

parte prima
LA MATERIA

CONCETTO DI MATERIA

Materia è tutto ciò che in natura ci circonda, che possiamo sottoporre all'analisi dei nostri sensi (vedere, toccare, odorare, gustare)

Forme della materia: solida, liquida, gassosa

La materia solida possiede forma, volume e peso proprio

La materia liquida possiede volume e peso proprio, ma assume la forma del recipiente che la contiene

La materia gassosa ha volume e peso che variano a seconda delle condizioni fisiche (temperatura e pressione) cui è sottoposta e assume la forma del recipiente che la contiene, se questo esiste

SUDDIVISIBILITA' DELLA MATERIA

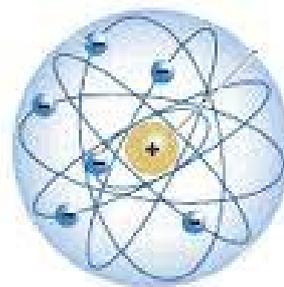
La materia, in tutti i suoi stati, può essere suddivisa in componenti elementari: molecole, atomi, particelle subatomiche.

ATOMO

In natura esistono solo poco più di 90 tipi diversi di materia elementare, detti elementi; i chimici usano, per brevità, indicare ogni elemento con un simbolo formato da una o due lettere dell'alfabeto.

Elementi naturali sono ad esempio l'ossigeno (simbolo O), l'idrogeno (H), il carbonio (C), lo zolfo (S), l'azoto (N)

La più piccola parte in cui la materia elementare, cioè ciascun elemento, può essere suddivisa si chiama atomo; anche l'atomo può essere suddiviso in parti ancora più piccole, ma se si arriva a questo punto l'elemento da cui si è partiti perde le sue caratteristiche.



Struttura dell'atomo

Nucleo, composto a sua volta da

Protoni: particelle che portano una carica elettrica di tipo positivo(+)

Neutroni: particelle prive di carica elettrica

Queste particelle formano quasi tutta la massa dell'atomo e sono addossate l'una all'altra

Nube elettronica, composta da

Elettroni: particelle quasi prive di massa e portanti una carica elettrica negativa; si muovono continuamente intorno al nucleo su "traiettorie" dette orbitali

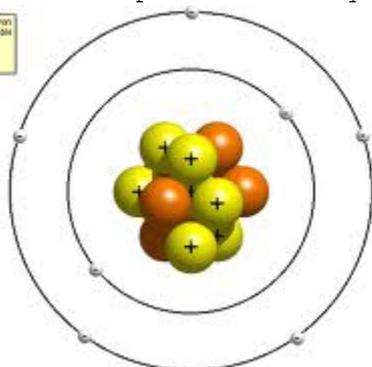
Il numero di protoni presenti nel nucleo è uguale al numero di elettroni che si muovono intorno a questo, in modo che ogni carica elettrica positiva del nucleo sia equilibrata da una carica negativa degli elettroni.

Il numero di protoni - e quindi anche quello degli elettroni - che formano un

atomo determina l'elemento di cui l'atomo fa parte e viene detto numero atomico; ad esempio l'atomo di idrogeno (H) ha un solo protone e un solo elettrone, quindi numero atomico 1; il carbonio (C) ha numero atomico 6, l'ossigeno (O) 32 e così via, fino all'uranio (U) con 92.

Con opportuni procedimenti è possibile "spaccare" il nucleo degli atomi. Ad esempio è possibile dividere in due gruppi i 92 protoni di un atomo di uranio: si formano

Misgano Electron Configuration Table
1s²
2s² 2p⁶



due atomi più piccoli, di elementi diversi, ad esempio zirconio (Zr 40) e tellurio (Te 52); questo procedimento è detto fissione e dalla sua attuazione si libera una notevole quantità di energia (calore che può essere trasformato in elettricità) detta appunto energia nucleare.

Il numero di neutroni nel nucleo può variare, senza per questo far cambiare il tipo di elemento determinato dal numero atomico; atomi di uno stesso elemento con diverso numero di neutroni si dicono isotopi.

ELEMENTI E COMPOSTI

E' noto che in natura esistono ben più di 90 tipi di materia diversi. Questo è dovuto al fatto che atomi di elementi diversi tendono a unirsi tra loro per formare i cosiddetti composti. L'acqua è un composto di idrogeno e ossigeno, il metano è un composto di carbonio e idrogeno, l'ammoniaca è un composto di azoto e idrogeno.



The image shows a standard periodic table of elements titled "Tavola Periodica degli Elementi". The table is color-coded by groups: alkali metals (yellow), alkaline earth metals (orange), transition metals (pink), metalloids (green), nonmetals (light blue), and noble gases (dark blue). The lanthanide and actinide series are shown in separate boxes at the bottom. The table includes element symbols, atomic numbers, and names in Italian.

MOLECOLA

È la quantità minima di materia in cui si può suddividere un composto senza che questo perda le sue proprietà. Ogni composto ha un insieme preciso di atomi che formano ogni molecola e che è descritto dalla sua formula chimica.

Una molecola d'acqua è formata da due atomi di idrogeno (H) e da uno di ossigeno (O) e la formula che la descrive è H_2O

Una molecola di metano ha quattro atomi di idrogeno e uno di carbonio (C) e formula CH_4

Una molecola di ammoniaca ha un atomo di azoto (N) e tre di idrogeno, con formula NH_3 e così via.

In una molecola i diversi atomi sono tenuti assieme (uniti) dai cosiddetti legami, che non sono altro che forze di attrazione elettrica tra le cariche positive e negative delle particelle.

Per la verità, in molti casi anche gli elementi uniscono i loro atomi per formare molecole e assumere quindi condizioni più stabili: in natura si trovano in genere molecole formate da due o tre atomi di ossigeno (O_2 e O_3 , quest'ultimo detto ozono), da due atomi di idrogeno (H_2) eccetera.

Il fenomeno con cui si formano (o si disfano) le molecole si chiama reazione chimica.

IONE

Con opportuni procedimenti è possibile dividere una molecola in gruppi di atomi; questa operazione si definisce lisi. Per provocarla è necessario utilizzare dell'acqua (idro-lisi), della corrente elettrica (elettro-lisi) o altri tipi di ausilio.

Spesso succede che dalla divisione nella molecola una delle parti si "porti via" un elettrone appartenente all'altra parte, formando così un gruppo con carica elettrica negativa (-) in eccesso e l'altro con carica in difetto, cioè un protone in più non compensato. I due gruppi si definiscono ioni e presentano una forte tendenza a ricombinarsi, non necessariamente tra loro, cioè ad essere fortemente reattivi.

I FENOMENI ELETTRICI

GRANDEZZE FISICHE

Tutto ciò che noi prendiamo in considerazione (ad esempio energia, lavoro, corrente elettrica, ma anche la lunghezza di una linea o il peso di un corpo, è una grandezza fisica. Ogni grandezza ha un nome e, per semplicità, un simbolo che la rappresenta. Nelle applicazioni pratiche risulta indispensabile determinare la quantità di ogni grandezza che prendiamo di volta in volta in considerazione, cioè misurare le grandezze. Ad ognuna di loro è quindi associata un'unità di misura e questa ha a sua volta un simbolo. Le simbologie sono unificate a livello internazionale, in modo da poter essere riconosciute in ogni parte del mondo.

GRANDEZZA	Simbolo grandezza	UNITA' DI MISURA	Simbolo u.d.m.
Energia	W	Joule	J
		Wattora	Wh
		Kilowattora	kWh
Lavoro	W	Joule	J
Carica elettrica	Q	Coulomb	C
Corrente elettrica	I	Ampere	A
Tensione	V, U	Volt	V
Potenza	P	Watt	W
Resistenza	R	Ohm	Ω
Impedenza	Z	Ohm	Ω
Frequenza	f	Hertz	Hz

ELETTRICITA'

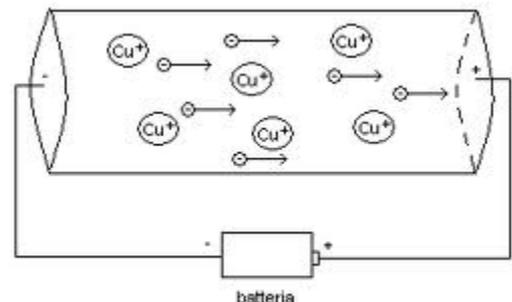
E' una forma di energia. L'energia a sua volta è la capacità di svolgere un lavoro (cioè di far muovere qualcosa). Una legge fondamentale della fisica afferma che l'energia non si crea e non si distrugge, ma può solo cambiare di forma (meccanica, chimica, luminosa, elettrica, nucleare...)

CARICA ELETTRICA

E' la quantità minima di "elettricità" che può essere presa in considerazione dal punto di vista tecnico. Dal punto di vista fisico la carica minima è quella portata dalle singole particelle subatomiche (fondamentalmente dagli elettroni), ma tecnicamente questa risulta troppo piccola per poter essere convenientemente utilizzata nei calcoli: la carica di 1 C (Coulomb) corrisponde a quella portata da svariati milioni di elettroni.

CORRENTE ELETTRICA

E' un flusso di cariche elettriche che si muovono attraverso un conduttore. Le cariche si mettono in movimento solo se "qualcosa" le "spinge", quindi occorre fornire loro dell'energia. La quantità di cariche (Coulomb) che transitano in un punto del conduttore nel tempo di 1 secondo si definisce Intensità di corrente (o più semplicemente corrente), si indica con il simbolo I e si misura in Ampere (simbolo A).



TENSIONE

E' la quantità di energia che occorre fornire ad ogni carica affinché si metta in movimento e quindi circoli corrente nel conduttore. Maggiore è la quantità di energia fornita, più grande è il numero di cariche che entrano in circolazione (non la loro velocità di scorrimento), cioè maggiore è la corrente.

La tensione si misura in Volt (simbolo V o U); può anche essere definita forza elettromotrice o differenza di potenziale.

LEGMI CHIMICI E COMPORTAMENTO ELETTRICO DEI MATERIALI

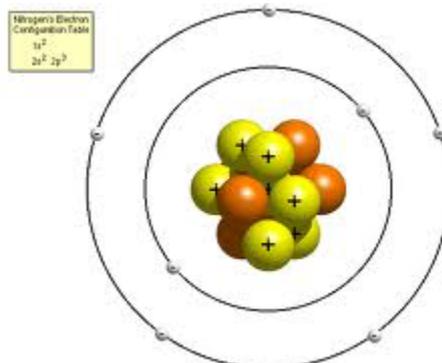
DISPOSIZIONE DEGLI ELETTRONI INTORNO AL NUCLEO DELL'ATOMO

Gli elettroni che fanno parte di ogni atomo si dispongono intorno al nucleo a formare la cosiddetta nube elettronica. Sono disposti a "gruppi" in spazi ben definiti, detti orbitali, via via più lontani dal nucleo stesso. Ogni orbitale può contenere un numero massimo di elettroni: due il primo, otto il secondo e il terzo e così via.

In natura gli atomi tendono ad avere l'orbitale più esterno con il numero massimo di elettroni possibile. Per far questo si

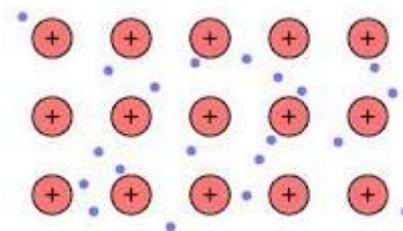
"legano" ad altri atomi prendendo, cedendo o mettendo in compartecipazione tali elettroni e formando così le molecole degli elementi o dei composti.

Dal numero di elettroni sull'orbitale più esterno dipendono quindi le caratteristiche chimiche e fisiche, in particolare quelle elettriche, dei vari materiali.



LEGAME METALLICO

I metalli hanno pochi elettroni (1, 2 o 3) sull'orbitale più esterno. Per arrivare al completamento li mettono in compartecipazione con tutti gli altri atomi intorno, in modo che ogni elettrone non fa più parte di un atomo preciso, ma si muove facilmente dall'uno all'altro. Di solito questo movimento avviene in modo casuale, ma se si applica al metallo una tensione, questa impone un movimento ordinato degli elettroni (cariche) generando una corrente elettrica con basso dispendio di energia. Per questo motivo i metalli (e qualche altro materiale) vengono detti conduttori.



LEGAME COVALENTE

Gli elementi che presentano molti elettroni (5, 6 o 7) sull'orbitale più esterno tendono a mettere alcuni di questi elettroni in compartecipazione con gli atomi limitrofi, formando dei legami che è molto difficile rompere facendone allontanare gli elettroni stessi. Questo è possibile, ma richiede quantità enorme di energia, quindi, se si parla di energia elettrica, tensioni molto elevate. In condizioni normali tali materiali non conducono la corrente elettrica e per questo vengono detti isolanti.



NOTA. Gli elementi con quattro elettroni sull'orbitale esterno (tipicamente il silicio, Si e il germanio Ge) formano legami covalenti piuttosto deboli e presentano un comportamento elettrico intermedio tra quello dei conduttori e quello degli isolanti. Questi materiali sono detti semiconduttori e sono alla base della moderna tecnologia elettronica.

LEGAME DATIVO O IONICO

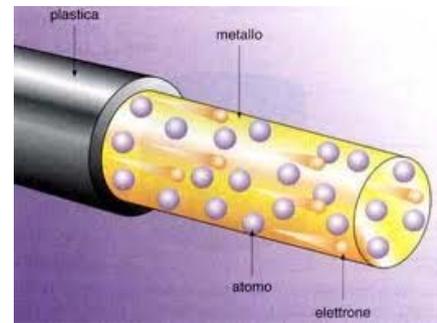
Molti composti formano le proprie molecole con atomi di costituzione opposta, uno con pochi e l'altro con molti elettroni sull'orbitale esterno. Quando vengono sciolti in un solvente - tipicamente l'acqua - formano ioni con polarità opposte e se alla soluzione viene applicata una tensione gli ioni si mettono in movimento verso i due poli opposti formando una circolazione di cariche dovuta al movimento non di soli



elettroni, come avviene nei solidi, ma di ioni, cioè di interi atomi. Tale fenomeno è detto corrente galvanica.

CONDUTTORI

Sono quei materiali in cui le cariche elettriche possono muoversi abbastanza liberamente (a bassa resistenza). Sono buoni conduttori tutti i metalli, soprattutto argento, rame e alluminio, e pochi altri materiali (grafite, carbone, silicio drogato). Nell'uso pratico i conduttori assumono in genere la nota forma di cavi (impropriamente detti fili). L'acqua non pura (non distillata) è un mediocre conduttore di elettricità; il corpo umano, essendo composto per più del 90% di acqua, risulta pertanto un discreto conduttore e da questo deriva la pericolosità della corrente per le persone, ma anche per gli altri animali.



ISOLANTI

Sono quei materiali (ad altissima resistenza) che di fatto impediscono il passaggio della corrente; l'isolante più comune è l'aria, poi si possono elencare ceramica, vetro, legno, gomma, plastiche varie e molti altri. I materiali isolanti vengono di solito impiegati per rivestire i conduttori in modo da evitare che si tocchino tra di loro (in questo caso si provocherebbe un forte danno all'impianto, detto corto circuito) e che vengano toccati dalle persone (fulminazione).

IL CIRCUITO ELETTRICO

GENERATORE

È un apparecchio capace di produrre energia elettrica partendo da un'altra forma di energia (meccanica, chimica, termica, nucleare etc.). Pile, batterie, dinamo, alternatori sono generatori elettrici. La loro principale caratteristica è la tensione prodotta ai morsetti (punti di collegamento). Le caratteristiche di funzionamento degli apparecchi elettrici sono in genere scritte su una targhetta applicata all'esterno dell'apparecchio stesso; pertanto vengono anche dette "dati di targa".

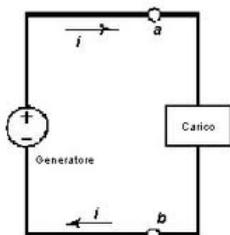


UTILIZZATORE O CARICO

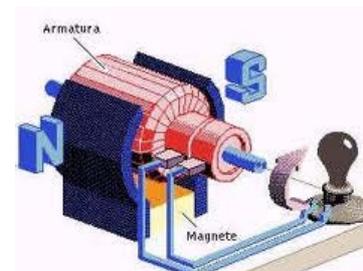


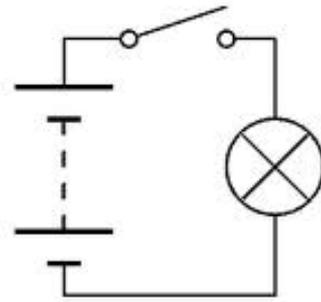
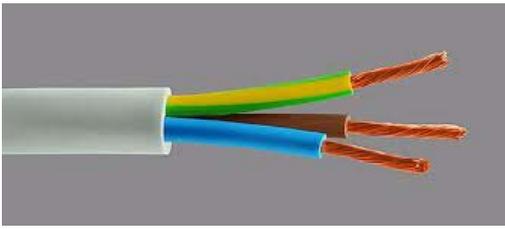
È un dispositivo capace di trasformare l'energia elettrica portata dalla corrente che lo attraversa in un'altra forma di energia: luminosa (lampadina), meccanica (motore), termica (stufetta) etc. I principali dati di targa dei carichi sono la tensione di funzionamento e la potenza nominale.

CIRCUITO ELETTRICO



Le cariche possono muoversi solo attraverso i conduttori; il movimento è provocato dal generatore che le "spinge" una ad una quando passano al suo interno. Le cariche possono quindi circolare solo se trovano un percorso chiuso su se stesso ad anello, un circuito quindi, di materiale conduttore.





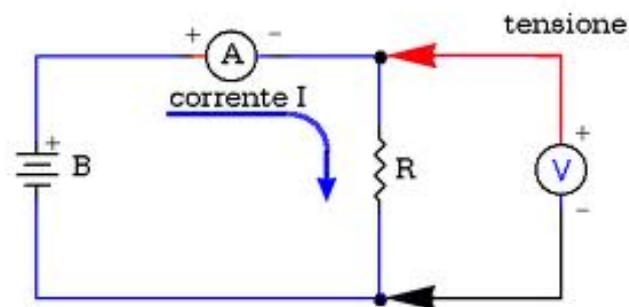
Un circuito elettrico viene realizzato allo scopo di collegare un generatore a uno o più utilizzatori. Gli apparecchi collegati si trovano di solito in punti diversi, spesso molto distanti tra loro, quindi le due "vie" del circuito (andata e ritorno) finiscono per essere realizzate con due conduttori tra loro paralleli e separati da strati di isolante. L'insieme dei due cavi e degli isolanti viene definito linea.

E' necessario che il circuito presenti una continuità del conduttore, in modo da formare un anello chiuso lungo il quale le cariche si possano muovere continuamente. Se la continuità metallica viene interrotta in un qualunque punto del circuito, la corrente cessa di scorrere e l'utilizzatore si spegne. Questo effetto viene sfruttato da appositi apparecchi, detti interruttori, che hanno proprio la funzione di accendere (On) e spegnere (Off) l'utilizzatore.

RESISTENZA E IMPEDENZA

Il passaggio della corrente nei materiali conduttori viene ostacolato dalla natura intrinseca del materiale stesso. In pratica le cariche in movimento vanno a sbattere contro gli atomi del materiale e perdono in questi urti una parte della loro energia. Questo spiega la necessità di continuare ad alimentare il circuito attraverso il generatore: se tale componente venisse a mancare - o fosse semplicemente spento - la circolazione di corrente si arresterebbe.

La grandezza che rappresenta questo fenomeno si chiama Resistenza (simbolo R) e si misura in Ohm (simbolo Ω). Georg Ohm (1789 - 1854) fu lo scienziato che scoprì la legge che prende il suo nome e che lega i valori di tensione, corrente e resistenza in gioco in un circuito.



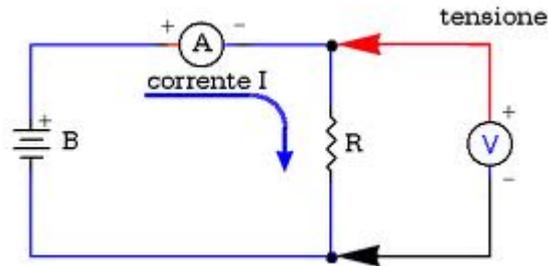
$$V = R \times I \quad \text{legge di Ohm}$$

dimensionalmente

$$\text{Volt} = \text{Ohm} \times \text{Ampere}$$

parte terza
I CIRCUITI ELETTRICI

APPLICAZIONE DELLA LEGGE DI OHM



Nel circuito illustrato la tensione di targa V prodotta dal generatore (batteria B) provoca la circolazione della corrente I nella resistenza R. Questi tre parametri sono legati tra loro dalla legge di Ohm

$$V = R I$$

per cui conoscendo due dei tre valori è sempre possibile calcolare quello mancante.

Ad esempio se fosse $R = 10 \Omega$ (ohm) e $I = 2 \text{ A}$ (ampere) si avrebbe

$$V = R I = 10 \times 2 = 20 \text{ V (volt)}$$

Dalla formula base è possibile ricavare le formule inverse applicando le regole dell'algebra, per cui

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{e} \quad R = \frac{V}{I}$$

Quindi, utilizzando i valori dell'esempio precedente

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20}{10} = 2 \text{ A} \quad \text{e} \quad R = \frac{V}{I} = \frac{20}{2} = 10 \Omega$$

MISURA DELLE PRINCIPALI GRANDEZZE ELETTRICHE

Per misurare ogni grandezza occorre un apposito strumento, che prende generalmente il nome dall'unità di misura della grandezza medesima. Così per misurare le tensioni si utilizza il voltmetro, per le correnti l'amperometro e per le resistenze l'ohmetro. Esistono in commercio strumenti in grado di eseguire tutte queste misure; sono denominati multimetri o tester. Per eseguire le misure gli strumenti devono essere inseriti nel circuito come si vede dall'illustrazione precedente.



RESISTIVITA' DEI MATERIALI

La resistenza interna di un componente dipende dal materiale con cui questo è costruito; la grandezza che tiene conto di questo fattore si chiama resistività, si indica con la lettera greca ρ (rho) e si misura in $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$ (ohm per millimetro quadrato su metro).

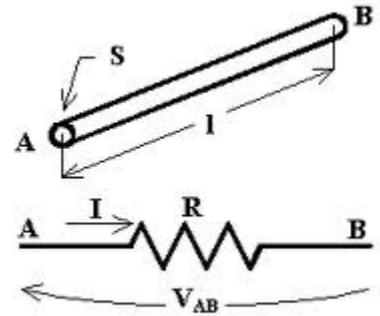
Materiale	resistività $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$	Materiale	resistività $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$
Rame	0,017	gomma	1.000.000.000.000 (mille miliardi)
nichel cromo	0,15		
Alluminio	0,028	pelle umana	500.000

La resistività può cambiare con la temperatura del materiale; in genere tende ad aumentare con la temperatura nei metalli, mentre tende a diminuire nei semiconduttori e a rimanere invariata negli isolanti. I valori in tabella sono riferiti alla normale temperatura ambiente ($20 \text{ }^\circ\text{C}$).

La resistenza del componente dipende inoltre dalle sue dimensioni geometriche; trattandosi in genere di cavi a sezione circolare, queste sono la lunghezza (l), misurata in metri, e la sezione (S), misurata in millimetri quadrati.

La seconda legge di Ohm dice che

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \Omega$$

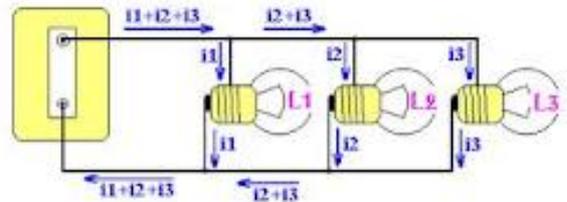


Se quindi prendiamo un conduttore di nichel cromo lungo 20 m e con sezione $0,1 \text{ mm}^2$ la sua resistenza risulta pari a

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0,15 \frac{20}{0,1} = 30 \Omega$$

COLLEGAMENTO DI PIU' UTILIZZATORI A UN CIRCUITO ELETTRICO

Nell'applicazione reale l'impianto elettrico è alimentato da generatori collocati in luoghi remoti (centrali elettriche) e l'energia viene portata agli utenti attraverso linee di trasporto. A queste si collegano i diversi utilizzatori, man mano che se ne ravvisa la necessità. Il collegamento tipico è quello detto "in parallelo", con tutti i carichi collegati ai due fili della linea di alimentazione, in modo che siano soggetti alla stessa tensione.



SCAMBI ENERGETICI NEI CIRCUITI ELETTRICI

L'elettricità è una forma di energia che viene fornita al circuito dal generatore e che gli utilizzatori convertono in altre forme di energia, solitamente meccanica (movimento), luminosa (luce artificiale) o termica (calore). La grandezza più utile per valutare queste trasformazioni è la potenza, definita come quantità di energia trasformata nell'unità di tempo (Joule al secondo) e misurata in Watt, simbolo W. Per grandi quantità si usano anche i multipli: kilo Watt (kW, migliaia di Watt), mega Watt (MW, milioni di Watt), giga Watt (GW, miliardi di Watt).

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} \qquad 1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW} = 1.000.000 \text{ W}$$

$$1 \text{ GW} = 1000 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ kW} = 1.000.000.000 \text{ W}$$

James Joule (1818 - 1889) scoprì che la potenza convertita da un apparecchio elettrico è pari al prodotto della tensione (V) di funzionamento per la corrente (I) in circolazione

$$P = V I \quad \text{W} \qquad \text{legge di Joule}$$

Dimensionalmente Watt = Volt x Ampere

Joule scoprì anche che la corrente elettrica, scorrendo nei conduttori, produce sempre una certa quantità di calore (effetto Joule) in ragione di una potenza calcolabile come prodotto della corrente al quadrato (elevata alla seconda) per la resistenza del conduttore

$$P = R I^2 \quad \text{W}$$

L'effetto Joule viene sfruttato nei riscaldatori elettrici (boliler, forni, fornelli etc.) ma si sviluppa in ogni linea e in ogni apparecchio, provocando dispersioni di energia che



si debbono considerare dannose dal punto di vista tecnico e da quello economico, quindi da ridurre il più possibile.

I cavi con cui sono costruite le linee debbono avere una sezione sufficientemente grande; in caso contrario presentano una resistenza elevata, quindi producono parecchio calore e la loro temperatura si può alzare sino a far fondere la plastica isolante che li ricopre.

Anche il contatto tra parti metalliche diverse presenta una resistenza e quindi in quei punti si sviluppa calore. E' il caso, ad esempio, delle spine inserite nelle prese, altro punto critico per il surriscaldamento, soprattutto quando più spine vengono collegate ad una stessa presa attraverso le cosiddette prese multiple (ladri).

VALUTAZIONE DELL'ENERGIA E DEL SUO COSTO

L'energia (W) convertita in un certo tempo si può calcolare moltiplicando la potenza (P) per quella quantità di tempo (t); se il tempo viene misurato in secondi (s) l'energia calcolata si misura in joule (J)

$$W = P t \quad J \text{ (joule)}$$

Per valutare i consumi di energia elettrica in un impianto (quella che viene fatturata dal produttore, ad esempio ENEL) il joule è però troppo piccolo, quindi poco pratico; in questo caso il tempo viene misurato in ore (simbolo h) e l'unità di misura dell'energia è il wattora (Wh) o il suo multiplo kilowattora (kWh).

Ogni impianto elettrico è dotato di uno strumento, detto contatore di energia, che misura e registra l'energia assorbita dall'utente. Conoscendo il costo unitario dell'energia praticato dai produttori (mediamente 0,18 €/kWh per le utenze domestiche nel 2010) è possibile quindi calcolare il costo di esercizio di un apparecchio elettrico.

Ad esempio: un bollitore elettrico per il riscaldamento dell'acqua ha una potenza nominale di 1500 W e viene tenuto acceso ogni giorno per 6 ore l'energia consumata sarà $W = P t = 1500 \times 6 = 9000 \text{ Wh} = 9 \text{ kWh}$ e il costo di esercizio

$$\text{costo} = W \times \text{costo unitario} = 9 \times 0,18 = 1,62 \text{ € / giorno}$$

quindi se si lavora per 25 giorni al mese la spesa per il boiler sarà

$$\text{spesa} = 1,62 \times 25 = 40,50 \text{ € / mese}$$

Se a uno stesso impianto sono collegati più carichi le loro potenze naturalmente si sommano e così le energie consumate.

EFFICIENZA ENERGETICA

Qualunque apparecchio, per funzionare, deve assorbire energia sotto una certa forma per poi trasformarla in un'altra. In questo passaggio c'è però sempre una parte dell'energia che si perde trasformandosi in calore e passando all'aria ambiente che la disperde. Vale quindi l'equazione

$$W_a = W_r + W_p$$

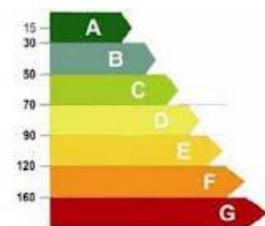
$$\text{energia assorbita} = \text{energia restituita} + \text{perdite}$$

esprimibile anche come

$$P_a = P_r + P_p$$

$$\text{potenza assorbita} = \text{potenza resa} + \text{potenza persa}$$

Da notare che le perdite fanno parte dell'assorbimento, quindi vengono pagate dall'utente pur non dandogli alcun vantaggio, anzi in alcuni casi possono provocare surriscaldamenti fastidiosi, quando non dannosi. L'efficienza energetica, o rendimento del processo, è il parametro che indica la qualità del processo di trasformazione e quindi dell'apparecchio che lo realizza. Si indica con la lettera greca η ed è solitamente espresso in percentuale



$$\eta = \frac{P_r}{P_a} \cdot 100 \quad \%$$

Il rendimento è tanto migliore quanto più si avvicina al 100 %, ma naturalmente non può raggiungere, ne tantomeno superare, tale valore.

GUASTI NEGLI IMPIANTI ELETTRICI

Ogni apparecchio elettrico è costruito per funzionare facendosi attraversare da un determinato valore di corrente, detto corrente nominale (I_n); tale valore può essere indicato sull'apparecchio o può essere calcolato applicando una delle formule inverse della legge di Joule

$$I = \frac{P}{V} \quad A$$

Sino a che la corrente si mantiene entro tale valore il calore prodotto per effetto Joule viene regolarmente smaltito (trasmesso all'ambiente circostante) e la temperatura dell'apparecchio si mantiene a livelli accettabili. Se per qualunque motivo, la corrente supera il valore nominale si produce una cosiddetta sovracorrente: il calore prodotto non riesce più a smaltirsi, la temperatura aumenta e si può arrivare alla fusione dei materiali isolanti, che avviene di solito dai 110 - 120 °C in su.

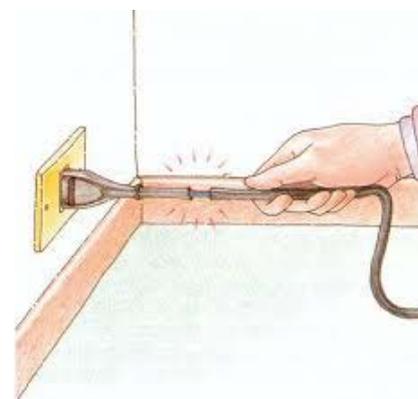


Le sovracorrenti possono essere prodotte da un abbassamento del valore di resistenza inserito nel circuito o da una maggior richiesta di potenza da parte dell'utilizzatore.

CORTO CIRCUITO

In un circuito la maggior parte della resistenza è concentrata nel carico (utilizzatore) ed è quindi quest'ultimo a determinare il valore della corrente in circolazione. Se per un motivo qualunque il carico viene scavalcato (corto circuitato) rimane in gioco solo la resistenza dei cavi, molto bassa, quindi la corrente si porta a valori elevati, spesso di

migliaia di ampere, provocando la produzione di una grande quantità di calore in tempi brevissimi (frazioni di secondo). E' ciò che avviene quando i conduttori di andata e ritorno della linea perdono il loro isolamento e vanno a diretto contatto: il fenomeno viene definito corto circuito e si manifesta con una violenta scarica, luminosa e rumorosa. E' un guasto



distruttivo e molto pericoloso; deve essere immediatamente soppresso e per questo si inseriscono negli impianti appositi dispositivi in grado di interrompere immediatamente e automaticamente la circolazione della corrente: sono gli interruttori magnetotermici e i fusibili (valvole).



SOVRACCARICO



Se ad un impianto vengono collegati troppi carichi, o carichi troppo potenti, la corrente in circolazione può arrivare a superare quella per cui il circuito è dimensionato, pur non assumendo valori così elevati come nel caso corto circuito. Anche in tale situazione i componenti del circuito tendono a surriscaldarsi, seppure in modo più lento, fino al punto di fusione degli isolanti. In tale momento i conduttori attivi, non più separati dall'isolante che si è fuso, possono andare direttamente in contatto tra di loro provocando il corto circuito. La scarica che si genera finisce per investire il materiale plastico fuso e questo può facilmente prendere fuoco, dando luogo ad un principio d'incendio.

Le condizioni di sovraccarico possono però verificarsi - in momenti particolari e per tempi limitati - anche durante il normale funzionamento dell'impianto, per cui la relativa corrente deve essere interrotta automaticamente solo se il fenomeno si protrae oltre i tempi previsti (di solito qualche secondo al massimo).

La protezione da tale fenomeno viene realizzata dagli interruttori automatici magnetotermici.



SOVRATENSIONI

Si parla di sovratensione quando la tensione applicata al circuito si innalza a valori molto superiori rispetto a quelli di normale funzionamento dell'impianto.



Il fenomeno è tipicamente di origine atmosferica (fulmini), più raramente può essere provocato da manovre sugli impianti di distribuzione dell'energia elettrica. Una sovratensione si presenta come un impulso molto rapido (tempi nell'ordine dei microsecondi) e violento.

Nel caso di fulmine la scarica avviene tra nubi e terreno e mette in circolazione correnti con valori dell'ordine di svariate migliaia di ampere e con conseguenti effetti termici particolarmente devastanti.

Se la scarica va a colpire direttamente un edificio si parla di fulminazione diretta; è il caso più eclatante ma di minor frequenza e i danni prodotti sono in genere notevoli. La protezione contro tali fenomeni è costituita dagli impianti parafulmine, che consistono in un insieme di conduttori disposti in modo da intercettare la scarica e deviarla verso terra, dove si disperde.

Più frequente è il caso in cui il fulmine va a colpire qualcosa al di fuori dell'edificio di nostro interesse (un albero, un altro edificio, il terreno, una linea elettrica); si parla allora di fulminazione indiretta. Il fenomeno è in genere meno violento che nel caso precedente, ma la scarica può rientrare nell'edificio attraverso le linee elettriche o altre condutture metalliche (acqua, gas etc.)

Un'onda di sovratensione da fulminazione indiretta risulta in genere particolarmente pericolosa per le apparecchiature elettroniche (computer, schede di automazione per caldaie o cancelli elettrificati e così via) nelle quali provoca in genere danni irreversibili. Ci si protegge da tali fenomeni installando sugli impianti particolari componenti detti scaricatori di sovratensione, ma soprattutto staccando fisicamente gli apparecchi elettronici dalle alimentazioni durante i temporali.



IL TERRENO COME CONDUTTORE

CONCETTO DI POTENZIALE

Con il termine 'potenziale' si intende in elettrotecnica la quantità di energia elettrica presente in un certo punto del circuito. Potrebbe essere paragonato, in campo idraulico, ad una certa quantità d'acqua accumulata in un punto posto ad una certa altezza dal suolo; così come l'acqua, per effetto della gravità terrestre, tende a scendere dall'alto verso il basso, anche l'elettricità tende a portarsi da un punto a maggior contenuto energetico (maggiore potenziale) verso uno ad energia (potenziale) minore, dando luogo allo scorrimento di cariche che si definisce corrente. La differenza energetica tra i due punti si può definire differenza di potenziale (d.d.p.) e non è nient'altro che la tensione (in Volt) tra i punti medesimi.

LA 'TERRA'

Il terreno - comunemente indicato con il generico nome di 'terra' - e buona parte delle strutture edilizie si comportano come dei buoni conduttori in quanto, pur presentando valori di resistività piuttosto elevati, mettono in genere a disposizione delle correnti elettriche grandi sezioni di attraversamento e quindi, per la seconda legge di Ohm, finiscono per avere resistenza particolarmente bassa.

Verso il terreno - il cui potenziale è considerato convenzionalmente pari a zero - tendono naturalmente ad indirizzarsi tutte le correnti, comprese quelle di origine naturale (vedi il fenomeno dei fulmini), che lì si annullano o tornano all'origine.

Negli impianti elettrici di distribuzione uno dei due conduttori viene normalmente collegato a terra e pertanto il terreno costituisce un punto detto a 'potenziale zero', quindi intrinsecamente sicuro. Pertanto qualunque corpo conduttore può essere reso non pericoloso - per le persone in particolare - collegandolo elettricamente 'a terra'.

LE CORRENTI ELETTRICHE NEL CORPO UMANO



Il corpo umano, come quello di tutti gli altri animali superiori, è composto per la maggior parte di acqua e tende quindi a comportarsi come un conduttore elettrico con una resistenza - misurata tra mano e mano o tra mano e piede - dell'ordine delle migliaia o delle decine di migliaia di ohm. Gli studi fisiologici hanno dimostrato come correnti elettriche di piccolo valore (al di sotto dei 30 mA) non comportano problemi per l'organismo, anzi, in alcuni casi possono avere effetti benefici e vengono quindi utilizzate per trattamenti estetici o sanitari. Correnti di valore superiore (fenomeno di folgorazione o elettrocuzione) possono invece provocare seri danni.

DANNI PROVOCATI DALLA FOLGORAZIONE

- Ustioni (bruciature): sono dovute al riscaldamento dei tessuti per effetto joule; si verificano soprattutto nei punti di contatto tra l'organismo e le parti elettriche in tensione, quindi sulla pelle, poiché lì si concentra la maggior parte della resistenza.
- Tetanizzazione: la corrente percorre i fasci nervosi, sovrapponendosi agli impulsi elettrici che il cervello manda ai vari muscoli; questi tendono a contrarsi, impedendo alla persona folgorata di staccarsi dal punto di contatto (si usa dire che la scossa "attacca") e prolungando così i tempi di sviluppo del fenomeno e, di conseguenza, la sua pericolosità. In altri casi

si può avere l'effetto opposto, per cui la persona folgorata viene violentemente "lanciata" lontano.

- Fibrillazione cardiaca: la tetanizzazione può interessare anche il muscolo cardiaco (cuore) che può perdere il suo normale battito e "impazzire" sino ad arrivare a lacerarsi (infarto) o a fermarsi completamente. Si ricordi che l'arresto del flusso sanguigno al cervello può provocare danni irreversibili (ictus cerebrale) se permane per più di qualche minuto.
- Morte: può avvenire per l'estremizzazione dei fenomeni sopra descritti. Numerosi sono gli incidenti da folgorazione con effetto mortale che si verificano ogni anno nel nostro paese.

PROTEZIONE DELLE PERSONE DALLE FOLGORAZIONI

FOLGORAZIONE

Il passaggio incontrollato di corrente elettrica nel corpo umano risulta in genere dannoso e tale fenomeno è definito folgorazione o elettrocuzione. Il fenomeno avviene in genere quando due punti del corpo umano toccano contemporaneamente punti a diverso potenziale, quali i due conduttori di una linea o un conduttore e il terreno (folgorazione diretta), oppure una massa metallica andata in tensione per difetto di isolamento e il terreno (folgorazione indiretta).

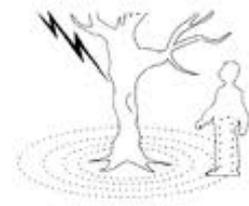
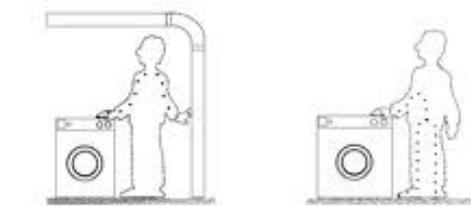
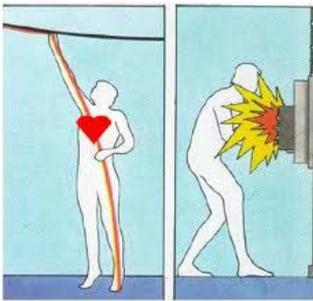
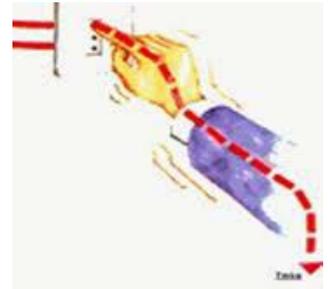


Fig. 5 - Percorso della corrente Fig. 6 - Percorso della corrente Fig. 7 - Percorso della corrente

PROTEZIONE PASSIVA

Il miglior modo di impedire una folgorazione è quello di impedire la circolazione di corrente nel corpo umano.

Isolamento

A ciò si può arrivare isolando opportunamente le parti "attive" dell'impianto,



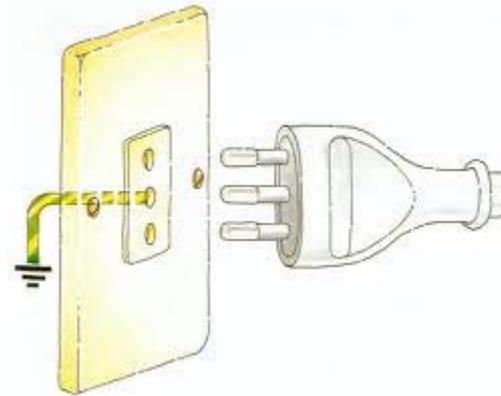
cioè tutti quei componenti che devono essere normalmente sotto tensione per permettere il funzionamento dell'impianto medesimo. Per questo le parti metalliche, conduttrici, dei componenti (cavi, morsetti, contatti e quant'altro) vengono ricoperte da strati di materiale isolante; ricordando poi che l'aria, nelle normali condizioni ambientali, si comporta anch'essa come un ottimo isolante, si può ottenere un'efficace protezione lasciando le parti conduttrici scoperte, ma collocandole in posizioni tali da non poter essere toccate. In ogni caso la protezione più efficace consiste nella continua attenzione da parte delle persone al non "mettere le mani" (o altra parte del corpo!..) in punti che potrebbero essere in qualunque caso pericoloso.

Per chi invece dovesse comportarsi in tal modo per inderogabili necessità, ad esempio i tecnici addetti alle manutenzioni, la prima precauzione è quella di togliere tensione - mediante l'azionamento degli appositi interruttori generali - prima di ogni intervento. Ove ciò non fosse possibile (continuità di servizio) è prescritto l'impiego di appositi dispositivi individuali di protezione (DPI) quali scarpe, guanti,

visiere e caschi isolanti e di mezzi ausiliari tipo le pedane isolanti e gli attrezzi con impugnature isolate.

Messa a terra

Un caso particolare di folgorazione (elettrocuzione indiretta) è

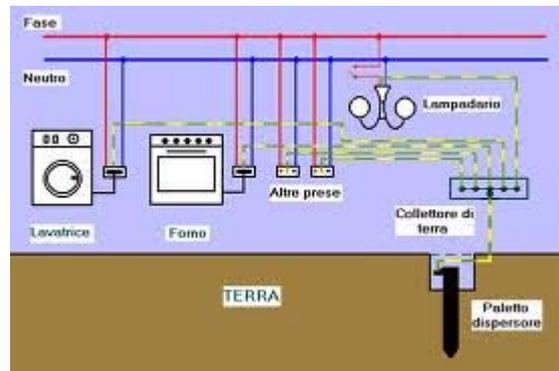


quello che può verificarsi quando una parte metallica normalmente non in tensione - ad esempio la carcassa metallica di un elettrodomestico - viene a trovarsi collegata ai conduttori attivi per guasto dell'isolamento (cavo spellato o staccato dai morsetti etc.) E' un caso particolarmente subdolo, in quanto gli operatori pensano di toccare qualcosa di non pericoloso e invece subiscono una folgorazione, tipicamente tra le mani che toccano la carcassa divenuta pericolosa e i piedi poggiati a terra: si



genera la cosiddetta corrente di dispersione che percorre il corpo umano provocando la folgorazione.

Particolarmente efficace si rivela in questi casi il collegamento "a terra" delle masse metalliche "normalmente non in tensione", tanto che tale espediente è reso obbligatorio da specifiche disposizioni di legge. La "messa a terra" consiste nel prevedere un cavo che collega la massa metallica al terreno attraverso un apposito impianto, detto appunto impianto di terra o di protezione; si tratta in pratica di offrire alla corrente di dispersione una "via" preferenziale, a bassa resistenza (pochi ohm a fronte di qualche migliaio nel corpo umano) che la tolga dal circuito umano sensibile.



Tutti gli impianti elettrici funzionanti a tensione superiore a 25 V devono essere muniti di messa a terra. Il conduttore di protezione viene individuato da un isolante di ricopertura in colore giallo - verde e i suoi punti di collegamento sono contrassegnati dall'apposito simbolo. E' tassativamente vietato - sarebbe un comportamento criminale! - eliminare o interrompere in qualunque modo tale collegamento.

PROTEZIONE ATTIVA

Alle precedenti considerazioni occorre aggiungerne altre tre:

1. il passaggio di corrente nel corpo umano è tanto più dannoso quanto maggiore è la sua durata
2. la semplice messa a terra delle masse metalliche, per quanto efficace, può non risultare sufficiente ad un'adeguata protezione delle persone
3. in caso di folgorazione diretta la messa a terra non ha, evidentemente, alcun effetto di protezione

Da questo deriva la necessità di interrompere la corrente di folgorazione nel minor tempo possibile o, ove possibile, di evitare che tale fenomeno si verifichi.

Interruttore differenziale (salvavita)

La corrente di dispersione, quella che provoca la folgorazione, è una parte di quella che arriva dalla linea, ma non vi ritorna in quanto, appunto, si disperde verso terra.

Il differenziale è un apparecchio in grado di rilevare questo fenomeno, cioè di calcolare quanta corrente di quella in arrivo non ritorna alla linea, ma si disperde verso terra; se tale valore supera una soglia di sicurezza preimpostata - detta corrente differenziale nominale e indicata come $I_{\Delta n}$ - vengono

automaticamente aperti i contatti di un interruttore generale, togliendo così tensione all'intero impianto in tempi pari a frazioni di secondo.

Nel caso di difetto d'isolamento in un apparecchio il differenziale interviene al verificarsi del guasto, quindi, verosimilmente, prima che qualcuno prenda la scossa toccando la massa metallica andata accidentalmente in tensione.

Nel caso di contatto diretto tra una parte in tensione con dispersione verso terra attraverso il corpo umano il differenziale interviene al momento del contatto stesso; il soggetto prende la scossa, ma questa dura così poco da non risultare pericolosa. Questo avviene anche nel caso che la messa a terra della massa metallica risulti non funzionante.

Nel caso di contatto con due parti in tensione dell'impianto e mancanza di dispersione a terra il differenziale invece non interviene.

L'apparecchio quindi non è in grado di garantire una protezione totale, quindi la sua sola presenza non è da ritenersi sufficiente.

La presenza contemporanea di messa a terra e interruttore differenziale riesce comunque a garantire la protezione delle persone nella maggior parte dei casi di folgorazione, tanto che la loro installazione su ogni impianto utilizzatore è resa obbligatoria dalle normative di legge in materia di sicurezza. Si può derogare da tale obbligo solo dove la tensione di funzionamento dell'impianto risulta inferiore a 25 V e quindi non pericolosa.

Il buon funzionamento dei differenziali deve essere verificato periodicamente (almeno una volta ogni sei mesi) mediante l'azionamento dell'apposito tasto di prova: in caso di mancato intervento l'apparecchio va immediatamente sostituito. Nei luoghi di lavoro l'intero impianto elettrico deve essere verificato ogni due o tre anni da un tecnico qualificato che rilascia apposita relazione.



INTERVENTI MINIMI DI PRONTO SOCCORSO IN CASO DI FOLGORAZIONE

- Se possibile in tempi rapidissimi, togliere tensione all'impianto.
- Staccare la persona folgorata dal punto di contatto badando a non toccarne direttamente il corpo, onde evitare di venire a nostra volta folgorati: spingerlo con l'impiego di oggetti isolanti, o stando con i



piedi appoggiati su superfici isolanti, o urtandolo con le spalle o con i piedi calzati da scarpe pesanti.

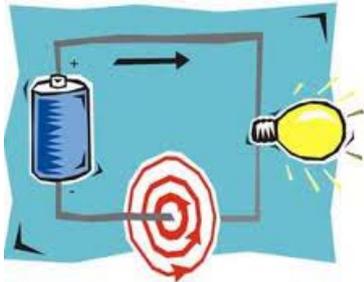
- Distendere il corpo supino, col capo rivolto di lato in modo da evitare il soffocamento.
- In caso di arresto respiratorio praticare la respirazione artificiale.
- In caso di fibrillazione cardiaca può essere

risolutivo l'impiego del defibrillatore, ma tale intervento va praticato da personale appositamente addestrato.



CORRENTI ELETTRICHE E CAMPI MAGNETICI

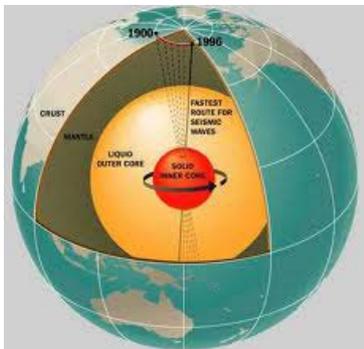
Il magnetismo è un fenomeno fisico che si presenta in natura come campo di forze generato dal pianeta terra (magnetismo naturale). I fenomeni elettrici e quelli magnetici sono strettamente legati tra di loro e di fatto interdipendenti: dove c'è elettricità c'è sempre magnetismo e viceversa.



E' dimostrato che intorno a un conduttore elettrico percorso da corrente si sviluppa un campo magnetico e che quando un campo magnetico "in movimento" investe un conduttore, in questo si genera una forza



elettromotrice (legge di Lenz). Si ipotizza che lo stesso campo magnetico terrestre sia generato da fortissime correnti che circolerebbero nel nucleo del pianeta, costituito per la maggior parte di ferro e altri metalli.

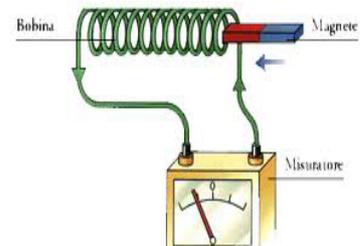


Nei fenomeni magnetici si individua una grandezza fondamentale detta flusso magnetico e indicata con la lettera greca Φ (fi, corrispondente alla nostra F maiuscola); il flusso può essere visto come l'equivalente della corrente in campo elettrico e si misura in weber (simbolo Wb).

Il flusso circola più facilmente in certi tipi di materiali, in particolare il ferro e i suoi derivati (ghise, acciai etc.) detti ferromagnetici; ad opporsi a tale circolazione è il fattore

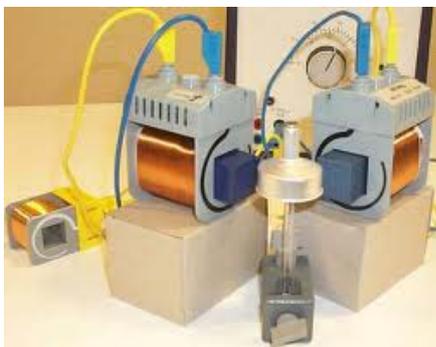
detto riluttanza (simbolo \mathcal{R}), equivalente alla resistenza in campo elettrico.

I fenomeni di correlazione tra correnti e campi magnetici vengono sfruttati in campo tecnico attraverso i cosiddetti avvolgimenti o bobine. Una bobina si realizza avvolgendo a spirale un conduttore in modo da farne stare parecchi metri in poco spazio. Questo permette di "concentrare" gli effetti di correlazione, aumentandone la "forza".

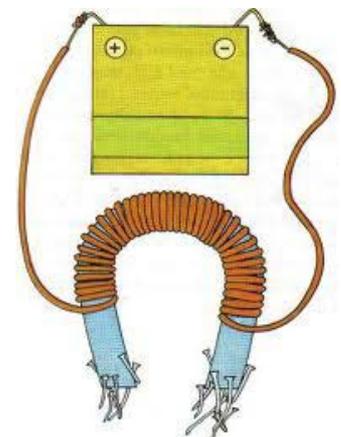


ELETTROMAGNETI E MOTORI ELETTRICI

Facendo percorrere da corrente il conduttore di una bobina, all'interno di questa si genera un campo magnetico, il cui flusso può essere ulteriormente concentrato inserendo un



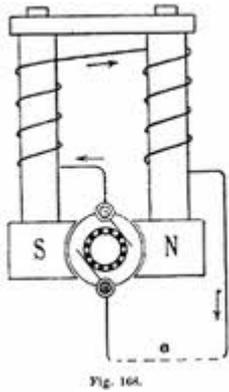
nucleo di ferro. Il campo magnetico è in grado di attirare - o respingere - i corpi ferrosi provocandone il movimento. Questo è il principio di funzionamento delle elettrocalamite, che trovano innumerevoli applicazioni in campo tecnico. Disponendo più avvolgimenti in circolo è possibile far ruotare il campo magnetico generato



dalla corrente e quindi creare un movimento rotatorio che può essere trasmesso ad appositi organi meccanici: è il principio di funzionamento del motore elettrico.

GENERATORI ELETTROMAGNETICI

Facendo ruotare un campo magnetico in corrispondenza di avvolgimenti disposti opportunamente - di solito in circolo - in questi si genera una forza elettromotrice (tensione); se tali avvolgimenti vengono collegati a uno o più utilizzatori a formare un circuito chiuso si instaura una circolazione di corrente, quindi il sistema magneti - avvolgimenti si comporta come un generatore che trasforma l'energia meccanica (movimento del magnete) in energia elettrica.



Il tipo di movimento più comodo da produrre è quello rotatorio, ottenibile da macchine meccaniche (turbine) funzionanti con la forza di caduta dell'acqua (idrauliche) o con la spinta del vapore; queste sono collegate meccanicamente alle macchine elettriche (generatori rotanti) che contengono i magneti e gli avvolgimenti: possono essere dinamo o alternatori.

CORRENTI CONTINUE E CORRENTI ALTERNATE

La forza elettromotrice prodotta da un generatore può spingere le cariche sempre nella stessa direzione e con la stessa "forza", oppure scambiare il verso di spinta ad intervalli di tempo regolari, variando contemporaneamente la "forza" di spinta. Le correnti che circolano seguono anch'esse tali comportamenti: nel primo caso si parla di corrente continua, nel secondo di corrente alternata.

Le forze elettromotrici continue vengono prodotte da generatori elettrochimici, quali pile o batterie, dalle dinamo (generatori rotanti) e dalle celle fotovoltaiche che sfruttano l'energia solare; le tensioni alternate sono prodotte da grandi generatori rotanti detti alternatori.

Esistono utilizzatori elettrici costruiti per funzionare in corrente continua; in genere presentano una piccola potenza, bassa tensione di alimentazione e piccole dimensioni e questo ne permette la portabilità in quanto sono alimentabili con pile o batterie ricaricabili. A questa categoria appartengono tutte le apparecchiature elettroniche.

Esistono utilizzatori costruiti per funzionare in corrente alternata; in genere presentano potenze medie o elevate e tensione di alimentazione "di rete" (tipicamente 230 V per le apparecchiature "civili" e 400 V per quelle industriali). L'energia elettrica legata alle correnti alternate non è accumulabile in pile o batterie, quindi tali apparecchiature hanno bisogno del collegamento permanente alla linea di alimentazione costituita dall'impianto elettrico.

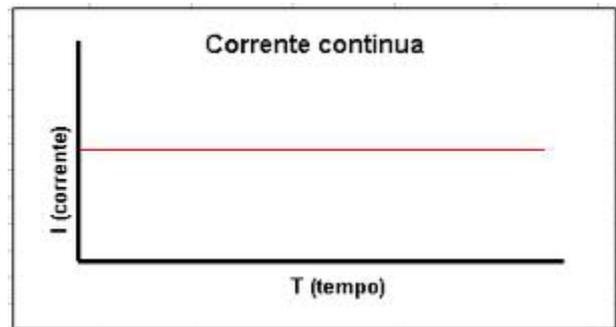
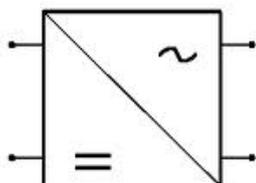


Diagramma blocchi inverter monofase



Morsetti lato corrente continua

Morsetti lato corrente alternata

Con l'impiego di apposite apparecchiature (alimentatori stabilizzati o raddrizzatori) è possibile convertire la corrente alternata in continua, sopperendo così alla scarsa durata delle batterie. Esistono poi apparecchi (inverter) in grado di convertire la corrente continua in alternata, permettendo così la mobilità dei relativi utilizzatori,

purché di potenza non troppo elevata.

In corrente alternata è relativamente facile alzare e abbassare la tensione di funzionamento degli impianti attraverso i trasformatori. Questa tecnica viene utilizzata

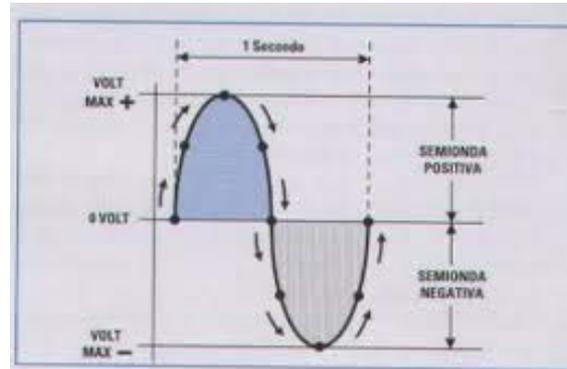
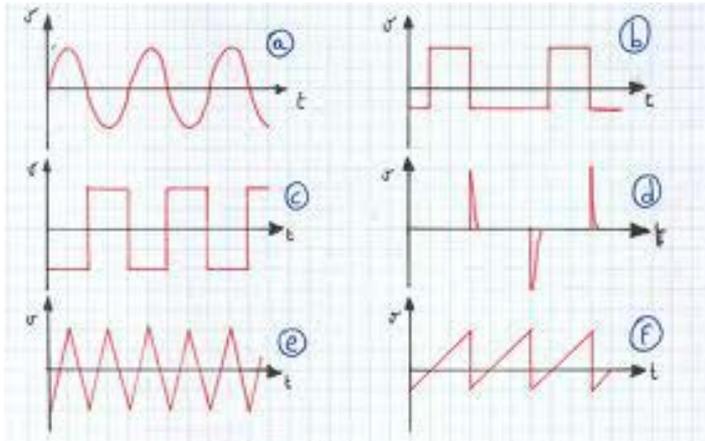


nelle grandi linee di trasporto dell'energia che funzionano a tensioni dell'ordine delle centinaia di migliaia di volt; questo permette di abbassare le correnti in circolazione e quindi di ridurre drasticamente le perdite per effetto joule.

GRANDEZZE CARATTERISTICHE DELLE CORRENTI ALTERNATE

FORMA D'ONDA

Le variazioni nel tempo delle correnti e delle tensioni alternate vengono rappresentate con diagrammi cartesiani.



Tali grafici disegnano le cosiddette onde, con un andamento periodico, che si ripete cioè ad intervalli di tempo regolari; il disegno può avere una forma (forma d'onda) curvilinea, detta

sinusoidale, a gradini rettangolari, a triangoli o a dente di sega.

Il tempo che trascorre tra l'inizio e la fine di ogni onda (oscillazione) si definisce periodo, si rappresenta con il simbolo T e si misura in secondi o loro sottomultipli (millisecondi, microsecondi, nanosecondi).

Il numero di oscillazioni (onde) che si presentano nell'unità di tempo si definisce frequenza del segnale; tale grandezza si rappresenta con il simbolo f e si misura in hertz (Hz) o loro multipli (kHz, MHz, GHz).

Tra periodo e frequenza esiste il legame

$$f = \frac{1}{T}$$

In corrente alternata vale la legge di Ohm, ma i fenomeni che si oppongono alla circolazione delle cariche sono più complessi che in corrente continua; se ne tiene conto con una grandezza chiamata impedenza, con simbolo Z e unità di misura ohm; la formula base diviene quindi

$$V = Z I$$

Vale anche la legge di Joule, dove la maggior complessità dei fenomeni viene presa in considerazione introducendo un ulteriore parametro detto fattore di potenza e rappresentato da $\cos \varphi$ (cosfi); si tratta di un numero puro, cioè privo di unità di misura. La formula base della legge di Joule diventa quindi

$$P = V I \cos \varphi$$



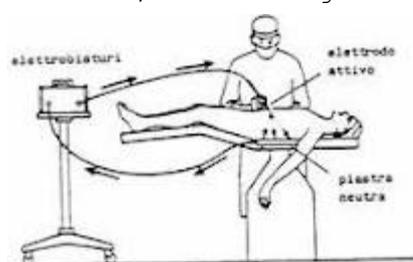
Il fattore di potenza può assumere valori compresi tra 0 e 1; nelle applicazioni pratiche i suoi valori sono in genere compresi tra 0,8 e 0,95; è bene che il valore del fattore di potenza sia il più alto possibile (1 è

il valore ottimale) poiché i valori più bassi provocano un dannoso elevamento della corrente che circola nell'impianto e tale situazione viene sanzionata dal distributore di energia elettrica (con l'applicazione della penale). Nel caso ciò avvenisse è possibile intervenire con un'operazione denominata rifasamento, che consiste nell'aggiungere all'impianto appositi apparecchi detti condensatori.

EFFETTI FISIOLOGICI DELLE CORRENTI ALTERNATE

Nell'attraversare gli organismi viventi, corpo umano compreso, le correnti alternate presentano effetti in genere più accentuati di quelle continue, tanto che il loro limite di non pericolosità è fissato dalle norme di sicurezza a 25 V, a fronte dei cinquanta indicati "in continua". In particolare sono più forti gli effetti della tetanizzazione muscolare e dei conseguenti, possibili, fenomeni di fibrillazione e infarto cardiaci. Tali fenomeni si accentuano tanto più quanto aumenta la frequenza del segnale.

Quantità di corrente limitate nell'intensità e nel tempo di circolazione possono avere però effetti benefici, che vengono spesso sfruttati in campo



medico o estetico attraverso appositi strumenti. Funzionano in tal modo apparecchi di diagnosi quali elettrocardiografi ed elettroencefalografi, strumenti di pronto intervento quali i defibrillatori o di intervento chirurgico come gli elettrobisturi.



Le alte frequenze provocano particolari fenomeni di riscaldamento locale che a loro volta possono indurre la frammentazione delle cellule che compongono i tessuti dell'organismo. Il fenomeno, opportunamente controllato, viene impiegato nei trattamenti di termolisi; in campo estetico si impiega la termolisi ad ago nei trattamenti di depilazione: la corrente ad alta frequenza scioglie e brucia il bulbo pilifero che viene definitivamente eliminato.

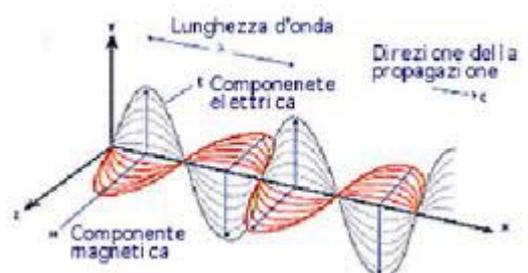


RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE

Una corrente alternata produce un campo magnetico con la sua stessa forma d'onda e la medesima frequenza; i due effetti si sovrappongono e danno luogo alla formazione di un fenomeno che comporta la produzione di energia - detta elettromagnetica - che si presenta come un'onda in grado di staccarsi dal conduttore elettrico e di propagarsi nello spazio attraversando praticamente qualunque tipo di materiale, compreso il vuoto. La velocità di propagazione di tali onde è molto elevata - circa 300.000 km/s - pari a quella della luce, che difatti è anch'essa una radiazione elettromagnetica. Conoscendo tale velocità v è quindi possibile calcolare lo spazio percorso dall'onda nell'unità di tempo; questo viene definito lunghezza d'onda, si rappresenta con λ (lambda) e si misura in metri o suoi sottomultipli; il suo valore sarà legato al tempo di oscillazione, cioè al parametro T , dalla formula

$$\lambda = v T$$

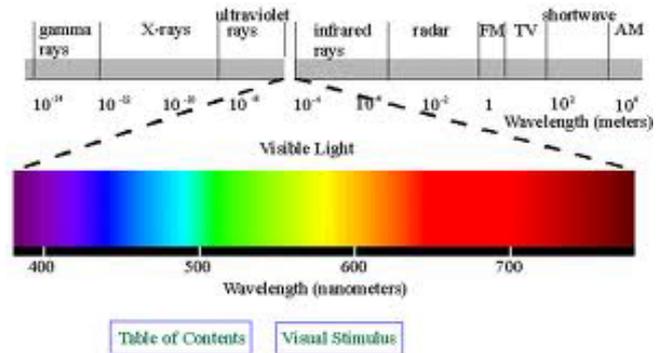
ricordando poi che $T = 1 / f$ potremo dire che $\lambda = v / f$. Dal che deriva che la lunghezza d'onda diminuisce all'aumentare della frequenza (legge di proporzionalità inversa).





Guglielmo Marconi scoprì come sia possibile, partendo da una corrente alternata, generare una radiazione elettromagnetica attraverso un apposito circuito elettronico (oscillatore), "lanciarla" nello spazio attraverso un trasmettitore (antenna trasmittente), raccogliendola, anche a distanze molto elevate, con un'antenna ricevente e ricavarne un segnale alternato identico a quello di partenza: così inventò il telegrafo senza fili. In seguito si scoprì che è anche possibile "modulare" la radiazione di base (onda portante) facendo

in modo che porti con sé un segnale acustico o ottico: è il principio di funzionamento delle moderne telecomunicazioni "senza fili" (wireless), dalla radio, alla televisione alla telefonia cellulare. Molte forme di energia si possono diffondere sotto forma di radiazioni (energia radiante); tali forme (termica, luminosa, nucleare etc.) si differenziano per la lunghezza d'onda (o per la loro frequenza).



SPETTRO ELETTROMAGNETICO

Tipo di radiazione elettromagnetica	Frequenza	Lunghezza d'onda
Onde radio	≤ 3 GHz	≥ 10 cm
Microonde	3 GHz – 300 GHz	10 cm – 1 mm
Infrarossi	300 GHz – 428 THz	1 mm – 700 nm
Luce visibile	428 THz – 749 THz	700 nm – 400 nm
Ultravioletti	749 THz – 30 PHz	400 nm – 100 nm
Raggi X	30 PHz – 300 EHz	100 nm – 1 pm
Raggi gamma	≥ 300 EHz	≤ 1 pm

EFFETTI FISIOLGICI DELLE RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE

Riscaldamento da infrarosso.

I raggi infrarossi sono una delle forme di trasmissione del calore (calore radiante) e i corpi che ne vengono investiti, ricevendo tale calore, tendono a

riscaldarsi. Il fenomeno viene normalmente sfruttato in molti apparecchi di riscaldamento.

Abbronzatura da ultravioletto (UV)

I raggi ultravioletti sono il principale agente del fenomeno di pigmentazione della pelle detto comunemente abbronzatura. Sono inoltre sfruttati per la loro grande potenza disinfettante (germicida), cioè per la capacità di uccidere rapidamente tutti quei microrganismi (batteri, funghi, microfauna) che hanno comportamento patogeno (portatore di malattie).

Quando si considera l'effetto dei raggi UV sulla salute umana, la gamma delle lunghezze d'onda UV è in genere suddivisa in UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) e UV-C (280-100 nm). Il sole emette luce ultravioletta in tutte e tre le bande UV-A, UV-B e UV-C, ma a causa dell'assorbimento da parte della fascia di ozono posizionata nella parte alta dell'atmosfera terrestre (ozonosfera) circa il 99% degli ultravioletti che arrivano sulla superficie terrestre sono UV-A. Infatti praticamente il 100% degli UV-C e il 95% degli UV-B è assorbito dall'atmosfera.

Gli UV-A sono i meno dannosi a livello di scottature, ma sono i principali responsabili dell'invecchiamento della pelle e ad alte dosi possono causare ustioni e una sindrome denominata acne di Maiorca.

Anche gli UVB fanno la loro parte. Alte intensità di UV-B sono dannose per gli occhi e un'esposizione prolungata può causare il cosiddetto flash di Welder (foto cheratiti). Sia gli UV-B che gli UV-C danneggiano le fibre di collagene, e quindi accelerano l'invecchiamento della pelle. Gli UVA penetrano più in profondità nella pelle, rispetto agli UV-B che gli UV-C, e alterano (danneggiano) le cellule che producono le fibre di collagene o fibroblasti. Recenti studi hanno dimostrato che i filtri (creme) solari proteggono bene contro i raggi UV-B, ma poco contro i raggi UV-A, i maggiori responsabili dell'invecchiamento solare. L'80 per cento delle rughe è provocato dal sole.

Gli UV-B sono ritenuti una delle cause di cancro alla pelle (melanoma) in quanto la radiazione ionizza le molecole di DNA delle cellule della pelle portando facilmente a delle mutazioni, che spesso sfociano in episodi di cancro.

Come difesa contro la luce ultravioletta, dopo una breve esposizione il corpo si abbronzia rilasciando melanina, un pigmento scuro. La quantità di melanina varia a seconda del tipo e del colore della pelle. La melanina aiuta a bloccare la penetrazione degli UV e impedisce che questi danneggino la parte profonda della pelle. Creme solari che bloccano parzialmente gli UV sono disponibili in commercio. Nonostante ciò, gran parte dei dermatologi raccomanda di non esporsi troppo al sole estivo, specialmente nelle ore centrali della giornata. A maggior protezione degli occhi è appropriato l'utilizzo di lenti protettive costruite con appositi materiali in resina o vetrosi.

Un effetto positivo della luce UV è che induce la produzione di vitamina D nella pelle.

Riscaldamento da microonde.



La radiazione "mette in agitazione" le molecole d'acqua contenute nei tessuti viventi, con conseguente forte produzione di calore. E' il fenomeno sfruttato nei forni a microonde, ma che si verifica anche in presenza di apparecchi, quali i telefoni cellulari, che producono radiazioni con frequenze dell'ordine dei GHz, anche se con potenze molto limitate (pochi mW). Problemi analoghi vengono creati dalle grandi linee di trasporto dell'energia elettrica che funzionano a bassa frequenza (50 Hz), ma con potenze molto elevate (MW).

parte sesta

LE CORRENTI ELETTRICHE E IL CORPO UMANO **effetti ed impieghi in campo medico ed estetico**

ELETTROTHERAPIA

Gli effetti principali di una corrente elettrica applicata ad un tessuto corporeo sono rappresentati dall'effetto eccitomotore (stimola il movimento dei muscoli), termico, trofico (aumento della massa biologica del tessuto), analgesico (riduzione del dolore), chimico (modifica della composizione dei tessuti).

CLASSIFICAZIONE DELLE CORRENTI TERAPEUTICHE

1. CORRENTE CONTINUA

a) corrente galvanica: galvanizzazione, ionoforesi

2. CORRENTI VARIABILI A BASSA FREQUENZA

a) correnti diadinamiche: monofase, monofase interrotta, bifase, bifase interrotta, diadinamiche corto periodo e diadinamiche lungo periodo, isodinamiche

b) elettrolipolisi

c) tens

3. CORRENTI VARIABILI A MEDIA FREQUENZA

a) correnti interferenziali: interferenziali, interferenziali autoscan, interferenziali

a) isopotenziali, campo direzionale manuale, campo direzionale automatico

b) medie frequenze modulate

c) correnti di Traebert

d) treni d'impulsi

4. CORRENTI VARIABILI-ELETTROTHERAPIA DI STIMOLAZIONE MUSCOLARE

a) muscoli normalmente innervati o in via di re innervazione: correnti rettangolari, correnti triangolari, corrente faradica.

b) muscoli ipotrofici: correnti di Kotz

DESCRIZIONE DELL'IMPIEGO E DEGLI EFFETTI

1. CORRENTI GALVANICHE

L'applicazione di questa corrente continua unidirezionale avviene in maniera corretta solo se vengono applicate alcune regole basilari.

La cute in effetti presenta una scarsa conducibilità, dovuta allo strato corneo dell'epidermide. La corrente però può penetrare in profondità attraverso i dotti (pori) sudoripari e sebacei ed i canali piliferi.

Prima dell'applicazione la pelle andrebbe pulita con un detergente in maniera da togliere il sebo e le impurità della pelle. La conduzione cutanea viene facilitata interponendo tra cute ed elettrodi una spugna inumidita con soluzione fisiologica di sale o di acqua salata.

- Galvanizzazione -

Effetto analgesico (antalgico) e trofico.

L'azione analgesica si verifica sotto l'elettrodo positivo ed è dovuta ad una riduzione dell'eccitabilità del nervo sensitivo attraverso un'iperpolarizzazione (aumento di carica elettrica) che diminuisce l'eccitabilità delle terminazioni sensitive stesse; l'elettrodo negativo viene applicato alla radice dell'arto, sul dorso o in sede lombare.

L'effetto trofico viene ottenuto invece usando il catodo (polo negativo) come elettrodo attivo e l'anodo (polo positivo) come elettrodo di ritorno della corrente (elettrodo indifferente). E' legato all'effetto sul metabolismo cellulare e anche a quello sulla mobilità dei vasi conduttori (vasomotilità) del



sangue, evidenziato dalla presenza sulla cute, nella zona di applicazione, di un arrossamento dovuto alla dilatazione dei capillari sottostanti l'elettrodo con un aumento del flusso e della velocità ematica (del sangue). Questo effetto (iperemia) può durare anche per alcune ore dopo la galvanizzazione.

Vanno adottati alcuni accorgimenti da cui dipende l'efficacia e la correttezza dell'applicazione.

Tecnica di applicazione

Gli elettrodi vanno inseriti in una tasca di spugna imbevuta di una soluzione di sale in acqua (soluzione fisiologica); il contatto tra elettrodi e cute deve essere omogeneo in maniera da evitare il cosiddetto «effetto di punta» che si manifesta quando il contatto tra cute ed elettrodo si restringe ad una zona esigua o quando la spugnetta non è imbevuta in modo omogeneo. Ciò può provocare danni cutanei con causticazioni (bruciature per effetto chimico) e ustioni senza che il paziente se ne accorga. Gli elettrodi, inoltre, devono essere di grandezza adeguata ed adatti nella loro forma alla superficie corporea da trattare. Nelle applicazioni a scopo analgesico l'elettrodo attivo, che è il positivo, deve essere più piccolo dell'elettrodo indifferente.

Gli elettrodi odierni sono costruiti in gomma caricata con polveri conduttive (alcuni usano ancora quelli in piombo) e sono dotati di buona flessibilità per adattarsi alla superficie di trattamento, bassa resistenza specifica al flusso di corrente, ottima omogeneità di distribuzione della componente conduttiva.

L'elettrodo si degrada nel tempo e con l'uso: è buona norma generale sostituire gli elettrodi, in ogni caso, almeno una volta all'anno, o prima a seconda dell'usura.

L'intensità della corrente va regolata in rapporto alla zona cutanea trattata e non deve comunque essere superiore ad 1 mA per cm³ di elettrodo, pena il rischio di ustioni cutanee. Generalmente il paziente deve avvertire un pizzicore.

Una seduta di galvanizzazione dura in genere dai 20 ai 30 minuti.

Controindicazioni

Soluzioni di continuo della cute, malattie della pelle, protesi metalliche nella zona di applicazione, portatori di pacemaker, problemi cardio-polmonari

- Ionoforesi -

È una metodica largamente diffusa che sfrutta il flusso di corrente continua unidirezionale per introdurre nel corpo sostanze medicamentose attraverso la cute e ai muscoli; per mezzo della corrente continua, si può avere una migrazione di ioni che obbediscono alla legge della polarità (ioni negativi che migrano nella direzione del polo positivo e viceversa) e che inserendosi nel flusso di corrente penetrano nell'organismo attraverso i dotti sudoripari e sebacei ed i canali piliferi.

Una volta avvenuto un legame con gli ioni dei tessuti superficiali si costituisce un deposito farmacologico destinato poi ad essere mobilitato attraverso la circolazione del sangue. L'effetto è molto superiore a quello ottenibile con la semplice applicazione dei prodotti (pomate o simili) sulla superficie cutanea. La pulizia della pelle prima di una seduta ionoforetica è fondamentale per la penetrazione del farmaco.

Tecnica di applicazione

Per quanto riguarda l'applicazione degli elettrodi valgono le stesse norme di cui abbiamo parlato a proposito della galvanizzazione. La zona da trattare va sgrassata con acqua e sapone, o alcool denaturato, per togliere le impurità della pelle. È indispensabile che la durata del trattamento sia di almeno 30 minuti; la cadenza delle applicazioni deve essere quotidiana per un ciclo complessivo di 12-15 sedute.

Controindicazioni

La ionoforesi non è praticabile: su portatori di pacemakers, affetti da cardiopatie o turbe del ritmo cardiaco; sulla superficie anteriore del collo, per la possibilità di spasmo laringeo; sulla superficie laterale del collo, per la sensibilità del globo carotideo; nella regione addominale e lombosacrale, in donne in stato di gravidanza; su zone con lesioni cutanee, mucose, alterazioni della sensibilità locale, processi infettivi, infiammazioni, flebiti,



tromboflebiti; in caso di apparecchiature elettroniche impiantate (es: pacemaker) nella zona immediatamente sottostante l'area di stimolazione; in prossimità di zone da trattare con presenza di parti metalliche (come protesi, materiali di osteosintesi, spirali, viti, placche); su zone affette da tumori e nell'area addominale/lombare in presenza di calcoli al fegato o ai reni; in zone caratterizzate da dermatiti.

3. CORRENTI A BASSA FREQUENZA

- Correnti diadinamiche -

Sono rappresentate da treni di onde, ottenute raddrizzando la corrente elettrica semisinusoidale a bassa frequenza, modulati in forma, intensità e frequenza, e variamente combinati tra di loro.

Possiedono effetti analgesici, trofici e di riassorbimento degli edemi e degli ematomi. L'azione analgesica è dovuta, a livello del polo positivo, ad una riduzione dell'eccitabilità del nervo sensitivo per l'incremento del potenziale di riposo.

Tecnica di applicazione

L'elettrodo stimolante, cioè quello collegato col polo negativo del generatore, viene posto "sull' area bersaglio" o direttamente sulla zona dolorosa riferita dal paziente; l'elettrodo indifferente viene posto nella zona di irradiazione del dolore o su una zona dolorosa meno attiva. L'intensità della corrente va regolata in maniera da dare luogo nel paziente ad una sensazione di formicolio sull'elettrodo stimolante o su entrambi. La durata della applicazione varia dai 10 ai 30 minuti.

- Elettrolipolisi -



Particolare metodica basata sull'uso di corrente sinusoidale a bassa frequenza (1-15 Hz) erogata in modo continuativo. E' impiegata soprattutto in medicina estetica. Grazie ai deboli flussi di corrente consente di correggere gli inestetismi legati alle adiposità (cuscinetti di grasso) localizzate o diffuse nonché alle lipodistrofie.

Tre sono gli effetti principali indotti dal passaggio di corrente:

1. Elettrolisi: questo fenomeno produce la mobilizzazione attraverso le membrane cellulari di ioni sodio, cloro e potassio. È noto che uno degli aspetti caratterizzanti la lipodistrofia localizzate è rappresentato dalla presenza di un volume extracellulare espanso, cioè di una elevata quantità di liquido che separa gli adipociti. Il passaggio di una corrente elettrica a bassa frequenza ed intensità crea un campo elettrico nella zona delimitata dagli aghi: a seguito di ciò, le molecole ionizzate migrano all'esterno delle cellule finendo nel liquido extracellulare e viceversa. Le variazioni delle concentrazioni ioniche consentono alle cellule di degradare ed eliminare i metaboliti ed i fluidi in eccesso tramite le vie normali escretive (circolo venoso e linfatico). Al termine della seduta si riscontra infatti una diuresi spiccatamente aumentata.

2. Elettrostimolazione: i campi elettrici indotti dal passaggio di corrente hanno inoltre un duplice effetto:

A. stimolazione delle fibrille muscolari e delle fibre collagene di cui è costituita la parete dei piccoli vasi; ne consegue un aumento del tono vasale con esaltazione dell'azione drenante del microcircolo. Il risultato di tutto ciò è rappresentato da una maggiore distensione della pelle che gradualmente durante le sedute perde l'aspetto classico «a buccia d'arancia» divenendo sempre più tesa ed elastica.

B. stimolazione delle terminazioni nervose adrenergiche intratissutali con attivazione delle lipasi enzimatiche. Vengono stimolati i recettori della membrana adipocitaria con successiva attivazione del sistema adenilatociclastasi e attivazione della lipasi che idrolizza il grasso in glicerolo e acidi grassi.

3. Azione termica: il passaggio della corrente provoca per il cosiddetto effetto «Joule» un riscaldamento degli aghi-elettrodo e quindi del tessuto interessato dal campo elettrico con il duplice effetto di una degradazione delle cellule

adipose in stretto contatto con gli aghi, quindi di una vasodilatazione e conseguentemente di una migliore vascolarizzazione.

Tecnica di applicazione

Si basa sull'introduzione di elettrodi ad ago di varia lunghezza in rapporto alla zona da trattare, che penetrano per lo spessore di qualche millimetro al di sotto della superficie cutanea. Gli aghi utilizzati sono in acciaio con punta diamantata per favorire una infissione indolore.

L'inserimento avviene distanziando gli aghi di 2-3-5 cm l'uno dall'altro e procedendo parallelamente al piano cutaneo. Gli aghi vengono inseriti a due a due in modo che risultino tra loro paralleli, oppure secondo diversa mappatura (cerchiaggio, campo doppio, campo semplice, a graticcio, piramidale ecc.).

Gli aghi utilizzati sono sterili e monouso e vanno gettati dopo ogni seduta e mai riutilizzati. La durata della terapia varia tra le 4 e le 12 applicazioni, per circa 40 -60 minuti di applicazione, con un' intervallo minimo tra le sedute di 4-5- giorni.

Controindicazioni

portatori di pacemaker, portatori di importanti protesi metalliche, varici venose, insufficienza renale, malattie acute del sistema nervoso, trattamento con anticoagulanti (pericolo di ematomi e piccole emorragie);

- Tens -

La TENS (Transcutaneous electric nervous stimulation) consiste nella applicazione sulla superficie cutanea di correnti elettriche con onde di forma quadrata della durata di 50-250 μ sec, frequenza dell'impulso di 2-150 Hz, intensità di corrente da 0 a 80 mA, bifasiche o monofasiche. Ha effetti analgesici per iper stimolazione.

Gli apparecchi per la TENS in questi ultimi anni si sono molto affinati, fino alla produzione di elettrostimolatori miniaturizzati portatili dotati di batterie alcaline o ricaricabili al Nichel-Cadmio che consentono di mantenere il trattamento per vari giorni senza alcun problema.

Tecnica di applicazione

La corrente viene erogata attraverso l'applicazione di elettrodi in silicone conduttivo ad ampia superficie fissati o resi adesivi, di varia foggia, in modo da minimizzare l'impedenza del contatto con la cute e collocati secondo apposite mappe oppure in modo che il flusso della corrente interessi il sito di origine del dolore (ferite, punti mialgici, punti trigger). L'elettrodo attivo è quello negativo e viene applicato sul trigger point.

La sensazione che il paziente avverte è rappresentata da una sensazione di vibrazione, o se la frequenza è più elevata, di formicolio.

La durata varia dai 20-30 minuti con le correnti monofasiche, alle 7-8 ore con le correnti difasiche.

Controindicazioni:

portatori di pacemaker cardiaco, gravidanza, sindrome dolorosa in cui la causa non sia stata stabilita con certezza.

4. CORRENTI A MEDIA FREQUENZA

- Correnti interferenziali -

Questo tipo di corrente consente il trasferimento di stimolazioni antalgiche o motorie a bassa frequenza agli strati profondi dei tessuti mediante l'ausilio di frequenze intorno ai 4 KHz, onde ridurre l'impedenza cutanea, evitando qualsiasi problema di irritazione dell'epidermide.

Gli effetti principali riconosciuti alle correnti interferenziali sono: eccitomotore, analgesico, riequilibrante il sistema neurovegetativo.

Tecnica di applicazione

L'applicazione viene effettuata mediante quattro elettrodi posizionati sulla cute in modo incrociato; le correnti si diffondono negli strati profondi dei tessuti e si «sommano» generando una specie di battimento o interferenza dovuta all'azione delle linee di forza dei due campi elettrici. Il risultato è la



ricostruzione di una bassa frequenza in profondità che esplica la sua azione terapeutica in una zona profonda relativamente estesa, la cui estensione sarà determinata dalla posizione degli elettrodi.

La durata delle sedute è di 10-20 minuti, a seconda dell'effetto desiderato.

La frequenza di lavoro può essere regolata da 1 a 200 kHz; le frequenze basse determinano uno spiccato effetto motorio, mentre le frequenze più alte hanno un'azione più antalgica.

Controindicazioni

Intolleranza alle frequenze più basse, soluzioni di continuo della cute, sclerosi multipla (a causa della paralisi spastica e dei disturbi della sensibilità), sindrome di Parkinson (a causa della rigidità dovuta all'aumento del tono muscolare e del tremore), malattie febbrili, tromboflebiti, gravidanza e ciclo mestruale (per trattamenti a livello lombare ed addominale), portatori di pacemaker

- Medie frequenze modulate -

Sono conosciute anche come interferenziali bipolari.

La differenza rispetto alle interferenziali sta nel fatto che non necessitano dell'applicazione di 4 elettrodi. La forma di modulazione ottenuta è una sinusoidale con alternanza di periodi di mezza onda (MF) e di onda piena (DF) e quindi gli effetti ottenuti sono gli stessi delle diadinamiche, ad eccezione degli effetti polari, ma con il vantaggio di una maggiore penetrazione nei tessuti. Gli effetti terapeutici utilizzabili sono quelli di stimolazione motoria profonda ed antalgico profondo.

Le medie frequenze modulate hanno il vantaggio di essere molto ben tollerate anche da pazienti particolarmente sensibili alle stimolazioni elettriche proprio per l'assenza degli effetti polari (caratteristici delle diadinamiche) e ciò li rende indicate inoltre particolarmente ove la zona di trattamento sia in prossimità di protesi metalliche.

Tecnica d'applicazione

Le indicazioni per la corretta applicazione degli elettrodi sono le stesse che abbiamo indicato nel paragrafo delle correnti diadinamiche ma senza distinzione di polarità degli elettrodi. I parametri da regolare nella applicazione invece sono la frequenza di modulazione (da 1 a 100 Hz) a seconda della quale avremo l'effetto stimolomotorio od antalgico, la durata dello stimolo, la pausa tra gli stimoli.

Controindicazioni

Come per le correnti interferenziali.

5. ELETTROTHERAPIA DI STIMOLAZIONE MUSCOLARE

Le correnti utilizzate a tal fine sono rappresentate dalla corrente faradica e dalla corrente ad impulsi rettangolari e triangolari, con lo scopo principale di un'azione eccitomotrice sulle fibre muscolari denervate o parzialmente innervate e sui gruppi muscolari ipotrofici.

Le correnti variabili, rispetto alle galvaniche, offrono importanti vantaggi applicativi rappresentati sostanzialmente dalla loro elevata capacità stimolante sul complesso neuromuscolare, nella loro maggiore tollerabilità, nei minori effetti elettrolitici in corrispondenza degli elettrodi di cui le galvaniche sono responsabili, dalla loro maneggevolezza, dalla maggiore tollerabilità da parte del paziente.



- Corrente Faradica -

Corrente continua interrotta aritmicamente; è caratterizzata da onde della durata di 1 ms, regolabile nei parametri Frequenza (10 - 100 Hz), tempo di azione (3 - 20 sec), pausa (3 - 80 sec). Se ne distinguono alcuni tipi: impulsi regolabili in frequenza (produce un tetano completo del muscolo, pertanto per ottenere singole contrazioni muscolari va applicata interrotta o modulata), impulsi a treni regolabili in pausa ed azione e impulsi a treni con crescita esponenziale dell'ampiezza, corrente rettangolare (caratterizzata da aumento brusco dell'intensità dello stimolo da 0 al massimo e dalla conseguente caduta brusca

dello stimolo, anch'essa regolabile in durata ed in pausa), corrente triangolo-esponenziale (con aumento graduale ed esponenziale dell'intensità fino al valore massimo con tempo di salita uguale alla larghezza dell'impulso e dalla conseguente caduta brusca dell'onda), corrente triangolare (raggiunge linearmente il valore massimo con tempo di salita uguale alla larghezza dell'impulso e torna quindi bruscamente alla linea dello zero una volta raggiunta la massima intensità).

Tecnica di applicazione

È buona norma fare precedere la seduta da un blando riscaldamento locale (ad esempio con gli infrarossi) per diminuire la resistenza cutanea nella zona di applicazione degli elettrodi ed aumentare l'efficienza contrattile. Gli elettrodi, disponibili in varie forme e dimensioni, vanno applicati al muscolo da trattare e posizionati in modo tale che il polo negativo (che è l'elettrodo attivo) sia posto sempre prossimalmente ed il polo positivo distalmente (tecnica bipolare).

Nella stimolazione di piccoli muscoli, specialmente quelli della mano, piede o del viso, è preferibile ricorrere alla tecnica monopolare: in tal caso si impiega un grosso elettrodo, detto dispersivo od indifferente, collegato col polo positivo che viene applicato sul dorso del paziente, mentre l'elettrodo stimolante puntiforme collegato al polo negativo viene posto a contatto del punto motore del muscolo da trattare.

Controindicazioni

Soluzioni di continuo della cute; morbo di Parkinson.

- Correnti di Kotz -

La stimolazione muscolare secondo Kotz consiste nell'applicazione di corrente sinusoidale con frequenza di 2500 Hz modulata a «pacchetti» di 10 ms (ovvero 10 ms di attività e 10 ms di pausa). L'erogazione avviene con periodo di stimolazione di 10 sec e periodo di pausa di 50 sec. (ciò al fine di assicurare al muscolo un periodo sufficiente di decontrazione prima della successiva contrazione). L'impiego di tali correnti porterebbe ad un aumento consistente della massa muscolare ed a un aumento della forza spontanea sviluppata dal muscolo.



La stimolazione secondo Kotz presenta degli obiettivi vantaggi anche nei confronti dell'esercizio fisico, e cioè: migliore selettività dei fasci muscolari da potenziare, assenza di affaticamento nel paziente, maggiore e più prolungata contrazione del muscolo rispetto a normali contrazioni muscolari volontarie

Tecnica di applicazione

Gli elettrodi vanno applicati lungo il muscolo da trattare senza alcuna ricerca dei punti motori. Dovrà essere posta la massima attenzione nell'evitare di stimolare con lo stesso elettrodo due fasci muscolari antagonisti; può comunque essere vantaggioso stimolare in sequenza i muscoli agonisti ed antagonisti, e ciò può essere effettuato con apparecchiature dotate di attivazione sequenziale dei canali di stimolazione. I tempi delle stimolazioni sono estremamente variabili in funzione del muscolo stimolato.

Controindicazioni

Sono le stesse della elettrostimolazione con impulsi rettangolari e triangolo-esponenziali.