



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 998

DATA: 01/07/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Russo

MATERIA: Bioingegneria Elettronica

Prof. Knaflitz

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

BIOINGEGNERIA ELETTRONICA

NON SI APPLICA A DISPOSITIVI VETERINARI!

Direttiva dispositivi medici:

La direttiva 93/42 per i dispositivi medici viene anche chiamata MDD.

Ogni dispositivo medico deve obbedire a tale normativa. Precedentemente era già stata emendata la 90/385 per i dispositivi impiantabili attivi (cioè che presentano una fonte energetica interna). Fino al 1990, ogni stato aveva una legislazione propria per regolamentare i dispositivi medici, che era caratterizzata da norme PRESCRITTIVE, contenenti linee guida per la costruzione e progettazione dei dispositivi; questa normativa tuttavia va aggiornata frequentemente per essere al passo con le tecnologie utilizzate.

Alternativamente, se non soddisfa la normativa per un certo dispositivo perché è obsoleto o altre ragioni, si può comunque dimostrare la presenza dei requisiti essenziali con dimostrazioni alternative. Questo secondo approccio è più usato, poiché non sempre la normativa per l'apparecchio è aggiornata con le ultime tecnologie (oggi gli apparecchi sono molto più complessi che 20 anni fa).

- Prima della MDD, chiunque poteva costruire dispositivi, mentre dopo una ditta deve avere un'autorizzazione e un piano di qualità periodicamente controllato da terzi. Con la normativa, gran parte delle ditte che producevano apparecchi elettromedicali è scomparsa per la necessità troppo onerosa del piano di qualità.

Definizione di dispositivo medico:

Vedi direttiva MDD.

- a) È importante la frase "destinato dal fabbricante", perché senza la destinazione d'uso un apparecchio può appartenere a diverse classi di "pericolosità". Inoltre, uno strumento può essere un dispositivo medico o meno in base a chi lo utilizza (ad esempio occhiole da vista o occhiole da sole).
- b) Dalla definizione di ACCESSORIO si evince che, ad esempio, gli elettrodi usati per collegare un elettrostimolatore (classe IIb), sono accessori di classe I, quindi DIVERSA da quella del dispositivo ad essi collegato.
- Il dispositivo medico deve essere dimostrato efficace oltre che sicuro, cosa che si può provare se tale dispositivo è somigliante come

3

Destinazione d'uso: è l'utilizzo pensato dal fabbricante per il dispositivo. Non è frequente né obbligatorio specificare la destinazione d'uso, essa può essere dedotta dal manuale di istruzioni, materiale pubblicitario. Tuttavia se il destinatario percepisce in maniera errata l'uso inteso per il dispositivo ed esso crea un danno, il fabbricante può essere perseguito penalmente se non ha espresso chiaramente lo scopo del dispositivo (stabilito da un perito).

Distribuzione sul mercato:

Si intende la prima messa a disposizione (a pagamento o gratuito). Questo può avvenire solo se il dispositivo ha ottenuto una garanzia di conformità, prima dell'immissione sul mercato, altrimenti si incorre in infrazioni. Questo vale

Requisiti essenziali:

Sono divisi in due gruppi, quelli generali e quelli per progettazione. Sono correlati alle proprietà chimiche e fisiche, la contaminazione microbiologica, la costruzione e le proprietà ambientali, i dispositivi per misura (possibilità di danni indiretti, ad esempio se venisse segnalato un problema non realmente esistente), protezione contro le radiazioni, dispositivi collegati o contenenti forme di energia, informazioni che devono essere fornite dal costruttore.

① I dispositivi medici devono essere sicuri per i pazienti, gli utilizzatori ed eventuali terzi. Tuttavia, ogni dispositivo medico espone il paziente a dei rischi. Bisogna valutare se la

Classificazione dei dispositivi medici:

Semplificando, la classificazione avviene in relazione agli scambi energetici:

Classe I: nessuno scambio energetico, o totalmente trascurabile

Classe IIa: piccolo scambio energetico, non è più trascurabile, ma ancora non sufficiente a creare un danno al paziente (per il tipo di interazione e l'entità di energia)

Classe IIb: intenso scambio di energia (ad esempio vaporizzazione di tessuti)

Classe III: il livello di energia scambiata è potenzialmente dannoso, (ad esempio una voluta cardiaca, per il tipo di interazione col paziente).

11

DISPOSITIVO CHIRURGICO:

DISPOSITIVO IMPIANTABILE: pensato per essere introdotto completamente nel corpo umano, o essere posto sulla superficie epiteliale o dell'occhio, in via permanente in seguito ad un intervento chirurgico.

STRUMENTO CHIRURGICO RIUTILIZZABILE:

strumento usato per tagliare, perforare, segare, ecc... che può essere riutilizzato dopo appropriata procedura.

DISPOSITIVO MEDICO ATTIVO: energia non proveniente dal corpo umano. un software stomd-olome è considerato un dispositivo medico attivo.

- Regole complementari:

L'applicazione delle regole di classificazione devono essere imposte

Esempio, classificazione dell'elettrocoagulatore

- Per classificarlo bisogna porsi le domande:
- 1) è invasivo? No, rimane nella sola operatoria, semmai usa accessori che saranno invasivi (da taglio)
 - 2) che energia scambia col paziente?
elevata, poiché utilizza una potenza oltre i 50 Watt, e permette la vaporizzazione dei tessuti.
 - 3) Si osservano le regole per dispositivi non invasivi, sulla MDD. Si arriva alla regola 9, norme aggiuntive per i dispositivi ATTIVI (ha una fonte di energia interna). L'elettrocoagulatore scambia energia col corpo umano anche di grande entità, quindi per la regola esso rientra nella classe IIb
 - 4) Proseguiamo con le regole, per essere sicuri di non trascurare regole aggiuntive.
 - 5) Ripetiamo per classificare gli accessori

autorizzato la dichiarazione di conformità. (CE)
0123

- L'unico caso in cui anche un dispositivo di classe I ha il marchio con codice, è il termometro o qualsiasi dispositivo metrologico, per via di possibili danni indiretti
- Come avviene la dichiarazione di conformità? Se il dispositivo è di classe I è possibile l'autocomformità da parte del fabbricante,
- e invece è di classe IIa (tranne su misura) bisogna seguire una procedura severa:
 - 1) un ente notificato sottopone un esemplare (campione) ad una serie di costose verifiche, e se ottiene la conformità, si può vendere quel esemplare. Non si può usare per prodotti di basso costo perché

Fascicolo tecnico

Deve contenere un registro di ciò che serve per costruire il dispositivo, un documento completo. Prima ancora della progettazione deve iniziare la preparazione del fascicolo tecnico, che evolve anche dopo la commercializzazione del prodotto, per essere integrato con informazioni sul funzionamento ed i potenziali rischi.

Dalla direttiva esistono dei documenti fondamentali (e ne possono inserire altri) da inserire:

- 1) Descrizione generale del dispositivo con **destinazione d'uso**, incluse varianti di esso.
- 2) Tutti i disegni di progettazione, metodi di costruzione e, se deve essere sterilizzato, tutte le informazioni sul processo di sterilizzazione. Inoltre le caratteristiche di ogni sotto-componente

- 6) Se il nostro dispositivo contiene o incorpora sangue umano o suoi derivati, poiché possono essere vettori di virus e batteri.
- 7) una dichiarazione che dica se il dispositivo è fabbricato con tessuti animali.
- 8) La valutazione clinica deve essere
- 9) effettuata e documentata in corso d'opera
↳ dall'empadamento del 2007
- 10) Presenza di istruzioni per l'uso.

DISPOSITIVI SU MISURA

Prima della commercializzazione di un dispositivo su misura, bisogna fornire una documentazione che certifichi il raggiungimento dei requisiti essenziali.

specifico prodotto ci vengono in aiuto (pericoli meccanici, energetici, emissioni pericolose...).

Sono presenti anche guide all'uso ed alla manutenzione.

NORME GENERALI PER LA SICUREZZA DEGLI APPARECCHI ELETTROMEDICALI

- Quale deve essere la documentazione per l'apparecchio (manuale d'uso), la norma stabilisce anche che il manuale è PARTE INTEGRANTE dello strumento (senza di esso lo strumento risulta incompleto e potenzialmente pericoloso).
- La potenza assorbita, per evitare un sovraconsumo energetico
- Condizioni ambientali entro cui deve lavorare l'apparecchio
- Rischio di accensione di miscele infiammabili, perdita di fluidi pericolosi

ma ogni apparecchio deve essere sufficientemente immunità ad esse.

- Norma CEI-EN 60601-1-4: è molto importante riguardo ai problemi dell'elettronica programmabile.

L'idea è quella di portare avanti un processo di progettazione più strutturato (in ogni fase di progettazione ci deve essere una fase di verifica), questa metodologia è la parte fondamentale della norma.

STRUTTURA DI UN APPARECCHIO EM

Si dividono in classi B, BF, CF, in base al tipo di parte applicata dell'lo strumento sul paziente. Se non ci sono parti applicate rientra nella classe B.

Consideriamo la fonte di alimentazione della rete elettrica, che eroga una tensione sinusoidale a 50 Hz di frequenza a 220 V efficace, valore totale

Un valore efficace:

$$I = \frac{V}{|Z|}$$

ipotesicamente, se noi fossimo in piedi scolzi, e toccassimo le morsetto, saremmo come l'impedenza Z e quindi percorsi da corrente. Il trasformatore centrale in un generico apparecchio elettromedicale serve ad evitare che si venga percorsi da corrente e tocchiamo un morsetto (cioè isola i circuiti a secondario della rete elettrica), inoltre serve ad abbassare la tensione a secondario che viene fornita dalla rete elettrica (si deve ottenere infatti circa 24 V invece dei 220 efficaci della rete), poiché quella abbassata non è considerata pericolosa per chi venisse a contatto col circuito (oltre all'isolamento), è un'ulteriore misura di sicurezza.

Sia $P_2 = 10^{-4}$ la probabilità che si rompa l'isolamento secondario.

Se i due eventi sono statisticamente indipendenti, la probabilità che si verifichino entrambi è $P = P_1 \cdot P_2 = 10^{-8}$, quindi 1 apparecchio su 1.000.000, che per l'analisi dei rischi è considerato evento non verificabile, totalmente trascurabile. Inoltre il secondo trasformatore trasferisce potenza di pochi Watt (molto meno di quello di alimentazione), quindi può essere costruito con ancora più accuratezza senza costi elevati, diminuendo ancora la probabilità di rottura, esso è quindi ancora più sicuro.

- Abbiamo definito la corrente di dispersione, quella che attraversa il trasformatore a secondario a causa della capacità parassita del materiale:

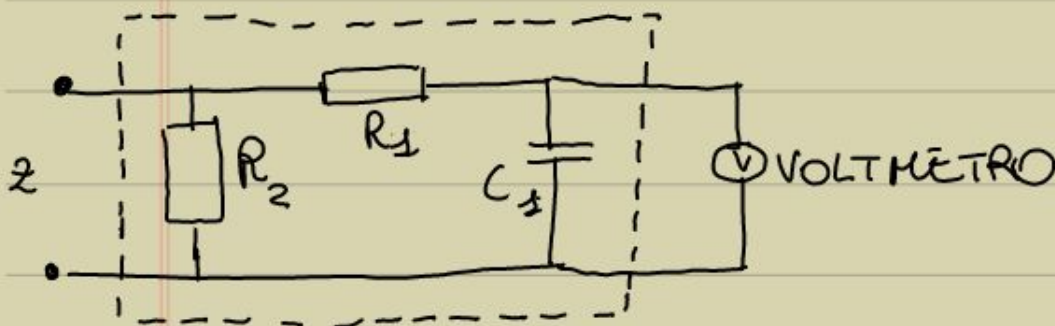
I due trasformatori sono collegati IN CASCATA, e le capacità parassite possono UGUALI in valore, anche meno una C_{eq} più piccola di entrambe. Inoltre C_p solitamente è circa 30 volte più piccola di C_A , quindi ne risulta una corrente di dispersione molto piccola.

Tuttavia, nella realtà solitamente i due trasformatori non sono in cascata, ma hanno in mezzo un circuito che pilota la tensione ad una frequenza maggiore, diminuendo ancora la corrente di dispersione del secondario alla terra (m.i). Le parti applicate con trasformatore flottante sono di tipo F, e hanno quindi i vantaggi appena descritti in termini di sicurezza.

- Le parti applicate sono di tipo B_1 BF e CF (cardiac floating), l'ultima sono le più sicure e possono essere collegate al cuore. Esistono tabelle che in Fox alla parte

A sinistra della linea blu è il modello dell'apparecchio elettromedicale, quindi conosciamo l'impedenza interna del generatore, la corrente di dispersione naturalmente sarebbe per $z_p = 0$, ma questo non è possibile, quindi bisogna conoscere l'impedenza del corpo umano.

- A tale scopo, vediamo il funzionamento dell'apparecchio misuratore delle correnti di dispersione:



La resistenza R_2 simula quella del corpo umano, il voltmetro deve avere una resistenza interna alta, così da non modificare la funzione di trasferimento in ingresso. I due morsetti sono

33

umano a frequenze diverse, infatti il modulo dell'impedenza di ingresso diminuisce all'aumentare della frequenza (Z_p), ecco perché NON basta un microampmetro (equivarrebbe ad un corto circuito nel modello, al posto di Z_p).

Misurazione delle correnti di dispersione:

- Corrente di dispersione verso terra (cordone di protezione). Nel caso degli apparecchi di classe I, il dispositivo non è provvisto di doppio isolamento. Per misurare la corrente, si dimentica l'apparecchio inserendo il misuratore in corrispondenza del cordone di protezione (nella figura la il posto "measuring device"), che è riferito a terra. Questo tipo di corrente di dispersione non deve mai superare i 5 mA efficaci. Per simulare il "primo

Primo questo dovrebbe essere prossima a quella nel caso della dispersione attraverso il cordone di protezione (impatti sono equivalenti i due percorsi!), se non è così si individua uno scorretto funzionamento del cordone.

- Corrente di dispersione verso terra nel paziente. Significa che le parti applicate al paziente conducono una corrente verso terra. Per fare le prove bisogna collegare singolarmente e insieme tutte le parti applicate. Con una normativa successiva si ridimensiona il numero di prove, le misurazioni vanno sempre fatte a rete diretta e invertita, e in condizioni di primo questo (sempre interruzione del collegamento di neutro e interruzione del collegamento di protezione verso terra). Queste correnti sono regolamentate da tabelle in base alla classe.

ogni combinazione possibile. Esse possono essere CONTINUE o alternate a frequenze diverse (qui serve di nuovo il funzionalmento a penna rossa del misuratore). Anche queste vanno misurate in norme fusi o primo questo, rete diretta/invertita. Sono caratteristiche per OGNI apparecchio elettromedicale.

SICUREZZA ELETTRICA

Sensibilità area corrente elettrica

Cosa succede al corpo umano se attraversato da corrente elettrica? Per capirlo, si voluta uno scenario ipotetico di incidente per capire i danni che riporterà un ipotetico paziente. Dovremo sapere quindi come risponde alla corrente il nostro corpo. Gli effetti variano a seconda dell'INTENSITA' della corrente, del TIPO di corrente (continua, alternata),

(i muscoli scheletrici responsabili della flessione delle dita), se avessi usato il dorso della mano, non succedrebbe nulla! Invece il braccio si ritirerebbe e non afferrerei il cavo.

Diversa frequenza di corrente

Come detto, gli effetti sono diversi in base alla frequenza della corrente. Esistono delle **CURVE DI SENSIBILITÀ**, che ci indicano quale valore efficace MINIMO viene percepito da un campione di popolazione, ad una certa frequenza. Si nota che al crescere della frequenza deve aumentare anche l'intensità della corrente per essere percepita (invece come detto la SENSIBILITÀ diminuisce al crescere della frequenza). Le CURVE DI RILASCIO determinano fino a quale valore di corrente un soggetto riesce ad aprire le dita per

sulle ordinate.

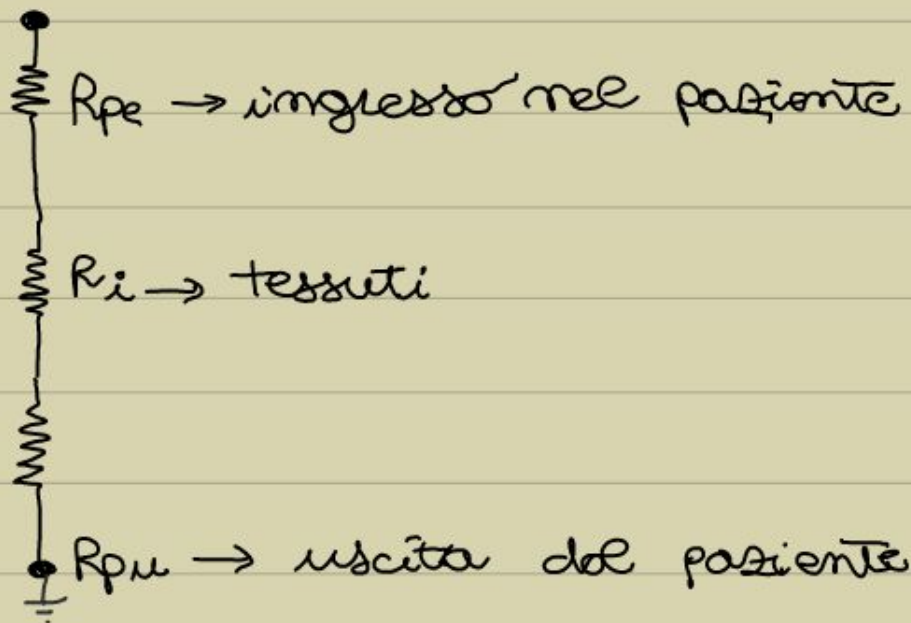
- ^(5x) ^(0x) Δ potizziamo un percorso mano-piede per la corrente, e siamo sotto ai 0,5 mA (500 μ A), siamo nella ZONA 1, non si percepisce neanche l'effetto e non è pericolosa, indipendentemente dalla durata.
- Se siamo nella ZONA 2 siamo in relativa sicurezza: abbiamo delle reazioni, ma non sono effetti pericolosi dal punto di vista fisiologico! Il confine tra zona 2 e 3 è una curva che varia pendenza in funzione del tempo, ingotti una corrente fino a 200 mA ma inferiore ai 50 ms, non ci sono danni permanenti. Possiamo permetterci correnti elevate, ma per BREVI tempi.
- Nella zona 3, la sicurezza NON è garantita, ci sono effetti pericolosi ma in genere RIVERSIBILI (alterazione del ritmo cardiaco, ma termina al termine

Fattore di pericolo

Tiene conto della pericolosità del percorso compiuto dalla corrente. Il valore 1 corrisponde al "normale", cioè effetto 1:1 della corrente sul corpo. Meno pericoloso è invece mono-mono, che ha un valore di 0,4, infatti moltiplicando il valore di corrente sul grafico di pericolosità per 0,4, scendiamo di pericolo scendendo anche di zona (ad esempio da 100 mA a 40 mA, sotto il livello critico dei 50). Il percorso più pericoloso è torace-mono sinistra, con un fattore 1,5.

Modello elettrotecnico

Per valutare l'impedenza del percorso dell'ingfortunato serve un modello che tenga conto delle caratteristiche capacitive della cute. Questi valori



Come si valutano i valori di resistenze?

Considerando il percorso mano-mano, tenendo conto della non linearità dei tessuti:

con una tensione di 25 V, il 5% della popolazione ha al massimo 1750 Ω , il 50% ha 3250 Ω , il 95% ha 6100 Ω .

Quindi solo il <5% della popolazione ha valori più bassi di 1750 Ω di resistenza.

Al crescere della tensione, la resistenza diminuisce fino al valore asintotico di 650 Ω .

Quindi siamo sicuri a prendere 1 k Ω

aumenta il valore standard di 500Ω nel percorso mono-mono alla tensione di 220 V efficaci.

Protezione dal pericolo d'incendio

È il tipo di conseguenza più pericolosa, poiché coinvolge più potenziali pazienti.

L'impianto elettrico può essere causa di incendio, se sono presenti un carburante, un innesco e un comburente.

L'innesco può essere causato da un malfunzionamento dell'impianto elettrico.

Questo perché all'interno vi sono dei conduttori (tipicamente rame, con

resistività $\rho = 0,018 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$, quindi una sezione di 1 m e superficie di 1 mm^2

La $R = 0,018 \Omega$), che dissipano una certa potenza sotto forma di energia

termica: $P_D = RI^2$.

Gli impianti elettrici sono progettati per fornire da 3 kW a $4,5 \text{ kW}$ (in

quella erogabile per un periodo che se troppo lungo porta al surriscaldamento.

- Condizione di corto circuito, la fase e il neutro si toccano, e come già detto la corrente sale troppo.

Per evitare questi problemi, interviene un interruttore MAGNETOTERMICO, che interrompe l'erogazione di corrente se essa supera un certo valore. Esistono vari tipi di interruttori del genere:

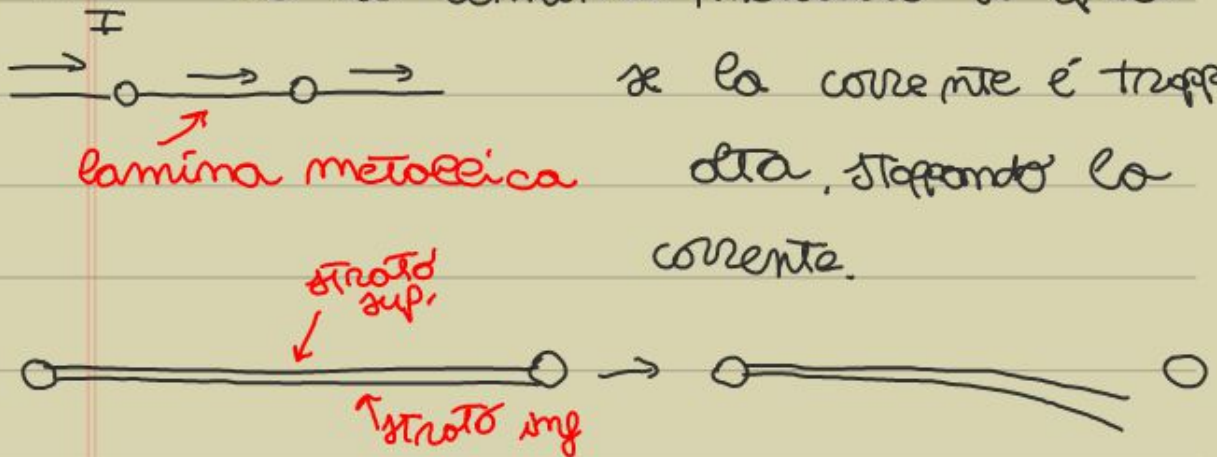
- **FUSIBILI**: sono apparecchi con due cappucci di metallo collegati da una capsula di vetro, e contengono un filo conduttore di lega metallica che fonde a temperature basse ($200-300^{\circ}\text{C}$) e percorso da corrente.



Attraverso i fusibili passa tutta la

- **INTERRUTTORI AUTOMATICI** : semplicemente se si attiva, basta riportarlo in condizione iniziale per ripristinare l'energia elettrica. L'interruttore automatico (o magnetotermico), ha un funzionamento graduale come se fusibile :

si vuole che la lamina metallica si apra se la corrente è troppo alta, stoppando la corrente.



Si usa una lamina BIMETALLICA; lo strato superiore ha un coeff. di dilatazione termica maggiore, così si allunga e si incurva al surriscaldamento, aprendo il circuito.

Sfruttando questo principio, si aggiunge un interruttore ad attivazione manuale, che apre il circuito quando viene sganciato dall'incurvamento della lamina.

corrispondono al punto di intervento della parte magnetica (più veloce) o termica (più lento).

B sono le curve di interruttori molto rapidi o fronte di piccoli sovraccarichi
 C sono più lenti per più grandi sovracc.
 D sono ancora più lenti per elevati sovraccarichi.

Il tipo B è usato per proteggere circuiti elettronici, il C nelle case, D per impianti grossi (motori..)

Amperaggi di tipo elettrico

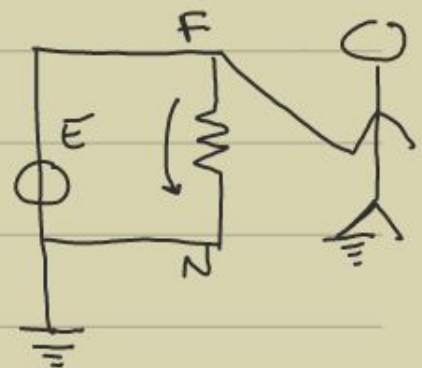
sono di 3 tipi:

- MACROSHOCK PER CONTATTO DIRETTO

Se soggetto tocca una parte in tensione:

$$I_p = \frac{E}{|Z_p|}$$

Tipicamente coinvolge qualcuno che fa manutenzione! Le precauzioni



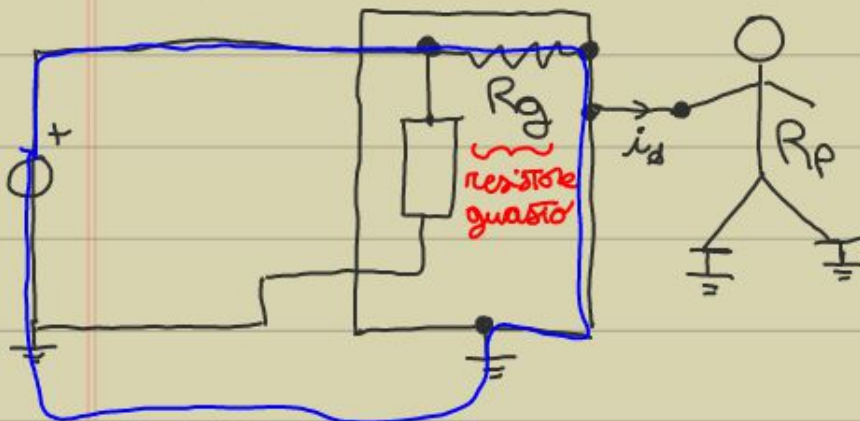
in tensione (diversa dal potenziale di terra), e se toccato dall'impedimento genera attraverso di esso una corrente di dispersione verso terra.

Si può evitare che l'evento si verifichi con due misure precauzionali:

Avere un impianto di terra efficiente.
 Usare un interruttore differenziale.

La prima misura sarebbe sufficiente, ma un impianto di terra molto efficiente costa parecchio (ma la sicurezza non è un lusso) e deve essere REVISIONATO e mantenuto efficiente (altri costi di manutenzione).

L'interruttore differenziale ci permette di avere impianti di terra meno raffinati ma comunque efficaci.



Quindi la R_t nel disegno è quella che si vede dall'armadio metallico alla terra. Il potenziale del mobile ovviamente è diverso da quello di terra, e vale:

$$V_c = I_d \cdot R_t = \underbrace{220}_{E} \cdot \frac{R_t}{R_t + R_g} \rightarrow \text{Fattore di tensione}$$

è detta tensione di contatto, si nota che dipende da R_g e R_t , ma se dobbiamo calcolare V_c non possiamo usare questa relazione, poiché non conosciamo R_g (dipende da un guasto). Qual'è la situazione

di rete, quindi ad esempio un valore di $i_d = 16 \text{ A}$ non sarebbe possibile, in quanto darebbe una $V_c > 220$ per valori verosimili di R_t ($8 \div 30 \Omega$).

Se il valore trovato supera quello del generatore, poiché sarebbe una situazione fisicamente impossibile, si considera come V_c quella di rete (220 V), del generatore.

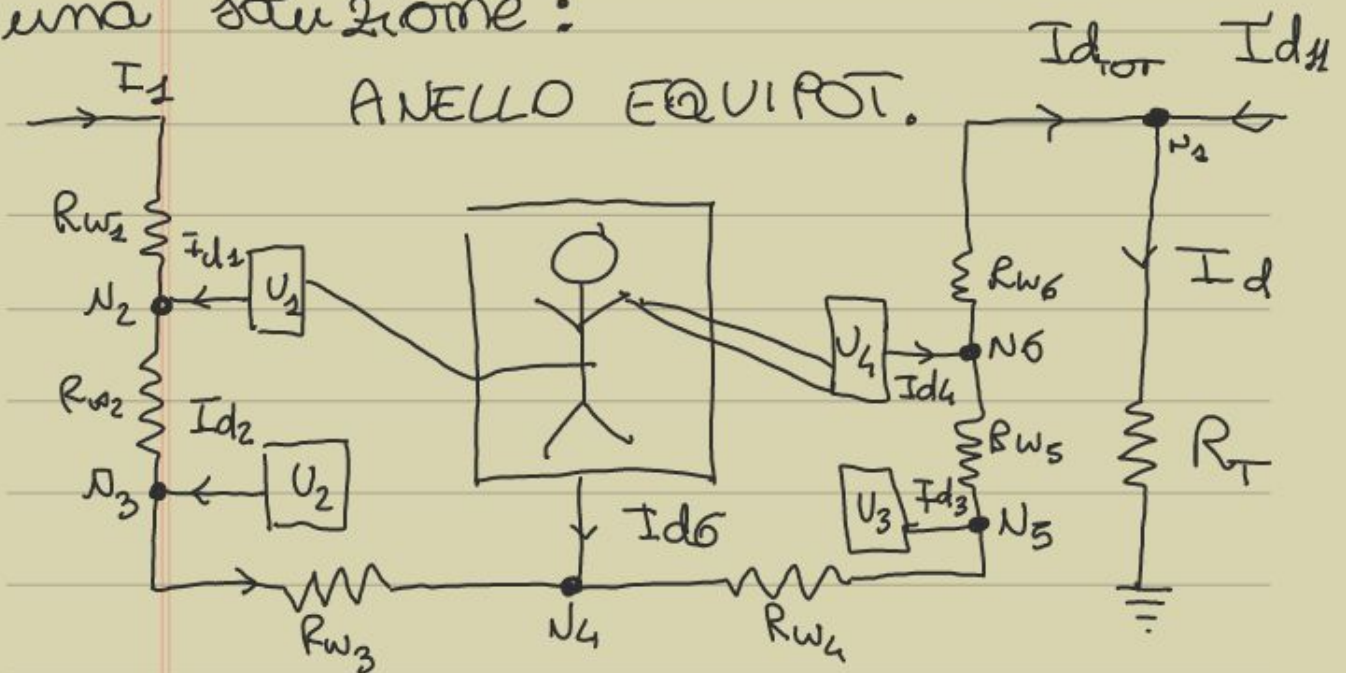
possiamo dire che la resistenza del catetere valga $1\text{K}\Omega$, quindi:

$$\Delta V = 100\text{ mV}$$

Per avere una relativa sicurezza, le correnti di dispersione devono essere nell'intorno dei $10\text{ }\mu\text{A}$ con tale valore del percorso resistivo:

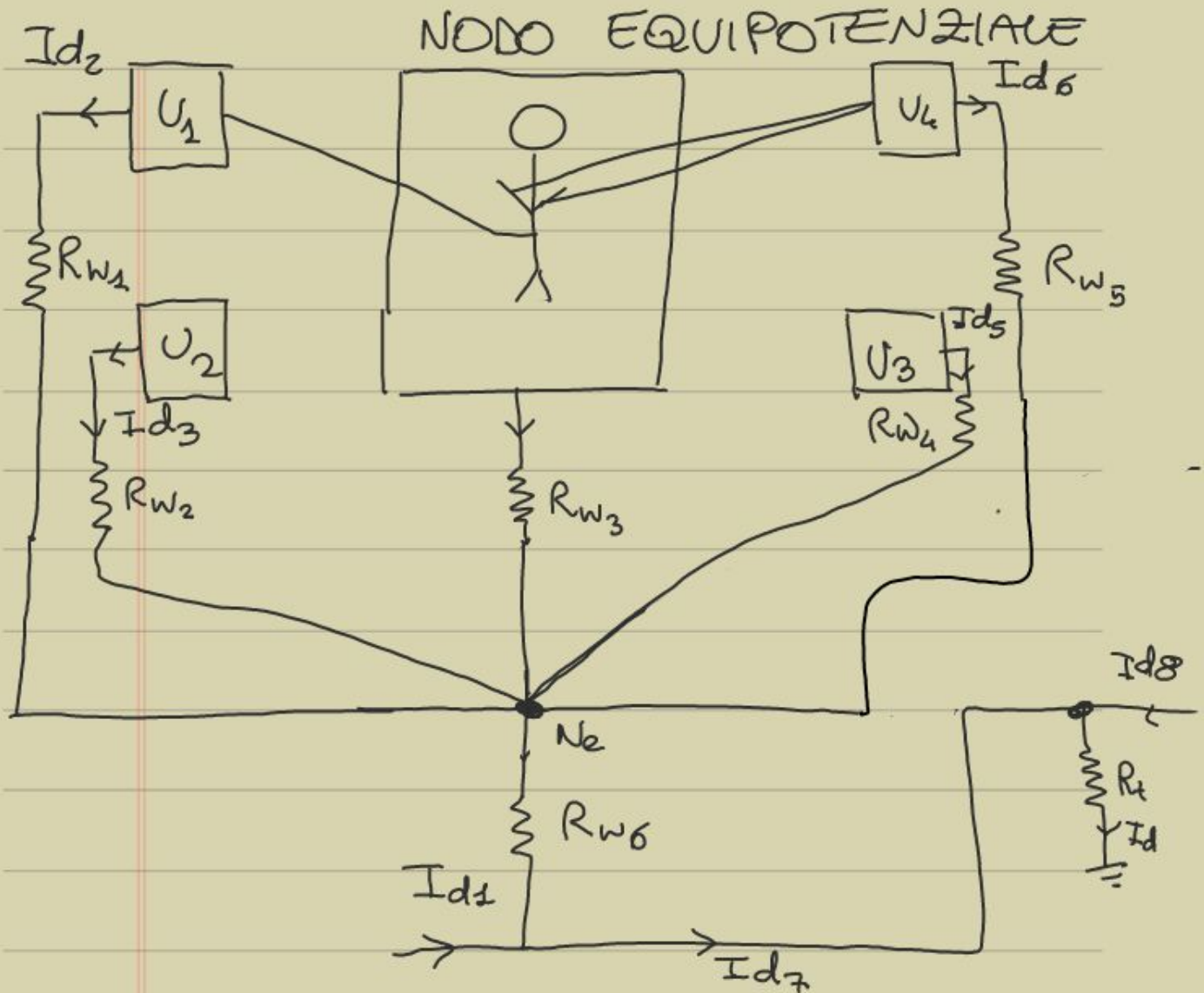
$$\Delta V \leq 10\text{ mV} \quad \text{RELATIVA SICUREZZA}$$

Come possiamo garantire l'equipotenzialità tra masse metalliche e terra? un impianto di messa a terra è una soluzione:



mettendo un interruttore differenziale nella stanza a monte, per limitare l'oggezzo di correnti di dispersione troppo elevate (meno di 1 A quindi), e questo andrebbe fatto in ogni stanza da cui arrivino delle I_d . Per perseguire questa soluzione bisogna avere quindi delle R_w alla stanza piccole e perciò con sezioni a norma di dimensione alla stanza elevata (e un conduttore di forma rettangolare di sezione $\approx 20 \text{ mm}^2$, tutto intorno alla stanza.

C'è ancora il problema delle correnti di dispersione degli utilizzatori! anche ipotizzando che non vi siano correnti dalle altre stanze ($I_1 = I_{d11} = 0$) tra gli utilizzatori U_1 e U_4 ipotizzando $I_{d1} = I_{d4} = 5 \text{ mA}$ si avrebbe una differenza di potenziale di 1-2 mV



Ogni utilizzatore è collegato mediante cavo conduttore ad un nodo centrale, ed è percorso da una sola corrente di dispersione, cosicché esse non si sommano. Al dispersore arriverà quindi la somma delle correnti di dispersione e la corrente dalle stampe adiacenti (I_{d8}). Per norma si deve avere ogni $I_d \leq 5\text{mA}$, quindi ogni utilizzatore è equipotenziale a N_e .

Come può avvenire? Il paziente entra in contatto con una parte a potenziale diverso da quello del catetere!

Può anche succedere che l'apparecchio a cui è collegato il catetere abbia correnti di dispersione che attraverso la persona si chiudono a terra.

• Misure precauzionali. 1) Utilizzo di strumenti di tipo CF, per evitare rischi mediante le parti applicate, o in genere tutto ciò che riguarda le correnti di dispersione.

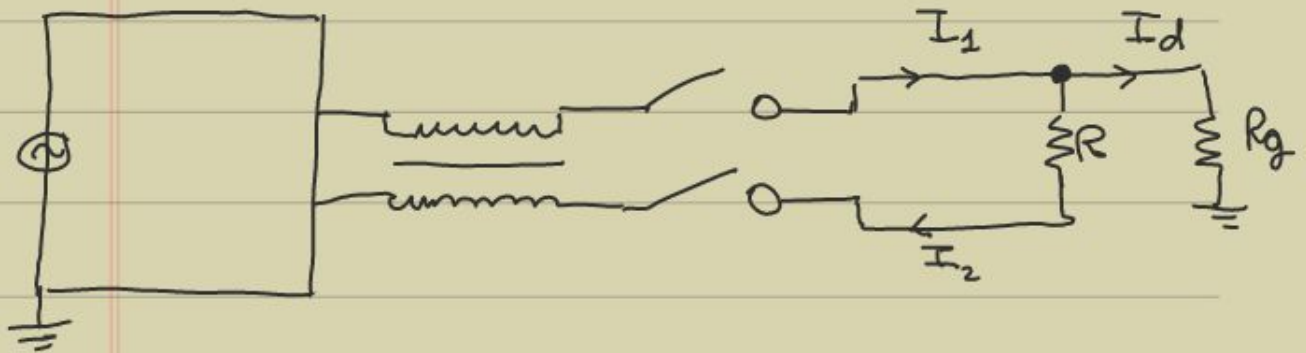
2) Garantire l'equipotenzialità delle masse metalliche collegate al paziente o vicine a lui

Divisione degli apparecchi E.M.

Si dividono in 3 classi in base all'isolamento dalla rete di distribuzione dell'energia:

Interruttore differenziale

È in grado di distinguere tra corrente di rete e corrente di dispersione.



Se i due avvolgimenti vengono attraversati da correnti uguali e opposte, il campo magnetico è NULLO.

L'interruttore è fermato da un'omessa metallica, che sgancia l'interruttore facendolo chiudere, se si crea un campo magnetico sufficiente! Questo capita se $I_1 \neq I_2$, cioè se c'è una corrente di DISPERSIONE:

$$I_2 = I_1 - I_d$$

Esso è quindi sensibile solo alla DIFFERENZA

ritardando questi tempi di intervento).

- Qual'è il vantaggio dell'impianto di terra? Potendo distinguere le correnti di dispersione, a differenza del magnetotermico la tensione di contatto può essere a norma anche senza un ottimo impianto di dispersione verso terra! Infatti:

$V_c = I_d \cdot R_t$, con $I_d = 30\text{mA}$, a differenza dei 16A del magnetotermico.

Potremmo permetterci R_t dell'ordine delle decine di Ω !

- Il ruolo del differenziale in caso di microshock protegge LIMITANDO la durata dell'esposizione (nel tempo di intervento esso non limita nulla!), non ha il ruolo di limitare la corrente! È una protezione efficace? Nel caso peggiore, con il tempo di intervento del differenziale

avere l'equipotenzialità con modo, non
vole più l'anello!

Trasformatore d'isolamento

Ricordare che i trasformatori induttivi
funzionano solo in regime variabile! (ad
esempio non batterie).

Oggi apparecchi e.m. abbiamo già visto che
il trasformatore di alimentazione è un
livello primario di sicurezza dopo presa
della rete elettrica o dell'apparecchio, e
cambiamo anche il voltaggio a secondario.
Il trasformatore di isolamento invece
può essere:

- Propriamente detto, con rapporto $1:1$
tra primario e secondario, ma sfruttano
l'isolamento tra i due. Ci sono anche
- trasformatori che abbassano la tensione
a secondario detti SELV (separated low
voltage), con $V_2 \leq 25 V$ efficaci a
secondario.

Applizziamo ora una rete di utilizzatori, uno si guasta e compare una resistenza di guasto, R_g , e scorre una corrente di dispersione:

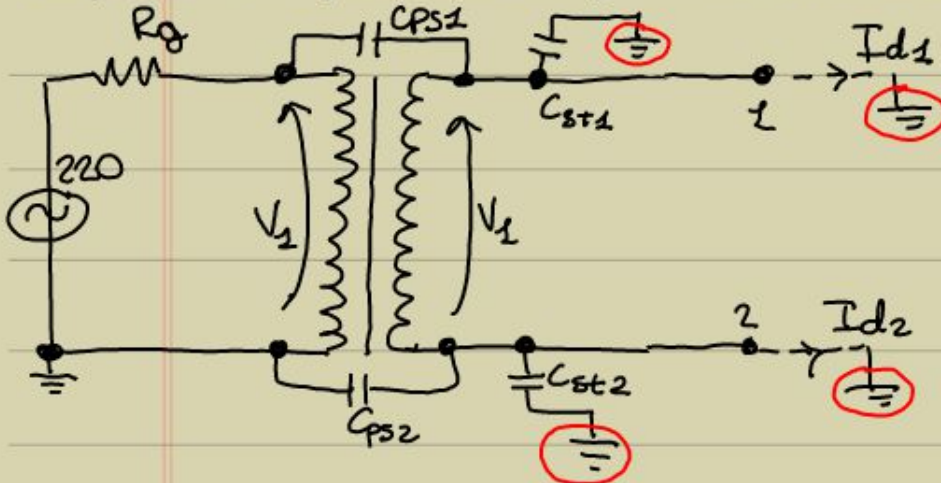
$$I_d = \frac{220}{R_g + R_f}$$

perdendo una tensione di linea:

$$\Delta V = I_d \cdot R_g \quad \text{TENSIONE PERSA}$$

- che non potrà essere usata per gli scopi della rete elettrica. Dipende quindi dall'entità della corrente di dispersione, vogliamo essere sicuri che sia più piccola possibile (altrimenti potremmo non avere più tensione sufficiente per alimentare gli altri utilizzatori!); in ambienti di tipo 4 è fondamentale che ciò non succeda, e per fare ciò si pone un trasformatore di isolamento all'inizio della distribuzione di energia elettrica, così se avviene un guasto ad un utilizzatore (che è a

- Tutto ciò vale per trasformatori ideali, ma come sappiamo sono presenti le capacità parassite! Un modello è questo:



Questo modello si ottiene sperimentalmente misurando le correnti di dispersione collegando al primario il generatore di rete e dall'altro lato la terra.

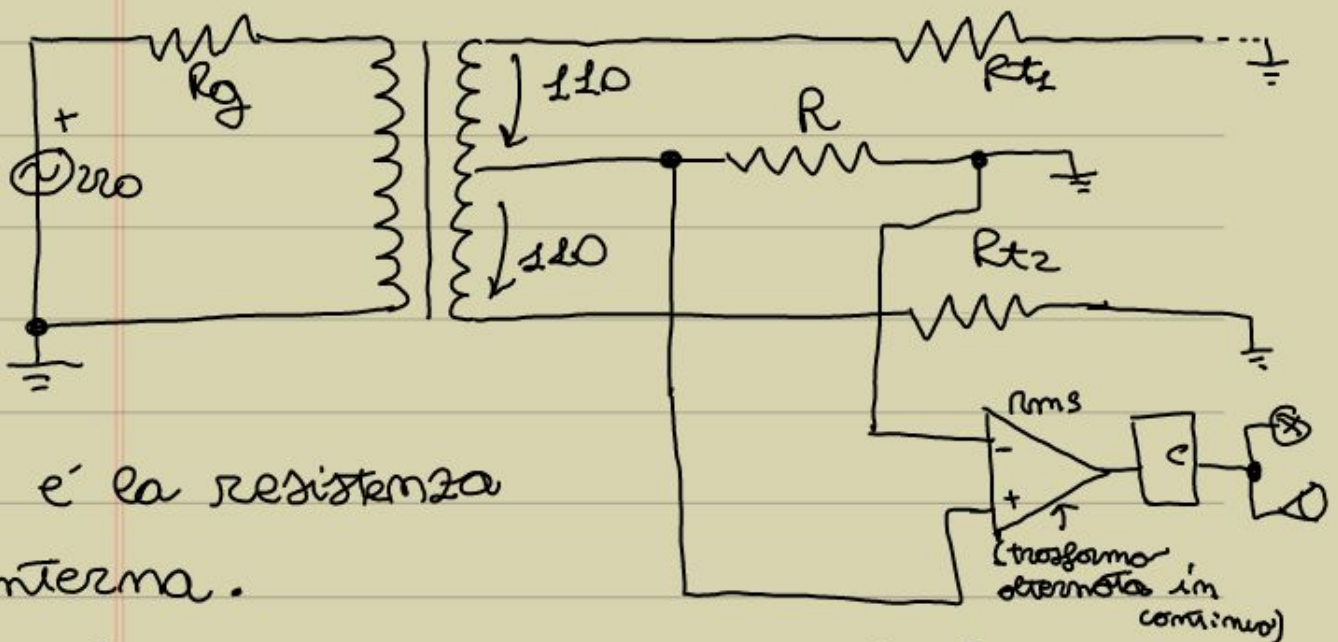
$$I_{d1} = \omega \cdot C_{ps1} \cdot V_1 + \omega \cdot C_{ps2} \cdot V_1 + \omega C_{st2} \cdot V_1 =$$

$$= V_1 \omega (\Sigma C) \quad \text{TERRA AL MORSETTO 1}$$

$$I_{d2} = \omega C_{st1} \cdot V_1 \quad \text{TERRA AL MORSETTO 2}$$

Le correnti di dispersione quindi cominciano in fase a QUACE morsetto si mette a terra (1 o 2), perché l'alimentazione non è simmetrica, un morsetto è a terra ma

- Impedenza interna di almeno $100\text{ k}\Omega$ *
- Corrente di prova non superiore ad 1 mA anche in primo guasto
- Attivazione di un allarme ottico (non disinseribile) ed uno acustico se la resistenza verso terra del secondario dovesse scendere sotto i $50\text{ k}\Omega$
- Tensione del circuito di allarme inferiore a 25 V . * (la scegliamo di $110\text{ k}\Omega$ così la corrente di disp. massima sarà di 1 mA !)



R è la resistenza interna.

Per la norma, supponiamo che $R_{t2} = 50\text{ k}\Omega$, si avrebbe sul resistore interno:

$$V = 110 \cdot \frac{R}{R + R_t} = 73\text{ V}$$

Se è minore di 73 V , le capacità possite

PRELIEVO DI BIOPOTENZIALI

Per comprendere il prelievo di differenze di potenziale bisogna conoscerne l'origine.

L'ampiezza di questi segnali va dai millivolt ai pochi millivolt.

Il prelievo avviene tramite ELETTRODI, per essere poi amplificati.

Ad esempio se si vuole realizzare un elettrocardiografo, dobbiamo prelevare tramite un AMPLIFICATORE PER STRUMENTAZIONE; gli elettrodi devono essere opportuni, infatti il corpo umano non si comporta come un generatore di segnali da banco di prova, porta gli elettrodi IN SATURAZIONE.

Elettrodi

Possono interfacciarsi con la cute o col tessuto muscolare-nerroso, bisogna interfacciare quindi l'elettrodo con i tessuti biologici. Durante il prelievo bisogna considerare anche il movimento

e non ad elettroni (come nei circuiti invece), quindi vogliamo trasdurre correnti dovute a concentrazioni di ioni in correnti dovute ad elettroni. Questo significa che avremo una funzione di trasferimento che non vale 1^v (come avrebbe un semplice commutatore), ma può avere anche meno in base alla frequenza. Il segnale è composto da componenti frequenziali sulla banda, e vogliamo che siano tutte amplificate allo stesso modo, affinché non sia distorto il segnale.

La funzione di trasferimento è tra il potenziale del capo umano e lo stadio di ingresso dell'amplificatore, quindi per capire se un elettrodo è adeguato bisogna sapere anche le caratteristiche dell'amplificatore accoppiato. Ad esempio potremmo usare un semplice commutatore, o farlo di avere un certo stadio di ingresso.

gli atomi del metallo perdono elettroni ^(restano sulla barra)
la barretta si carica negativamente ↓
e la soluzione positivamente (ioni
positivi del metallo che passano in
soluzione). Quindi si crea una dif-
ferenza di potenziale tra la soluzione
e la barretta, con forze che tendono
ad attirare gli ioni alla barretta
(elettrostatica) e anche ad allontanare
^(perché sono dello stesso elemento della soluzione)
gli ioni della barretta (diffusivo).
Attorno alla barretta si crea quindi
uno strato di ioni positivi in equilibrio
(le due forze si equivalgono), e uno
strato più lontano dalla sup. della
barretta di ioni in diffusione.
Si ha quindi un POTENZIALE DI SEMICELLA
(mezza cella elettrolitica) tra questi due
strati, misurabile collegando un voltmetro
da un lato sulla barretta e dall'altro
nella soluzione; tuttavia anche il
cavo del voltmetro è metallico, quindi

a ionizzare più facilmente rispetto all'idrogeno.

Gli elettrodi si dividono in due tipi:

I TIPO: interfaccia tra metallo e elettrolita

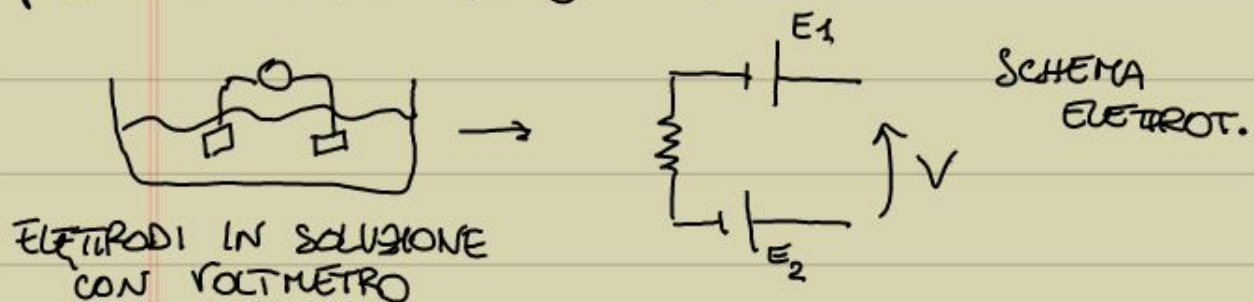
II TIPO: " " sale del metallo e elettrolita

Ad esempio l'elettrodo di argento usa $AgCl$, che sarà utile perché molto biocompatibile, come anche $HgCl$.

- Il catione d'argento è biocompatibile, atossico e non dà nessun tipo di irritazione, inoltre è molto poco solubile.
- Il catione di Mercurio è molto solubile in acqua, inoltre è tossico (in soluzione acquosa diventa un elemento molto conduttivo!) quindi può essere utile per le proprietà conduttive a dispetto della tossicità (negli ultimi 20 anni è andato ormai in disuso per elementi migliori).
- Il Rame non va bene, tende a ossidarsi e non è molto tollerato dall'organismo (anche se non tossico)

che possiamo decidere quanto spesso (10 ÷ 20 μm), si dice RICOBERTURA ELETTROLITICA.

Il potenziale di semicella dipende poco dalla concentrazione di Ce^+ in soluzione; noi vogliamo elettrodi con potenziali il più possibile simili, infatti:



Il resistore rappresenta la resistenza del liquido, le batterie gli elettrodi: $V = E_1 - E_2$.
 Noi avremo al posto del voltmetro uno stadio di ingresso dell'amplificatore, e vogliamo quindi componenti alternate senza componente continua: se i due elettrodi sono uguali, $V = E_1 - E_2 = 0$.

Cioè si elimina la componente continua!

di cloruro d'argento simmetrico, sono costosi ma indestruttibili, infatti si possono rielaborare con delle prese, grattando via lo strato rovinato (RESURFACING), durano decine di anni.

- MODELLO DI ELETTRODO

Per elaborarne uno, possiamo usare due metodi:

USARE CONOSCENZE DI
CHIMICA, FISICA, INTERFACCIA

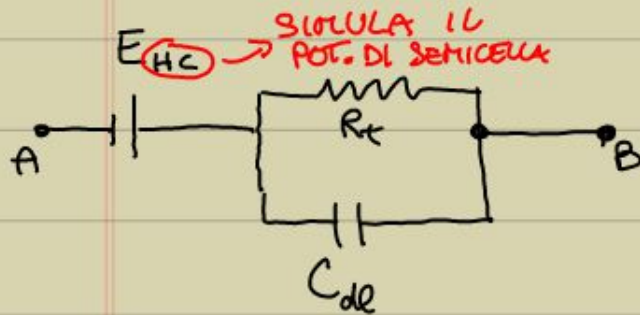
EMPIRICO



EMPIRICO: supponiamo di avere un contenitore con soluzione acquosa, e due elettrodi identici, facciamo passare corrente I e misuriamo la tensione ai capi della cella, V .

A questo punto possiamo collocare

Generatore di tensione in modo che anche senza corrente vedremmo un div. di potenziale pari al potenziale di semicella. Il modello sarà quindi:



In frequenza il generatore non si vede!



Questo modello spiega che in continua Z sia costante ($=R_t$), ma non perché ad alte frequenze il modulo dell'imp. diventa costante.

