

Dispositivo impiantabile attivo = impiantato nel corpo umano ed alimentato da una sorgente energetica diversa dallo gravità o dal corpo umano (batterie)

Nascono 50 anni fa quando viene realizzato il primo pace-maker (1968). Poi sono molti anche altri D.I.A (+ diffusi e proposte di sviluppo futuro).

Evoluzione continua però rettificamente lenta: + lento dell'evoluzione dei dispositivi medici (a.e.m) perché sono dispositivi critici (sostengono la vita del paziente)

↳ prima di operare modifiche bisogna essere certi di non causare rischi inutili.

Inoltre il contenuto tecnologico è tale che spesso durante l'impianto si ha bisogno della presenza di un biomedico <sup>→ soprattutto per i nuovi dispositivi: c'è un certo di apprendimento del medico</sup> → x garantire la programmazione corretta

→ nella fase di apprendimento il medico ha un rendimento minore (tempo maggiore → meno pazienti trattati) ⇒ fattore che rallenta l'introduzione sul mercato di nuovi dispositivi

Inoltre la probabilità di utilizzare un nuovo dispositivo in modo ottimale è minore.

Medicina difensiva: il medico considera il suo rischio professionale prima di produrre una procedura

↳ tende a frenare l'uso di nuovi dispositivi

Notare sul mercato un nuovo dispositivo critico ogni 2 anni ⇒ opposto delle vendite ⇒ + lentamente

• PACEMAKER

• DEFIBRILLATORE CARDIOVERSIONE IMPIANTABILE

↳ defibrillazione e resincronizzazione

• MONITOR CARDIACI IMPIANTABILI

• STIMOLATORI ELETTRICI per il controllo del dolore

encefalica per il controllo del tremore

• STIMOLATORI GASTROENTERICI (per recuperare la motilità)

↳ sono in numero minore di quelli cardiaci, ma una servono

• STIMOLATORI UROLOGICI

• STIMOLATORI PER LA FUNZIONE RESPIRATORIA

• DISPOSITIVI IMPIANTABILI ATTIVI A LIVELLO DI RICERCA (es. pipetta endoscopica)

Il capitolo che alcuni dispositivi sono emicriticamente usati in medicina veterinaria per poi passare alla medicina umana <sup>↳ non rientrano sotto la 93/42</sup>

Per i dispositivi impiantabili attivi esiste una direttiva di riferimento: 90/385

(e antecedente alla 93/42 perché la UE è partita dai dispositivi + critici)

è stata la prima direttiva europea. È stata poi modificata dalla 93/42, dalla 93/68 e dalla 01/2007.

la normativa nazionale del DIA è rimasta in vigore → possibilità di vedere cose particolarmente che si sono via via uniformate negli anni.

DIA suddivisi in  $\rightarrow$  LIFE SUPPORT = se sarebbe estendere affinché il paziente riesca a sopravvivere (es. pacemaker)  
 $\rightarrow$  può essere impiantato sia per sopravvivere che solo per migliorare la condizione fisica.  
 Ci sono regole molto strette per questi dispositivi  
 $\rightarrow$  NON LIFE SUPPORT

La 80/385 definisce un DIA.

19-03-2012

Problemi

- necessità di essere alimentati da una sorgente energetica (il + delle volte è contenuto nel dispositivo ma potrebbe anche non esserlo)  
 $\rightarrow$  X il futuro probabilmente sorgenti energetiche esterne

Il vantaggio di una sorgente esterna è la possibilità di sostituirla senza sostituire il DIA quando vogliamo.  
 $\rightarrow$  non ci sarebbe neanche il bisogno di aver batterie molto potenti (o lungo durata)  
 per es. usando batterie ricaricabili: molto + economiche.  $\rightarrow$  Ma adesso in molti casi non è possibile e sono scomode, non vanno bene per i Life support (troppo rischi)

Oggi in commercio tutti i DIA sono alimentati da batterie ENDOCONTENUTE?  
 $\rightarrow$  batterie non ricaricabili: gli accumulatori non sono utilizzati (non servono)  
 Le batterie durano fino a 8-10 anni: è sufficiente, perché l'intervento è semplice, e in 10 anni la tecnologia, e quindi i dispositivi, sono migliorati  $\rightarrow$  si cambia

Nei 70 non erano le batterie di oggi  $\rightarrow$  meno affidabili, autonomia minore (2-10 anni)  
 in quella situazione l'idea di avere batterie ricaricabili dall'esterno era buona per durare 8-10 anni

[fino al 1985 ci sono stati scab e pacemaker]

uno ditta ha pensato di trasferire energia dall'esterno all'interno con l'accoppiamento di due superfici (trasformatore). Segnale acustico da batteria bassa. Ricerca in una notte  
 $\rightarrow$  solenne sopra un pacemaker

Ma le batterie ricaricabili allora avevano un'autonomia di 4-6 mesi  
 $\rightarrow$  pazienti totalmente dipendenti da pacemaker  
 $\rightarrow$  me sono state levate poche centrali: il paziente tollerava male (o proceduto paio che  
 PROBLEMA DELL'ACCENTRARE DEI PAZIENTI  
 le batterie si scaricavano, che non funzionasse il segnale acustico  $\rightarrow$  pazienti ansiosi: peggior  
 qualità della vita, n° alto di accessi al pronto soccorso per sicurezza  $\rightarrow$  si hanno combaci dopo poco.

Si è scoperto che il paziente non accetta un miglioramento delle sue condizioni se gli costa troppo sotto altri punti di vista

C'è stata anche l'idea di sviluppare sorgenti energetiche nucleari (colore trasformato in energia): affidabilità  
 sorgente radioattiva SCHEMATATA  
 lungo durata, ma peso maggiore e dimensioni maggiori. Ne sono stati venduti pochi, anche  
 perché un portatore venne investito da un treno  $\rightarrow$  non capì niente, ma poteva esserci una  
 $\rightarrow$  dovuta ad un danno meccanico al dispositivo  
 contaminazione ambientale  $\rightarrow$  non me sono + stati usati

Tutte sorgenti energetiche ma l'unico usato oggi è la batteria non ricaricabile

Possibilità di programmare il dispositivo  $\rightarrow$  molte patologie diverse  
 $\rightarrow$  sia torace che diaframma (sia dal paziente che dal dispositivo)

Poter inviare informazioni dall'interno all'esterno e anche viceversa  $\rightarrow$  corde bidirezionale di trasmissione/ricezione

## FONTE ENERGETICHE

Dimensioni molto minori delle batterie odierne rispetto ai primi dispositivi

$\rightarrow$  il modo loro scorso  $\rightarrow$  1958

[Wilson - Greatbatch] primo inventore del pacemaker

$\rightarrow$  così brevetti e vendite immediatamente il brevetto: non vuole produrre perché si rende conto che i pacemaker dimostrano di avere un tasso di crescita enorme, ma le due produzioni di batterie erano minime  $\rightarrow$  la chiave del PIA sono batterie adatte e sicure sviluppare corse per i PIA (e le altre non vogliono prendersi la responsabilità legale di fare apposta batterie)  $\Rightarrow$  lui mette in piedi una ditta di batterie per PIA (inizio degli anni '60  $\rightarrow$  è la + importante ancora oggi)

Sino al 1970: batterie zinco-ossido di mercurio  $\rightarrow$  2-3 cm

$\rightarrow$  non erano sviluppate per PIA e non consentivano di determinare con accuratezza lo stato di carica

emettano idrogeno gassoso (gas solitario)

• affidabilità

• determinate con forza lo stato di carica  $\rightarrow$  espone in anticipo quando sostituirlo

altri i dispositivi erano inglobati totalmente in un unico pacchetto

$\rightarrow$  bisogna trovare uno spazio per l'idrogeno  $\rightarrow$  dimensioni maggiori

PIZ: prima batteria LiIO-iodo (è ancora usata oggi x tutti i Pm)

$\rightarrow$  il stato migliorato ma il tipo di cella è lo stesso nel giro di meno di 10 anni soppiantano tutte le altre

APC: inizio degli anni '80 (dopo 30cm) si capisce che si potrebbero realizzare altre PIA

$\rightarrow$  molto + piccole: no pacemaker o fibrillazione ventricolare  $\rightarrow$  pacemaker  $\rightarrow$  braducardie

• defibrillatore cardiaco (tutti d'attimo)

$\rightarrow$  c'era già la possibilità di vedere nelle camere cardiache e di monitorare il ritmo,

ma le batterie non erano adatte a scorie forti (colpo di max 10mA)

sufficienti per pacemaker, ma non per defibrillatore

Greatbatch punta allo sviluppo di una nuova batteria per ICD  $\rightarrow$  nel 1981 viene presentato

la prima batteria LiIO-SIO (ossido di iodio e argento)  $\rightarrow$  l'anno dopo nasce il primo ICD

Stimolatori elettrici e pompe di infusione hanno richieste energetiche diverse (media 100 mA ICD)

Dalla fine degli anni '80 si sono cercate altre possibili celle con possibilità intermedie

• LiCo-CFx

• LiCo-cloruro di tonite

15-03-202

batteria = trasformazione energia chimica in energia elettrica  $\rightarrow$  reazioni di ossido-riduzione

2 materiali  $\rightarrow$  ossidarsi, cedere elettroni  $\rightarrow$  ANODO

ridursi, acquistare elettroni  $\rightarrow$  CATODO

circuito interno: anodo + catodo + elettrolita i due

separatori: griglia fatta così da essere permeabile agli ioni ma isolare meccanicamente anodo e catodo

dall'esterno c'è un circuito metallico costituito da un cavo generico  $\rightarrow$  estrono elettroni: corrente

la corrente nel circuito esterno (elettroni) = corrente nel circuito interno (ioni)

- l'anodo solitamente è allo stato solido (metallo). Il catodo può essere solido, liquido o gassoso
- catodo solido  $\rightarrow$  elettroliti solidi o liquidi
  - liquido  $\rightarrow$  elettroliti liquidi (dello stesso del catodo)
  - gassoso  $\rightarrow$  elettrolito liquido (in cui è disciolto il gas del catodo)

Normalmente anodo e catodo sono solidi, e l'elettrolito o solido o liquido  $\rightarrow$  batterie x D/A

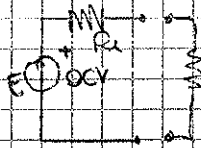
## TERMINOLOGIA

- TENSIONE A VUOTO**: Open Circuit Voltage (OCV), differenza di potenziale tra i suoi morsetti quando è chiuso su un carico infinito (= nessun carico = circuito aperto)

[Le batterie producono tensione continua, non alternata]

Modello elettrico semplificato: circuito equivalente di Thevenin (o Norton)

$\rightarrow$  trascurare solo alcuni effetti del secondo ordine



se collego la batteria ad un carico, scorre una corrente

$\rightarrow$  la tensione che misuro tra i morsetti è + bassa della tensione a vuoto (perdita di tensione su  $R_i$ )

- TENSIONE A CIRCUITO CHIUSO**: tensione tra i suoi morsetti quando la batteria è chiusa su un carico dato ( $\rightarrow$  varia a seconda del carico)
- CAPACITÀ**: carica elettrica immagazzinata nella batteria vuota  
si misura in Coulomb  $\rightarrow$  espresso però come Ampere-ora ( $1 \text{ Ah} = 3.6 \text{ kC}$ )
- ENERGIA TOTALE** = energia contenuta in una batteria  $\rightarrow$  tensione a circuito chiuso + capacità  
si misura in Watt-ora  $[A \cdot h \cdot V = W \cdot h]$

Si cercano, a parità di energia immagazzinata, batterie + piccole / leggere

- DENSITÀ GRAVIMETRICA DI ENERGIA**: energia totale relativa ad una cella di massa unitaria (1 kg)  
 $\rightarrow$  le batterie per D/A pesano da 2/3 a 20-25g  
unità di misura (Wh/kg) oppure (Wh/g)
- DENSITÀ VOLUMETRICA DI ENERGIA**: energia totale relativa ad una cella di volume unitario (1 L)  
unità di misura (Wh/L)  $\rightarrow$  (Wh/cm<sup>3</sup>)
- CURVA DI SCARICA**: diagramma (tensione di esercizio / carica elettrica erogata)

La batteria progressivamente ("scaricando") si impoverisce di carica elettrica  $\rightarrow$  tra spruce di carica  
tensione rimane molto costante per una capacità trasferita abbastanza elevata, poi inizia a diminuire  
rapidamente fino a che il carico non funziona + correttamente (tensione minima sotto la quale il  
dispositivo smette di funzionare)

funzionando l'anodo si ossida e il catodo si riduce; gli atomi di anodo che perdono  
elettroni diventano ioni che vanno in soluzione o si legano all'elettrolita (idem nel catodo)

$\rightarrow$  si perde massa in anodo e catodo: tecnicamente la batteria è scarica quando anodo e  
catodo sono scomparsi (non capita nella realtà).

$L_1 - I \rightarrow$  si crea lo ione di litio dagli ioni (che è l'elettrolita)

$\rightarrow$  solido

$\rightarrow$  diventa r spesso

ma così l'aumento  $E_0$  resistenza interna delle batterie  $R_i$

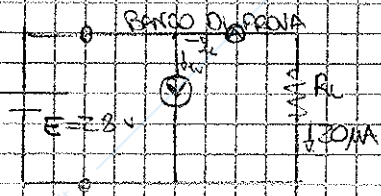
$R_i \rightarrow$  resistenza dell'elettrolita di passaggio di ioni

posizionando un carico molto alto su una batteria scarica, si misurerebbe  $E_m$  e tensione giusta ma con  $R_i$  normali,  $E_0$  tensione si perde "tutto" su  $R_i$  che è aumentata.

È diminuzione di tensione  $\left[ \begin{array}{c} \downarrow \\ \square \\ \downarrow \end{array} \right]$  è dovuto all'aumentare di  $R_i$  ( $E$  rimane uguale)

È importante poter stimare lo stato di una batteria ( $\times$  procedura 8 mesi prima lo sostituisce)  
- monitorare  
• controllare la tensione (conoscendo lo stato di scarica e i fabbisogni energetici del dispositivo)

Ottenere il curva di scarica di una batteria (a carico del produttore di batterie)



Determinazione del carico

$E = 2.8V$  (tensione di immissione per tutte le batterie (tra-riciclo))  
potenziale assai 10-20mA di consumo continuo

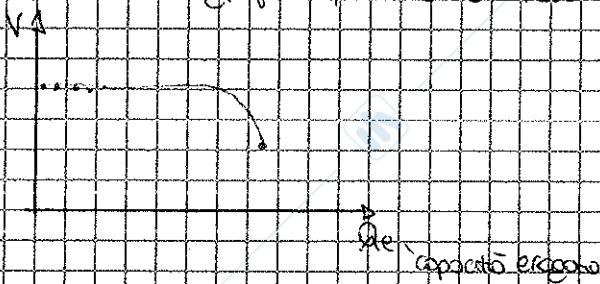
Le batterie non danno origine a fenomeni Pireou

$R_L \approx 100 \Omega$

Lo stato è vedere come se funzionasse normalmente in un pm.

La batteria eroga una corrente  $I_1 + I_2 \rightarrow$  ma con un voltmetro di resistenza alta (100 k $\Omega$ ) posso trascurare  $I_2$  (errore dell'ordine del 0.1%)

Costruisco un grafico partendo dal tavolo



t	V	I <sub>L</sub>	R [Ω]	Q <sub>+</sub>
0 sec	2.8V	20mA	50Ω	Q <sub>1</sub>
			R <sub>2</sub>	Q <sub>1+2</sub>

Con i dati di tempo traccio un punto nel piano  $\rightarrow$  finisce quando la tensione scende sotto il valore soglia

Il punto decide di questo procedura è il tempo  $\rightarrow$  ci vanno degli anni (durata della batteria)

$\rightarrow$  si usa per controlli di qualità sui fatti (se ne verifica un campione, si misura lo stato e si misura o venduto ed è un anno dopo  $\rightarrow$   $\times$  costa un margine di sicurezza)

$\rightarrow$  continuo fino alla scarica, per vedere se insorgono dei problemi

Per disegnare la curva però non va bene  $\rightarrow$  in molto meno tempo

Se aumento lo corrente  $\rightarrow$  si abbassa  $R_L$  di un ordine di grandezza. Il problema è che ci sono fenomeni non Pireou (es. lo capacità vuota)  $\rightarrow$  TEST DI SCARICA ACCELERATA:

batteria su un carico (10-20 volte minore)  $\rightarrow$  scaricata nel giro di 6-8 mesi

La curva ottenuta però deve essere modificata  $\rightarrow$  fattori correttivi

Le batterie non vengono vendute finché i test di scarica accelerata non sono finiti

$\rightarrow$  questi due test (lungo e costi) sono molto costosi per il produttore (batteria: 600€)

# BATTERIA LITIO-IOGIO

Cello più importante per DVA. Nasce nel 1972 in Italia (1° primo pm con Li-I è prodotto in Italia)

ANODO: Litio → anodo centrale collegato ad un supporto (cassa inox / metallo) che esce dal case della batteria tramite un rivestito in vetro.

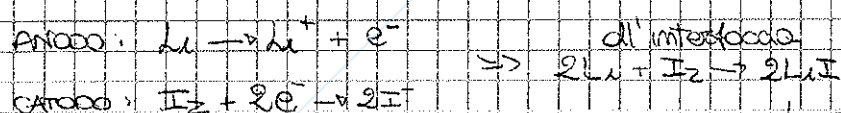
copertura sigillata con sigillatura epoxy.

L'anodo è completamente ricoperto da polivinil piridina (= separatoro) materiale plastico poroso.

↳ inserito, fissato e chiuso

Il catodo è Iodio (forse ad una bassa temp.) → si inverte il suo polo da un buco: riempie

l'intercavo della batteria e sigillato (non tocca l'anodo, c'è il separatoro). Il foro viene tappato e sigillato.



↳ lo ioduro di Litio è l'elettrolita solido

Nella fase di fabbricazione ci sono due distazioni tecniche → materiali che non si rompono e rompono sigillati. Questa reazione non dà origine a gas!

CAPACITÀ STECHIOMETRICA = capacità della batteria supponendo che si ottiene dall'utilizzazione

totale di anodo e catodo ⇒ non può mai essere superata

calcoliamo il n° di elettroni che possono essere liberati dall'anodo

Li: peso atomico 6.941 amu (è basso)

I: peso atomico 126.9 amu

} ⇒ due mol di LiI → 140.78 g (in proporzioni giuste)

↳ 2.6022E<sup>23</sup> atomi ⇒ ogni atomo libera un elettrone

$$\text{carica totale} = 6.022 \cdot 10^{23} \cdot 2 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}$$

⇒ la carica liberata da 1g è 1370 C = 0.38 Ah

↳ considerando solo litio e i

la densità stechiometrica di energia per grammo (massimo) è 0.38 Ah = 1.06 Wh/g

Per una batteria, gli elementi attivi sono poco meno del 50% del peso della batteria

→ nella realtà 0.25-0.28 Wh/g

Per i prossimi 10-20 anni, le batterie non potranno superare i 0.5 Wh/g (perché il peso degli elementi attivi non sono superiore a quello del contenitore) ⇒ prevedono miglioramenti del 50-60%

Inoltre nello stato funzionano sempre una certa quantità di anodo e catodo che non reagiscono perché non riesce a generare una tensione che fa funzionare il carico

es. potenziale: 60% peso → batteria → 50% volume

corrente nominale ⇒ corrente per la quale il costruttore ha caratterizzato la batteria in termini di capacità

OCV - BA → beginning of life - all'inizio della vita

auto-scarga: anche in assenza di corrente, le reazioni di ossidazione avvengono un po'

↳ per tenere a magazzino sono limitate da questa corrente di auto-scarga

si tengono a basse temperature (-20°C)

Raramente un pm riesce a funzionare sotto tensioni di 1.8V

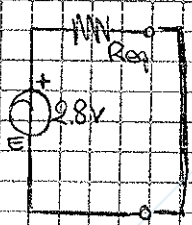
Circolo del funzionamento della capacità della batteria al lavoro corrente ad inizio vita.

↳ massimo da 10 a 30  $\mu A$

Dallo stato di scarica la tensione è  $< 2.8V$  → parte cade sulla resistenza interna (ca 20mV) con una corrente di 30  $\mu A$  ⇒  $R_i = 500 \Omega$  (distorsione modello approssimato, stima di  $R_i$ )

31-03-2017

Perché le batterie Litio-Iodo da pacemaker hanno resistenza interna alta? (1-2 k $\Omega$ ) è possibile farlo con resistenza interna bassa (0-100  $\Omega$ ).



col passare del tempo può capitare che l'azione che nessuno è bravo si deteriora e dà origine ad un contatto metallico tra anodo e catodo non cortocircuito. In questa condizione  $R_{ext} =$  resistenza di contatto tra catodo e case si applica la tensione ai capi di  $R_{ext}$  → dissipa una potenza  $P_0 = \frac{U^2}{R_{ext}}$  sul reattore

Viene prodotto calore: potrebbe danneggiare i tessuti (non superiore a  $40^{\circ}-45^{\circ}C$ )

Se  $R_{ext} = 2k\Omega$  →  $P_0 = 4mW$  non danneggia i tessuti a contatto con l'innescatore

LEGGE DI OHM TERMICA:  $\Delta T = P_0 R_{temp}$  → variazioni di temperatura di 0.06  $^{\circ}C$   
 ↳  $R_{temp} \approx 1-10^{\circ}C/W$

Può anche in cortocircuito o caso: guasto della batteria, guasto dell'elettronica

↳ il pacemaker smette di funzionare ma non si causano danni ai tessuti per la temp. (per molti pazienti è lì pronto ad intervenire, ma lavora solo in alcuni casi)

↳ il soggetto non si accorge del guasto: fare controlli periodici

Una resistenza interna alta limita la potenza disponibile (= massimo potenza attiva che il generatore riesce a trasferire al carico) del generatore → se voluto per funzionare correttamente deve poter trasferire una certa potenza ( $\leq$  della potenza disponibile del generatore)

$P_{dis} = \frac{E^2}{4R_{int}}$  → 700-800  $\mu W$  è sufficiente?

Un pacemaker assorbe 10-15  $\mu A$  a 2.8V ⇒  $P = 30-60 \mu W$  sì, è sufficiente

Quando si costruisce un nuovo p.m. bisogna valutare se c'è la sorgente energetica adatta.

- fornisce il giusto voltaggio? Sì, oggi ci sono circuiti che funzionano fino anche a 800mV (le batterie presenti sono intorno ai 3V)
- eroga la potenza richiesta dal dispositivo? Sì se la potenza disponibile è  $\geq$  potenza richiesta (normalmente sì)
- eroga massima corrente richiesta per far funzionare il dispositivo?  
 massima corrente di cortocircuito  $I_{cc} = \frac{U}{R_{int}}$  1.5-3 mA (caso di cortocircuito o  $\frac{dQ}{dt}$  deve essere  $>$  (nostro) della corrente richiesta dal p.m.)
- consentire l'autonomia minima necessaria → quanti anni minimo venga fatto durare il capacitori → carico elettrica. Conoscendo la corrente media (costante costante nel tempo) posso calcolare la carica trasferita  $Q = I \cdot T$  (corrente media [Ampere])

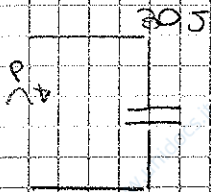
facendo (1000 per 1000)  $Q = 240 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^6 = 3600 C$   $C_0 = \frac{Q}{U} = \frac{3600}{3} = 1200 F$  (tempo [secondi])  $C_0 = 1 Ah$

Le batterie litio-iodio sono in grado di erogare più di 1Ah (1.4Ah → 12 anni di vita)

[Questo conto è ottimistico: in realtà il pm consuma per garantire il funzionamento della circuiteria interna e per trasferire carica elettrica al cuore]

### BATTERIA LITIO/SOD

Defibrillatore cardioversore impiantabile → devono scaricare un'energia > 100 J (20-35 J per singolo scarico), tensioni di carica del condensatore dell'ordine dei kV, condensatore 10 μF, il problema è che si devono ricaricare energia + scariche successive (ogni arco 5-10 secondi) il condensatore deve essere ricaricato in circa 5 secondi (ipotesi di recupero a potenza costante. Come se non è così)



$P_m = \frac{305}{55} \approx 6W$  con una batteria di 3V deve erogare circa 2A

Le batterie litio-iodio (per pm) non a contenuto di aere corrente di costo circuito superiore a pochi mA → meglio non esisteva

una batteria solida anche se e' elettronica sarebbe stato perfetto

Le litio-iodio non garantisce la massima potenza disponibile e la massima corrente

### Nasce la batteria LITIO-SILVER VANADIUM OXIDE

La corrente che posso ottenere da una batteria è legato alle superficie di anodo e catodo

La corrente elettrica → molti scambi ioni → superficie elevata di anodo e catodo

idea degli accumulatori: celle in serie, dove ogni singolo cella è fatta da un certo numero di piastre di anodo e piastre di catodo



LITIO: non garantirebbe la separazione meccanica  
Piastra di anodo con una struttura a serpentina: ...  
a due lati con due fogli di litio. ...  
resina ...  
piastre di nichel fissate  
supporto meccanico e raccolta degli elettroni

Catodo: miscela di carbonio, grafite, SiO e un legante → viene fatto aderire ad una rete di titanio (costo sempre all'incasso)

Le piastre del catodo sono inserite dentro la serpentina e collegate da un ponte conduttore

Superficie attiva = n° piastre \* 2  
Le piastre sono relativamente sottili, ma ce ne sono tante (es. la massa di litio usata è simile a un prumo)

La capacità stoichiometrica è simile a prima (litio-iodio) → 1-3 Ah

L'elettrolita è liquido → è conveniente per correnti di scarica elevate

Le sostanze organiche con disidratati sali di litio  
Per evitare un contatto diretto tra anodo e catodo, sono entrambe racchiuse in un materiale plastico semiporoso

Fabbricazione: anodo + catodo inseriti nel contenitore, riempito con elettrolita liquido e si chiude

Vantaggio: consentono correnti di scarica molto + elevate → 1.5-2A

↳ problema: se messo in cortocircuito scade molto di più

Resistenza interna dell'ordine di  $\sim 2\Omega$

Tensione a vuoto:  $3.2-3.3V$

$$P = \frac{V^2}{R_i} \approx 10W \rightarrow 1000 \text{ volte maggiore del Lito-Iodio}$$

$$\Delta T = P \cdot R_{th} \approx 10^\circ C \quad \text{decine di } ^\circ C$$

$$\approx 5 \frac{^\circ C}{W}$$

È un oggetto molto importante che deve essere tenuto in conto

↳ bisogna che le batterie siano costruite + sicure per il cortocircuito

Ma dato che il cortocircuito può anche essere causato da un guasto di elettronica, bisogna progettare in modo che sia di durata limitata

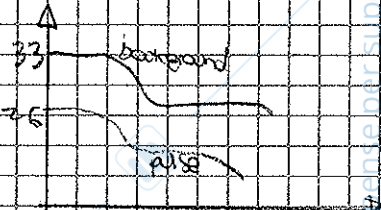
Le batterie Li-I hanno una tensione a vuoto di mezzo volt molto sensibile (variazioni di uno decimo di mV)

Le batterie Li-SiO messe in riposo:  $3.2V - 3.3V$  + variabile, da curva di scarica è diverso

• me Compilano due → background: funzionamento normale

Consumo simile ad un pm (10-20uA), ma il consumo è altissimo

quando deve erogare la scarica ( $1-2A$ )



↳ pulse: non è standardizzato, bisogna leggere come è scaricato (carichi impulsivi, come che ampiezza)

simula una condizione di funzionamento possibile: es. 8-10 scariche successive

si ottiene simulando background per un certo tempo, poi un treno di impulsi e così via

parte da una tensione a vuoto molto diversa, e dipende dalla corrente erogata che passa nella resistenza interna

background: c'è un primo plateau poi scade in modo considerevole, e poi un secondo plateau

Non posso fare affidamento solo sulla prima tensione, c'è ancora molto da dare dopo

anche se ad un voltaggio minore ⇒ progettare il dispositivo (l'elettronico) che funzioni

anche a 2.0V (oltre a 3.3V)

Per determinare la capacità residua sembra + facile, ma interessa la parte finale della

curva → per predire quando sostituire. Oggi però abbiamo la possibilità di calcolare la

carica elettrica associata (stato x stato) ⇒ molto preciso: perché la determinazione del

quello di scarica dalla batteria è meno importante. Con l'olimpio viene anche dato nel modo

vecchio perché ci sono errori sulla capacità iniziale.

Efficienza gravimetrica di energia minore che nelle batterie Li-I (e metal)

È un pol più spesso (7.5 mm) della Li-I ma non molto

↳ gli Ico sono molto + spessi dei pm (il doppio)

Per gli stimolatori, il fabbisogno energetico è + alto del p.m. (correnti dell'ordine dei mA).

ma molto minore degli ICD  $\rightarrow$  fabbisogno intermedio.

Le batterie Li-I non vanno bene, e le Li-SIO ad elettrolita liquido sono esogene (efficienza bassa) e poco sicure.

Dal 1985 si sono sviluppate celle per questi dispositivi  $\rightarrow$  celle LITIO-SIO con elettrolita solido.

Catodo centrale (SIO aderito ad uno griglia), recoperto di un materiale poroso microporoso.

Anodo di litio <sup>(litio)</sup> immerso in fase liquida.

es. Peso maggiore del 50%, ma capacità doppia ed efficienza doppia rispetto alle Li-SIO liquide.

Ci sono due curve di scarica: ottenute su carichi resistivi molto diversi (1.6.5k $\Omega$ , 500 $\Omega$ ).

$\rightarrow$  correnti dell'ordine: alcuni mA, o anche 200  $\mu$ A.

possono funzionare in 2 modalità: stesso (50-100  $\mu$ A) senza stimolazione  
stimolazione (qualche mA).

### BATTERIA LITIO/CFX $\sim$ carbone fluorinato

non ha caratteristiche migliori del Li-SIO perché è stato trascurato.

catodo centrale di carbone fluorinato (polvere + legante su uno griglia di nichel)

$\rightarrow$  guscio di polipropilene.

Anodo: polvere di litio. Elettrolita liquido (litio in solvente organico)

Efficienza gravimetrica di energia + alta (0.38), tensione a vuoto di 3.3V, capacità elevata.

La curva di scarica è molto piatta fino a fine vita. Resistenza interna: centomila di  $\Omega$ .

Sto iniziando ad essere usato adesso, x $\infty$  è migliore delle Litio-SIO  $\rightarrow$  x stimolatori.

Correnti dell'ordine delle centinaia di  $\mu$ A di continuo.

### BATTERIA LITIO/CLORURO DI TIONILUS

Anodo centrale di litio salvestro da un nanotessuto in fibra di vetro, Catodo: polvere di

carbone + legante su griglia di acciaio INOX. elettrolita liquido (sali di litio in cloruro di stonio)

Non è molto diffusa, Tensione a vuoto alta: 3.6V. Curva di scarica: costante perfettamente

fino a fine vita, dove crolla la tensione (c'è un secondo plateau molto breve) molto velocemente.

Efficienza alta.

$\rightarrow$  poco tempo per capire quando il dispositivo è scaricato o fine vita.

$\rightarrow$  molto usate in commercio ma non per dispositivi impiantabili.

(non invenzione di nuovi)

Oggi  $\rightarrow$  migliorare le celle esistenti, x $\infty$  non ci sono dispositivi non ancora realizzabili perché

manca la batteria. Anche se si ipotizzano dispositivi molto piccoli non ancora

realizzabili, o dispositivi flessibili.

# TELEALIMENTAZIONE

Trasferire dall'esterno del corpo umano energia di DA

- per farlo funzionare per un tempo molto lungo (fino a tutto lo vita del paziente)  
→ può essere un dispositivo che funziona solo quando serve. (es. termometro impiantato)  
riene attivato solo quando serve
- può avere dei momenti prevedibili di fatto <sup>di lettura</sup> bisogno energetico alto  
(testina programmabile che comunica con l'esterno: consumo + alto es. da 10 a 100  $\mu A$ )  
→ si può usare lo stesso di lettura per trasferire dati all'esterno ed energia all'interno  
da tali dispositivi sono fatti in questo modo, altri invece sono completamente autonomi

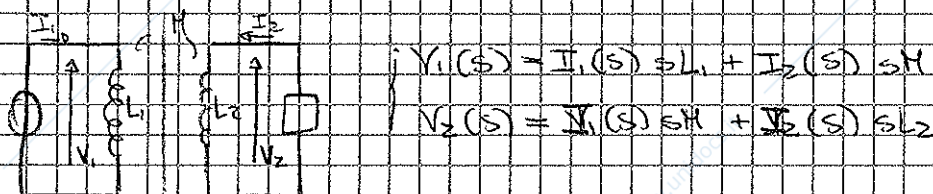
Come trasferire energia? Ci sono un certo numero di soluzioni, anche se alcune sono solo teoriche o di più sperimentale su animali (non vale su uomini) → me ramangono 2 (una mai visto)

1. Mettere una cella fotovoltaica nel dispositivo impiantato, ed illuminarlo dall'esterno con un fascio di luce che attraversa i tessuti → <sup>800-1000nm</sup>  $\rightarrow$  infrarosso (per avere efficienza) è poco assorbito dai tessuti

Non è utilizzato perché consente di trasferire quelli di potenza bassi ed è poco efficienti

## 2. TRASFORMATORE INDUTTIVO

due induttori accoppiati  $\rightarrow$  è possibile trasferire energia grazie all'accoppiamento magnetico. Primario all'esterno e secondario all'interno del corpo umano. Se sono vicini sono mutuamente accoppiati e trasferiscono energia



Consente di trasferire quelli di potenza sufficienti per trasferire dati poi all'esterno generatore (potrebbe essere sinusoidale)  $\rightarrow$  in continuo il trasformatore non funziona <sup>(L)</sup>

- se le frequenze sono basse, gli induttori devono avere valori elevati, e devono essere grandi  
 $\rightarrow$  meglio lavorare a frequenze alte per diminuire la dimensione degli induttori
- se le frequenze sono alte il campo magnetico variabile nel tempo genera un campo elettrico (Maxwell)  $\rightarrow$  si generano correnti di conduzione nei tessuti tra primario e secondario e dolore (ustioni, necrosi)  
 $\rightarrow$  scende l'efficienza (il generatore deve garantire più potenza)  
più alta è la frequenza, più le correnti sono elevate

$\Rightarrow$  si utilizzano frequenze da 10kHz a 1MHz a seconda dell'applicazione

Molti dispositivi usano questo metodo per comunicare con il dispositivo

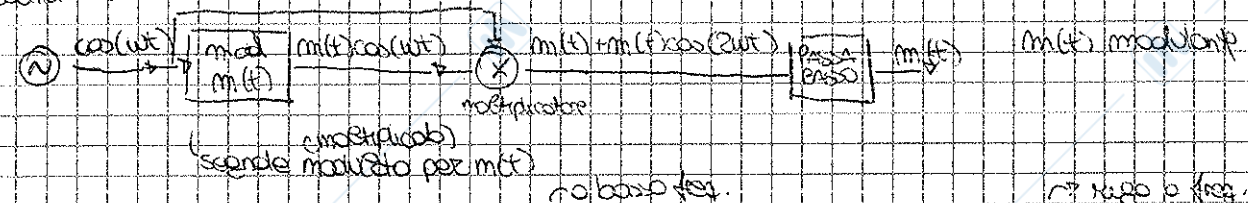
Giustamente di essere in questa condizione: sia scorrendo  $I_1$  e  $I_2$ . Se  $I_2$  cambia mentre  $I_1$  resta costante cambia  $V_2$ , ma cambia di conseguenza anche  $V_1$ .



Aperto e chiudendo questo interruttore potrei volare  $I_2$ ; ma dato che  $E_2$  tensione e primario presente delle variazioni di corrente o secondario, osservando  $V_1$  posso avere informazioni sull'interruttore  $\rightarrow$  trasferimento informazioni dall'interno all'esterno

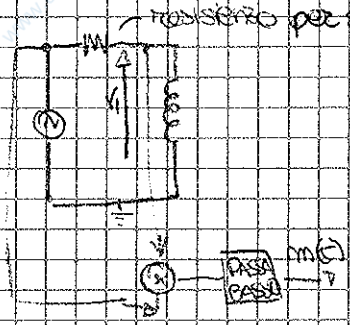
$\Rightarrow$  PRINCIPIO DELLA IMPEDENZA RIFLESSA. Il problema è che le variazioni di  $V_1$  sono molto piccole (simboli di: piccola differenza tra i picchi)  $\rightarrow$  difficile distinguere

Se  $E_2$  testino di lettura si muove, varia  $M \rightarrow$  varia  $I_2 \rightarrow$  difficile discriminare le due variazioni oscillatore sinusoidale



Se le componenti frequenziali di  $m(t)$  sono trascurabili rispetto a  $\omega t$ , sono facilmente separabili. Con un filtro passabasso riusciamo ad ottenere il segnale modulante  $m(t)$  (interruttore)

Tutto questo blocco è contenuto all'esterno nello testino di lettura

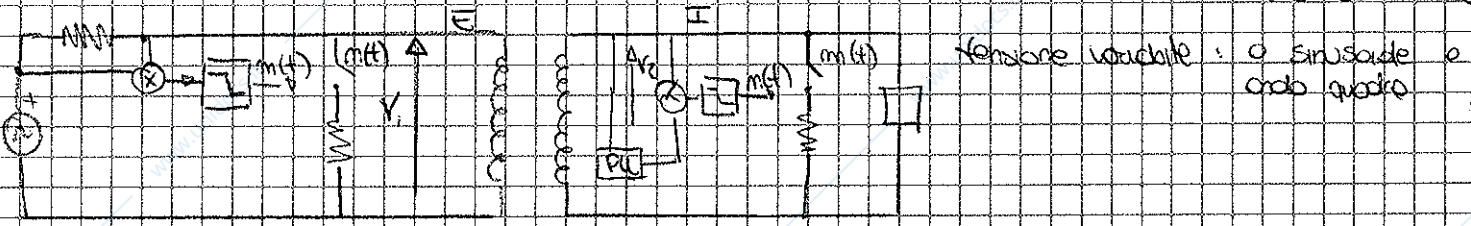


SEGNALAZIONE SINCRONA

Per usare questo metodo, uso veramente poca energia all'interno del corpo umano: devo solo aprire e chiudere un interruttore digitale.

Come trasporta informazione dall'esterno all'interno (es. programmare il dispositivo)

28-03-2012



Trasferimento di energia è basato unicamente sul trasformatore induttivo.

Interruttore che permette di variare il carico o secondario  $\rightarrow$  varia  $E_2$  tensione  $V_1$  e primario  $\Rightarrow$  trasporta informazione dall'interno all'esterno

Ma noi vogliamo trasporta informazione anche nell'altro senso: dall'esterno all'interno (per programmare il dispositivo).

PROGRAMMATORE: dispositivo all'esterno del corpo umano che decide quando l'informazione viene

trasportato  $\rightarrow$  se avviene solo in un senso per volta  $\Rightarrow$  COMUNICAZIONE HALF DUPLEX

(la comunicazione telefonica è FULL DUPLEX)

Il primo modo per comunicare dall'esterno all'interno è usare lo stesso metodo di controllo. Il problema è cosa manca al moltiplicatore? manca il segnale di riferimento all'interno del corpo umano.

- metto un generatore anche all'interno del dispositivo  $\rightarrow$  no! problema energetico; i due generatori interferiscono e la situazione si complica molto.
  - $\rightarrow$  si potrebbe mettere un accumulatore per prendere energia e poi usarlo  $\rightarrow$  no!
- per dare un segnale all'interno del corpo uguale al riferimento si usa un oscillatore ad angolo di fase (PLL)  $\rightarrow$  genera un segnale di freq. desiderata, ampiezza costante e agganciato in fase  $\Rightarrow$  esatto replica a meno di un piccolo errore di fase.
  - $\hookrightarrow$  questa è la strategia + seguita.
- in passato veniva modificato il generatore per errore dei pacchetti di oscillazioni.  $\Rightarrow$  ci vuole ero e informazione.



il problema di questa soluzione è che quando trasmetto all'  $\phi$  non c'è trasferimento di energia all'interno.  $\hookrightarrow$  un tempo è sostituire lo  $\phi$  con una sinusoide in controfase. (ce ne sono altri metodi.)

Oggi si utilizza un trasformatore induttivo e un doppio circuito modulatore e demodulatore sincrono all'interno e all'esterno. Però su alcuni dispositivi questo metodo sta scomparendo: creare un canale di info verso l'esterno non basato sugli induttori; es. uno stimolatore per il controllo del tremore (parkinson)  $\rightarrow$  il paziente deve poter intervenire sullo stimolatore: accenderlo, spegnerlo, modificare la corrente ( $\rightarrow$  avere una specie di telecomando) comunicare ad una distanza delle decine di cm  $\rightarrow$  ricevo, trasmetto e radiofrequenza: attraverso un campo elettrico (antenne piastre) (frequenze superiori a GHz, vicino alla banda di freq. dei cellulari)  $\Rightarrow$  quando è stato sviluppata questa tecnologia, da 12 anni anche i dispositivi cardiologici (ICD, pmi) hanno questo canale di informazioni (radiofreq.) usano ancora la tecnica di lettura per trasferire energie per far funzionare.

TELECONTROLLO (CONTROLLO REMOTO): controlli periodici con una certa frequenza (3-6 mesi) presso un centro ospedaliero  $\rightarrow$  visita + lettura memoria del dispositivo  $\rightarrow$  costo economico per il paziente ma anche per l'ospedale.  $\Rightarrow$  si potrebbe avere un controllo remoto del dispositivo: con un comunicatore, nel raggio di 2-3 metri, trasferisce info dal DIA al centro remoto (radiofrequenza e poi telefono)  $\rightarrow$  consente di ridurre le visite all'ospedale controllando chi il dispositivo.

Ci sono condizioni patologiche in cui il dispositivo deve essere attivato es. 2-3 minuti 5-6 volte al giorno.  $\rightarrow$  è poco efficace sfruttare una sorgente energetica interna; una scorta di max. induttivo sarebbe molto utile  $\Rightarrow$  non ci sono ancora, ma si stanno studiando.