$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

dove ρ e ρ_0 sono le resistività a temperatura T e T_0 mentre α dipende dal materiale ed è positivo quando la resistività aumenta con la temperatura mentre è negativo quando la resistività diminuisce.

Materiale	Resistività ρ ($\Omega \cdot m$)
Acciaio	1.8×10^{-7}
Argento	1.6×10^{-8}
Rame	1.7×10^{-8}
Tungsteno	5.5×10^{-8}
Grafite	8×10^{-6}

La resistenza elettrica è la base della la **pletismografia ad impedenza** applicata per la diagnosi di trombosi venose.

Un bracciale simile a quello usato nello sfigmomanometro, collegato ad un generatore di pressione viene posizionato sulla coscia mentre gli elettrodi sono sistemati nella zona del polpaccio; quelli esterni sono connessi ad una sorgente di corrente mentre quelli interni sono separati da una distanza L .



Il voltmetro misura il voltaggio V fra gli elettrodi interni; il voltaggio diviso per la corrente ci dà la resistenza che è proporzionale al volume del polpaccio. Approssimando il polpaccio ad un cilindro, il suo volume V è $V = LA$ (lunghezza L per sezione del polpaccio A) e quindi:

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{V/L} = \rho \frac{L^2}{V}.$$

La resistenza elettrica fornisce una misura indiretta del volume, (diagnosi di trombosi).

Il sangue fluisce nel polpaccio tramite le arterie: gonfiando il bracciale (come nello sfigmomanometro) la pressione arresta il flusso del sangue venoso ma non quello arterioso.

La quantità di sangue che entra nel polpaccio è quindi maggiore di quella che esce, il volume del polpaccio aumenta e la resistenza misurata diminuisce.

Nel momento in cui si azzerla la pressione esterna, il volume ritorna ad un valore normale e così pure la resistenza elettrica.

Nei soggetti sani il ritorno alla condizione di volume normale è rapido. Nel caso di situazioni patologiche come ad esempio durante una trombosi, il ritorno a valori normali, misurabile con lo strumento, risulta più lento.

Tessuto	Resistività ρ ($\Omega \cdot m$)
Fluido cerebrospinale	0.650
Plasma	0.7
Sangue intero	1.6
Muscolo scheletrico	3-18
Fegato	7
Polmoni	8-17
Tessuto nervoso	2-7
Tessuto adiposo	20
Osso	40
Pelle	$10^5 - 10^7$

A causa della resistenza elettrica la velocità di regime degli elettroni è costante. L'energia viene dissipata nel conduttore sotto forma di calore: calore di Joule o **effetto Joule**.

Se dq attraversa una ddp V , la sua energia elettrostatica diminuisce di Vdq , mentre la sua energia cinetica resta costante. L'energia della carica dq diminuisce di Vdq e, per il primo principio della termodinamica, tale energia deve uscire dal filo sotto forma di calore dQ .

$$dQ = Vdq$$

Il calore prodotto per unità di tempo è la potenza dissipata P :

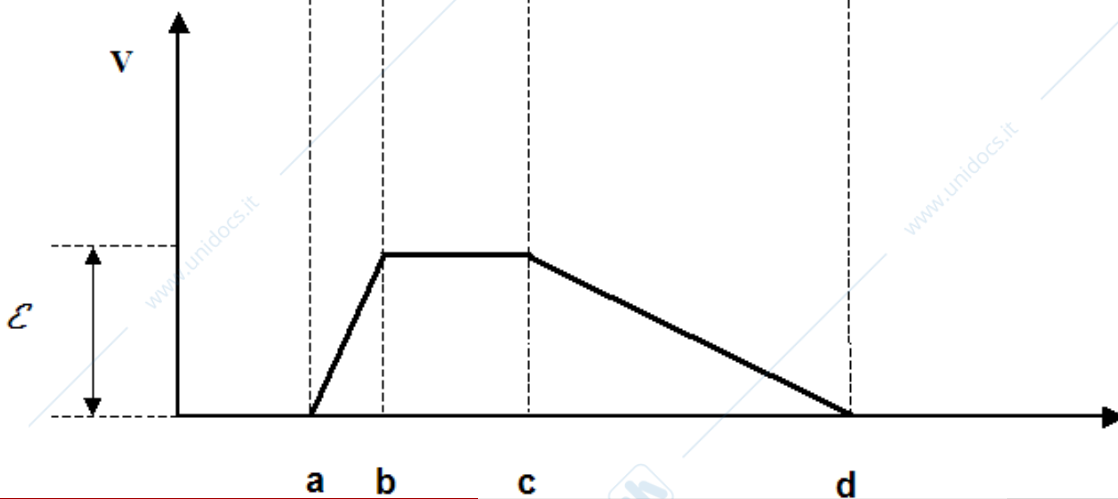
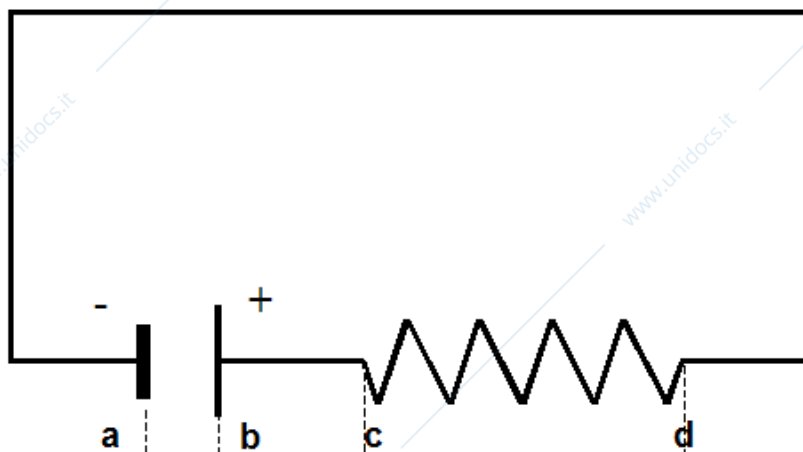
$$P = \frac{dQ}{dt} = V \frac{dq}{dt} = Vi$$

che può anche scriversi, in base alla legge di Ohm

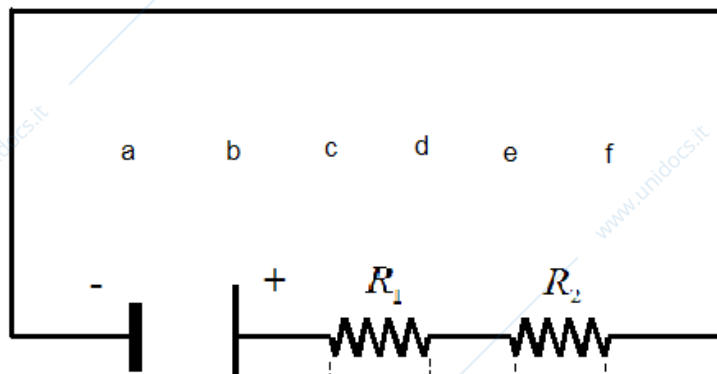
$$P = Vi = i^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Se V ai capi del circuito rimane costante, P è inversamente proporzionale a R , se si mantiene costante la corrente P è direttamente proporzionale a R .

L'unità di misura SI è il Watt: J/s . Una unità alternativa è il *Volt · Ampere*.

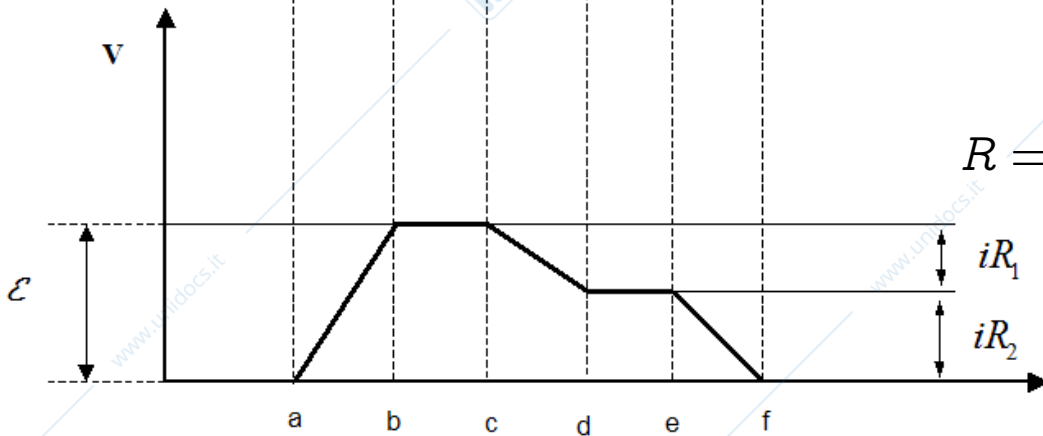


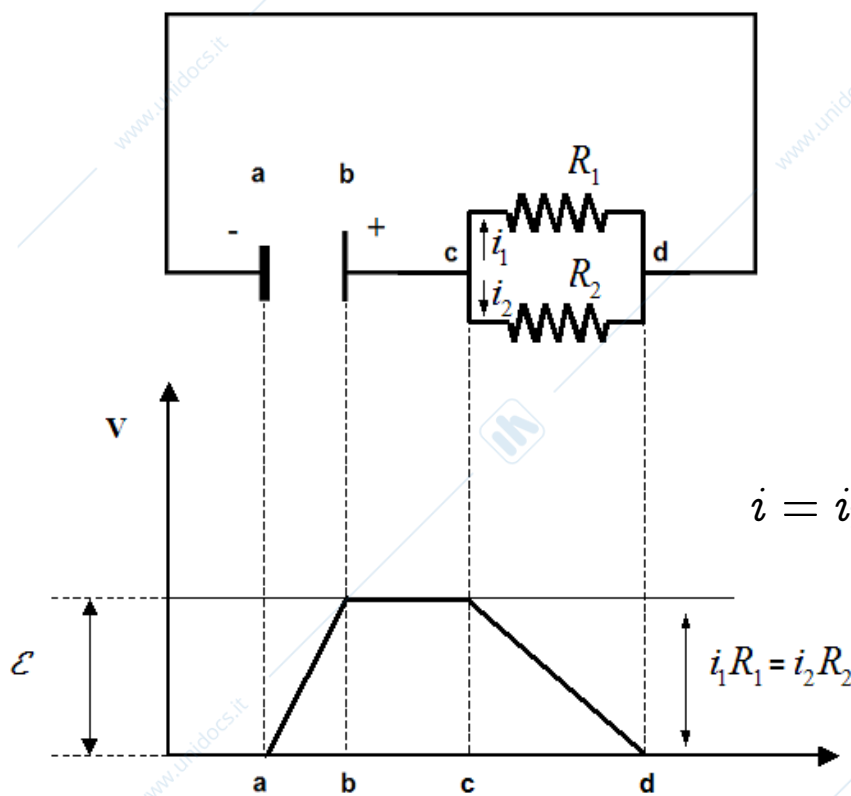
$$\mathcal{E} = i \cdot R$$



$$\mathcal{E} = i \cdot R = i \cdot R_1 + i \cdot R_2 = i \cdot (R_1 + R_2)$$

$$R = R_1 + R_2$$





$$i = i_1 + i_2$$

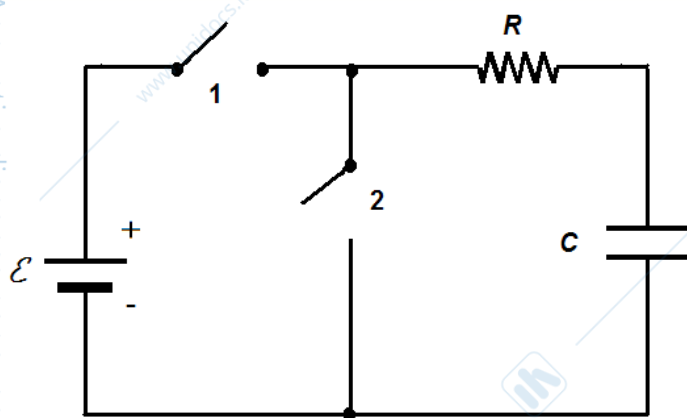
$$i_1 R_1 = i_2 R_2 = \mathcal{E}$$

$$i_1 = \mathcal{E}/R_1 \text{ e } i_2 = \mathcal{E}/R_2$$

$$i = i_1 + i_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_1} + \frac{\mathcal{E}}{R_2} = \mathcal{E} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

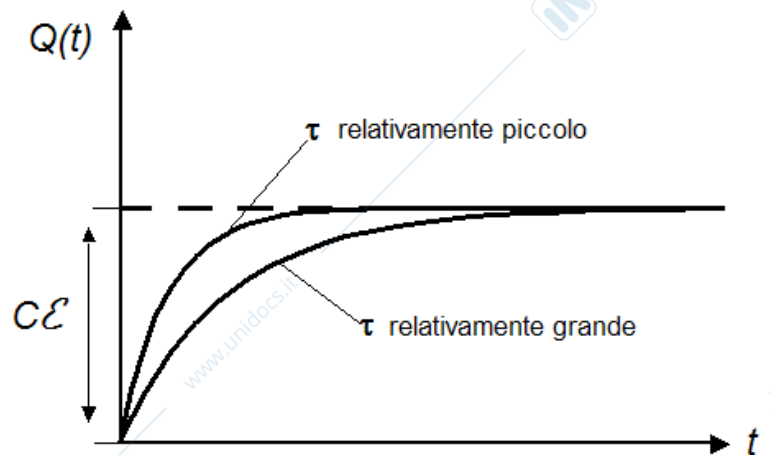
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



$$Q(t) = C\mathcal{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$\tau = RC$ costante di tempo.



- $i = i(t)$ cala nel tempo
 $Q = Q(t)$ cresce nel tempo
 $V = V(t)$ cresce nel tempo

Il pacemaker cardiaco

- Il condensatore (carica/scarica) ha innumerevoli applicazioni sia di tipo teorico che sperimentale.
- I pacemakers cardiaci sono basati su un circuito RC che controlla la temporizzazione degli impulsi di voltaggio che vengono inviati al tessuto cardiaco.
- Questi impulsi sono veicolati tramite elettrodi che possono essere esterni o interni (impiantabili chirurgicamente).
- Un impulso viene inviato quando il voltaggio ai capi del condensatore raggiunge un certo livello e poi il condensatore viene rapidamente ricaricato e il ciclo si ripete.
- Il tempo fra ogni stimolo è controllato dalla costante di tempo del circuito RC che è regolata in maniera tale da assumere un valore prossimo ad 1 secondo, come il ritmo cardiaco in condizioni regolari.

Effetti biologici delle correnti elettriche

- Gli shock elettrici possono essere dannosi e anche fatali, ad esempio si possono avere ustioni, fibrillazioni cardiache, lesioni ai muscoli e al sistema nervoso.
- La gravità degli effetti dipende dal tipo di corrente e dalla sua ampiezza. In generale la corrente continua è meno pericolosa, mentre quella alternata di uso industriale (con una frequenza di 50 Hz e $\Delta V = 220\text{ V}$) è più pericolosa, poiché può interferire con l'attività elettrica di cuore e muscoli.
- Inoltre gli effetti dipendono anche da quali e quante zone del corpo sono coinvolte: si distingue fra "macroshock" e "microshock".

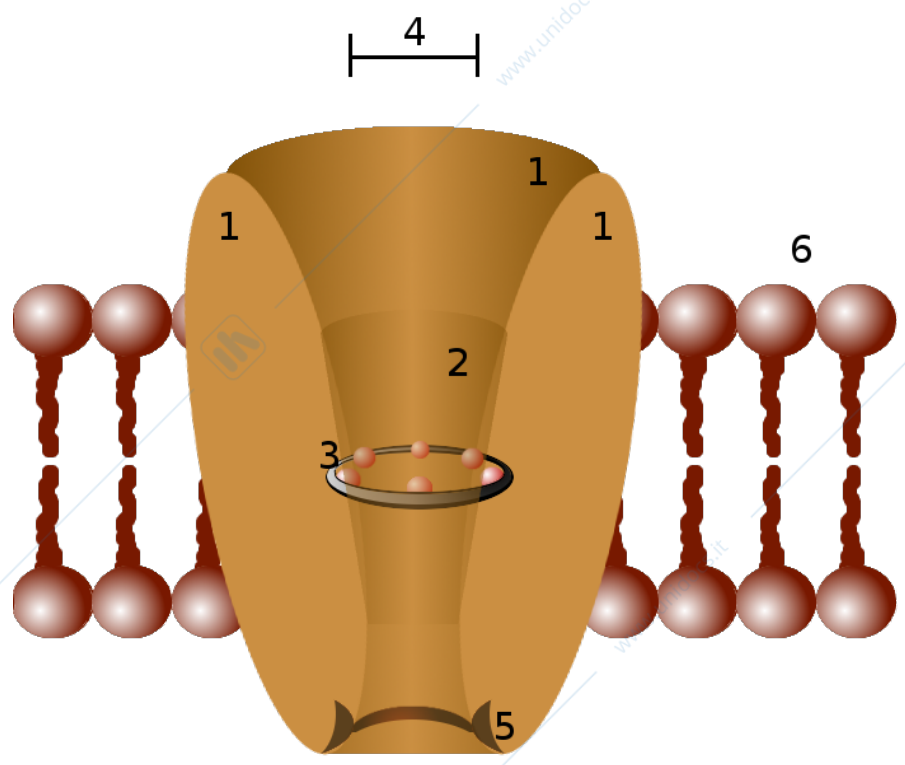
Effetti biologici delle correnti elettriche

- Il macroshock è caratterizzato da una corrente di ampiezza rilevante che attraversa una vasta zona del corpo includendo il cuore.
- Il microshock invece è caratterizzato da correnti a piccola ampiezza e localizzate (ad esempio quelle generate da dispositivi impiantabili o usati per terapie).
- Correnti con ampiezza inferiore al milliampere non sono pericolose, e possono al massimo provocare una sensazione di “formicolio”.
- Quando l’ampiezza arriva a 10 mA si possono avere spasmi muscolari e tetanizzazione, ma non effetti letali. Al di sopra di 0.5 A gli effetti iniziano ad essere pericolosi, poiché generano fibrillazione cardiaca.

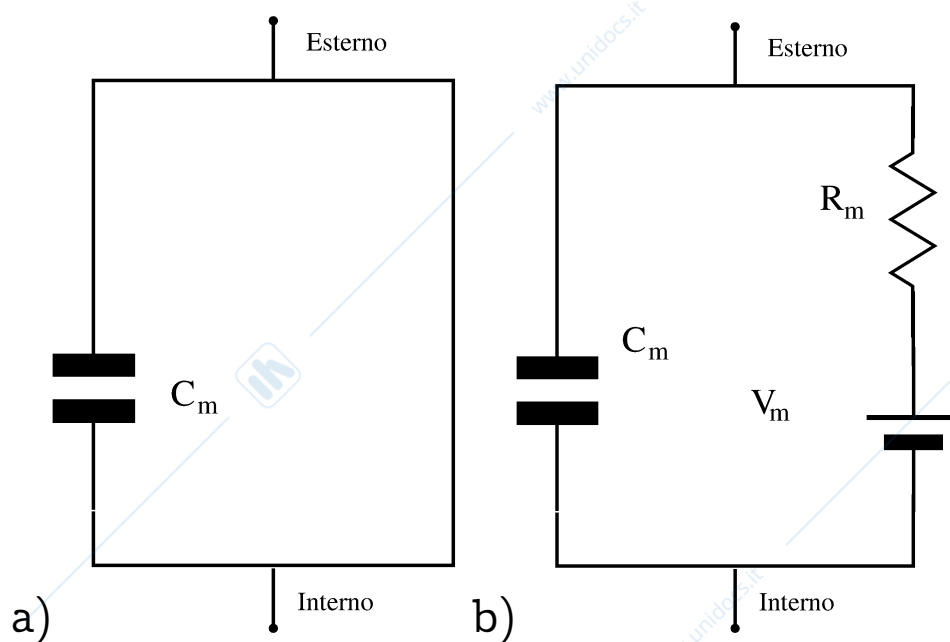
www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

I canali ionici



I canali ionici



a) Rappresentazione circuitale della membrana cellulare (solo il doppio strato fosfolipidico) b) Rappresentazione circuitale della membrana cellulare con canale ionico. La d.d.p. è originata dalla diseguale distribuzione di ioni.