

FENOMENI II

Lezione 28/2/19

ASPETTI ORGANIZZATIVI

SITO WEB → CENTRO PIAGGIO

- LIBRO → BIOELECTROMAGNETICA → PDF (PROGRAMMA)
(BIOELECTRICITY;
A QUANTITATIVE APPROACH)

- MATERIALE DI SUPPORTO → GRAFICI PROIETTATI A LEZIONE

- ESEMPI MATLAB → CALCOLO FUNZIONI COMPLESSE + SIMULAZIONI

- DISPENSE "NUOVE" DE ROSI
↳ NEURONI E RETI NEURALI
↳ NEURONI FONALI E SISTEMI CONNESSIONISTI

- SUPPORTO DIDATTICO → DANIELE POLI → [RICERCA NELL'AMBITO DELLA STIMOLAZIONE DI CULTURA IN VITRO DI NEURONI]
- DISPENSE VECCHIE CON MODERNIZZAZIONE....

ASPETTI GENERALI DEL CORSO

CERVELLO
CUORE
MUSCOLI



SEGNALI GENERATI

SPONTANEI → ECG
EEG

INDOTTI → IMPEDANZA
PLETISMA
EIT

↳ STIMOLAZIONE → RISTABILIRE

FES

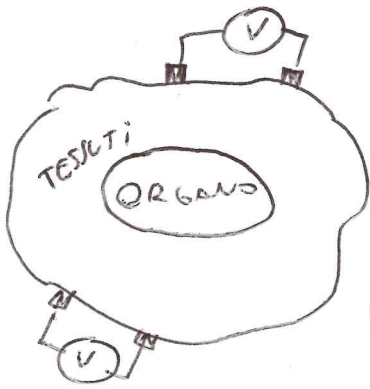
PACING

DEFIBRILLAZIONE

IL CORNO
FUNZIONAMENTO
IMPEDANZA
ENERGIA
DALL'ESTERNO
(TIPILOCANTE CORONARIO)

IL CORSO SI PONE L'OBIETTIVO DI STUDIARE E MODELLORE IL COMPORTAMENTO BIOELETTRICO DEI TESSUTI ECCITATIVI

PROBLEMA INVERSO → DIAGNOSTICAMENTE RILEVANTE



TESSUTI ECCITABILI → Sorgenti bioelettriche

MISURANDO DBI BIO-POTENZIALI SULLA SUPERFICIE DEL CORPO E VOGLIAMO DETERMINARE LO "STATO" DELLA SORGENTE

CLASSICO PROBLEMA DA RISOLUZIONE
SI PENSA A ECG

NOTE: PROBLEMA "MAL POSTO" di solito non esiste una sola soluzione

PROBLEMA DIRETTO → RILEVANTE DAL PUNTO DI VISTA DELLA "TERAPIA"

DATA LA SORGENTE BIOELETTICA → DETERMINARE IL POTENZIALE NELLO SPAZIO CIRCONSTANTE

TIPICO PROBLEMA LEGATO ALLA STIMOLAZIONE → DATA UNA SORGENTE (ESEMPIO CORRENTE INIETTATA) E IL SUO POSIZIONAMENTO SPAZIALE

FES

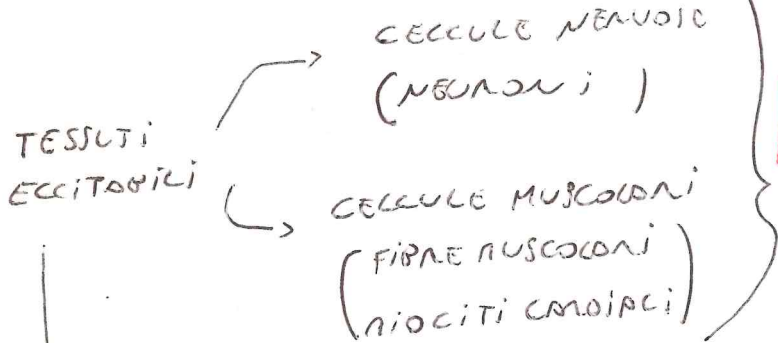
PACING

DEFIBRILLAZIONE

↓
DETERMINARE IL POTENZIALE INDOTTO SUL TESSUTO ECCITABILE E IL CONSEGUENTE "EFFETTO" FISIOLOGICO

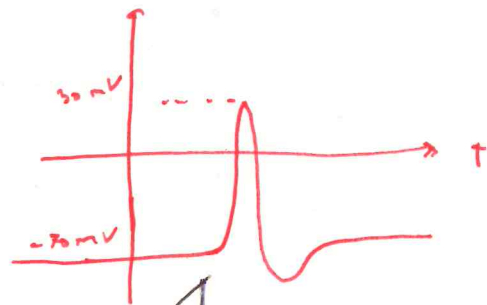
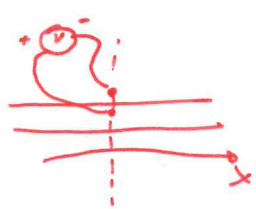
DA CONSIDERARE → CARATTERISTICO TESSUTI → non omogenei / non isotropi
→ PROBLEMA 3D → SPESSO CI RIANDANO AL CASO NON 0 DIMENSIONALE

POTENZIALI INDOTTI → FORNIRNO ENERGIA E RILEVANO L'INTERAZIONE CON I TESSUTI (BIOIMPEDENZA)

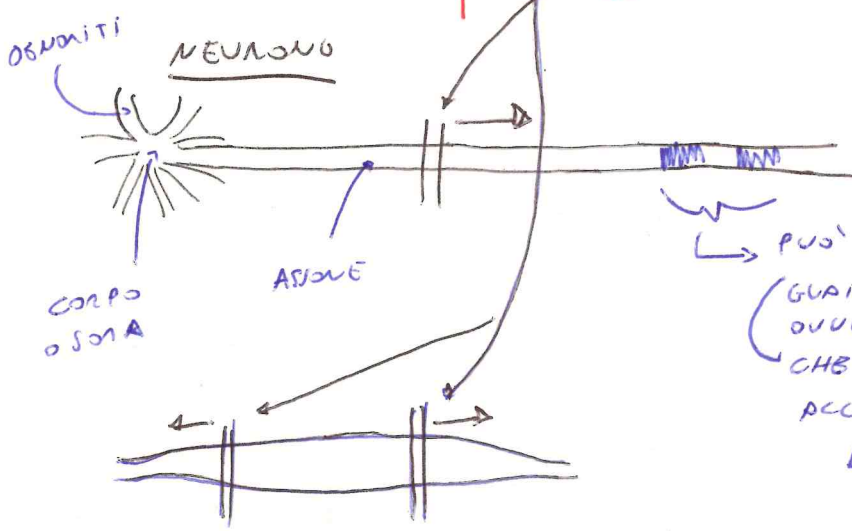


ECITABILITÀ LEGATA ALLA STRUTTURA DELLA MEMBRANA CELLULARE (POTENZIALE DI MEMBRANA)
 ↳ D.O.P. TRAO INTERNO ED ESTERNO DELLA CELLULA

CELLULE ECCITABILI → LA MEMBRANA CELLULARE PUÒ PROPAGARE GLI IMPULSI ELETTRICI CHE SI PROPAGANO



ESEMPIO: NEL PUNTO X DELLA CELLULA ECCITABILE



PUÒ ESSERE "MIELINATO" (GUAINA MIELINICA OVVORO STATO ISOLANTE CHE SI DUOBBE ATTUALM ACC' ASSON) ↳ CELLULO DI SWANN

FIBRA MUSCOLARE → ALLA PROPAGAZIONE DELL'IMPULSO È ASSOCIATA UNA "CONTRAZIONE" MECCANICA

CENNI AGLI ASPETTI GENERALI E ANATOMICI SUI TESSUTI ECCITABILI →

LIPNO CAP. 2

CELLOME DE ROSSI

#1

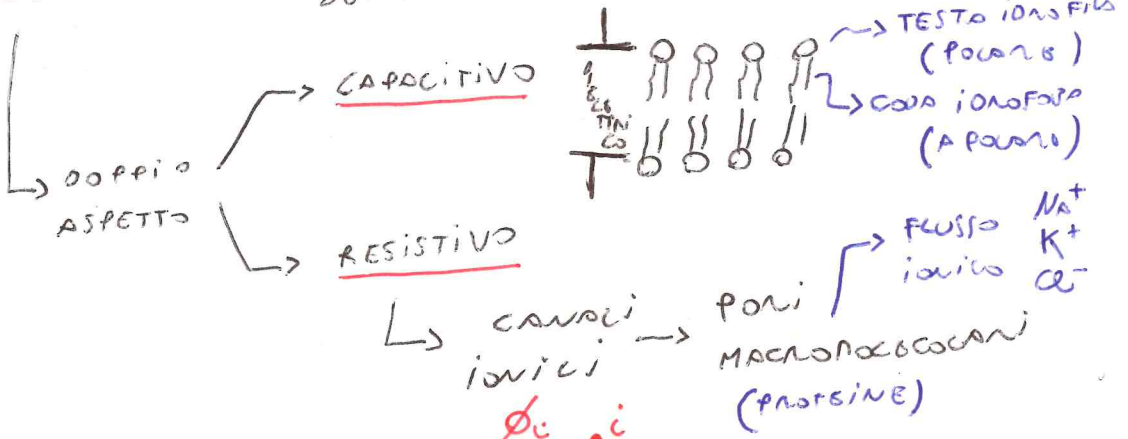
LA MEMBRANA CELLULARE SOTTOSOGGETTA

(CAP 3)
(LIPNO)

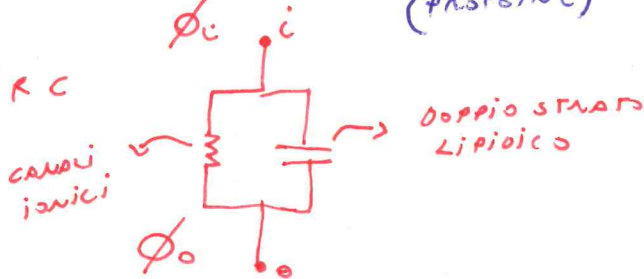
INTRODUZIONE

MEMBRANA CELLULARE

"COMPONENTE" FONDAMENTALE
DEI FENOMENI CHE STUDIAMO



MEMBRANA → // RC



POTENZIALE DI MEMBRANA (V_m)

(V_m)

D.D.P TRA INTERNO E ESTERNO DELLA MEMBRANA

$$V_m = \phi_i - \phi_o$$

POT. INTERNO

POT. ESTERNO

RIPOSO → COSTANTE NEL TEMPO E NELLO SPAZIO

ϕ_i

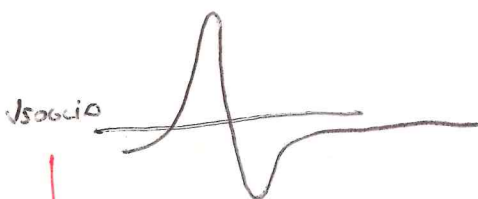
ϕ_o

STIMOLATA → SECRESCA → STIMOLO ECCITATORIO
SE DECRESCA → STIMOLO INIBITORIO

STIMOLO ECCITATORIO

SOPRA UNA CERTA SOGLIA

POTENZIALE D'AZIONE



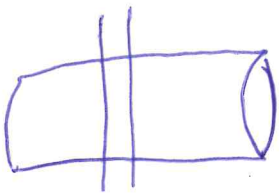
"REGOLA DEL TUTTO O NULLA" →

SE NON SI RAGGIUNGE LA SOGLIA NON SI CREA NESSUN POTENZIALE D'AZIONE

SOTTO SOGLIA $\left\{ \begin{array}{l} \text{GENESI DEL POTENZIALE} \\ \text{di RIPOSO} \\ \text{PROPAGAZIONE SOTTO SOGLIA (ELETTRONICA)} \\ \text{REGOLAZIONE INTENSITA' / DURATA} \end{array} \right.$

GENESI DEL POTENZIALE DI RIPOSO

OBBIETTIVO: DESCRIVERE LA MEMBRANA CELLULARE CON UN MODELLO ELETTRICO A ~~RIPO~~



BASE PER LA DESCRIZIONE / COMPRESIONE DELLA GENESI E DELLA PROPAGAZIONE DEL POTENZIALE di RIPOSO

$\Delta X \rightarrow$ CONSIDERARE UNA PICCOLA PORTAZIONE DELLA MEMBRANA

N.B. \rightarrow PARTIRE DA UN'OSSERVAZIONE SPERIMENTALE

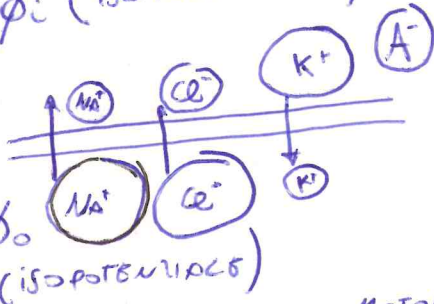
"FOTOGRAFIA" QUELLO CHE SUCCEDERE A RIPOSO

INTRA ϕ_i (ISOPOTENZIALE)

OSS #1

LE CONCENTRAZIONI DELLE SPECIE IONICHE SONO COSTANTI

$V_M = \phi_i - \phi_o$



EXTRA ϕ_o (ISOPOTENZIALE)

OSS #2

$V_M = \text{COSTANTE } (-70 \text{ mV})$

* NOTA: Cl^- E' ALL'EQUILIBRIO

MOTIVAZIONE GOTTO 310 K

	n_{max}^o	n_{max}^i	V_{NERNST} (TEORICI)
Na^+	150	15	61 mV
K^+	5.5	150	-88 mV
Cl^-	125	9	-70 mV *

OSS #3 NON SIAMO IN UNA CONDIZIONE DI EQUILIBRIO

$V_{NERNST} = \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{C_o}{C_i} \right)$

\rightarrow Na^+, K^+ non sono all'equilibrio
 $V_{Na} \neq V_{NERNST} \text{ K}^+ \quad V_M \neq V_{NERNST} \text{ Na}^+$

QUINDI :

SIAMO IN UNO STATO STAZIONARIO
NON SIAMO IN CONDIZIONI DI EQUILIBRIO

(UN
CONCENTRAZIONE → COSTANTE)

⇒ CI SONO UN FLUSSO PASSIVO DI SODIO
E POTASSIO ATTRAVERSO LA MEMBRANA

LEGGE DI
NERNST/HANK

→

$$J_I = -D_I \left(\nabla C_I + \frac{C_I z_I F \nabla \phi}{RT} \right)$$

I si muove I → ione I-ESTERNO

↓
FORZA DIFFUSIVA

↓
FORZA ELETTICA

$$J_I = D_I F J_I$$

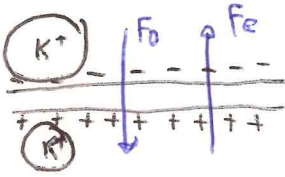
DENSITA' di
CORRENTE

← FLUSSO

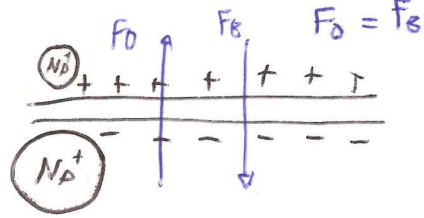
COME INTERAGISCONO i POTENZIALI DI NERNST!

IN CONDIZIONI DI EQUILIBRIO $J=0 \Rightarrow |F_d| = |F_z|$

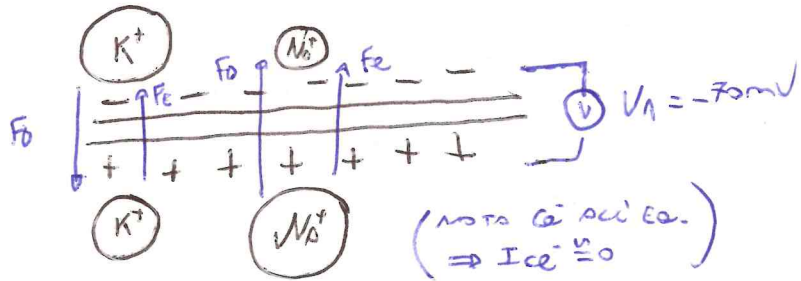
$V_K = -88 \text{ mV}$ $F_D = F_Z$



$V_{Na} = 61 \text{ mV}$



NECESS. CONDIZIONI SPERIMENTALI



F_D e F_Z discordi MA F_Z e' PIU' GRANDE di QUELLA NECESSARIA ALL'EQUILIBRIO

$\Rightarrow K^+$ FLUISCE FUORI $\Rightarrow I_K > 0$ → FOR. CONVERSION

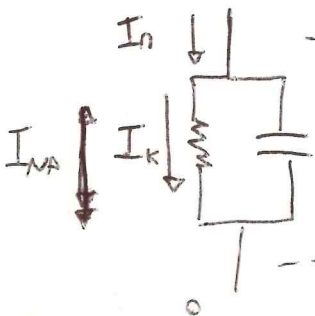
F_D e F_Z concordi $\Rightarrow Na^+$ FLUISCE DENTRO $\Rightarrow I_{Na} < 0$

OSS # 4 POTENZIALE V_M COSTANTE (STATO STAZIONARIO)

\Rightarrow CORRENTE SULLA CAPACITA' NUCCA

$\Rightarrow I_{Na} + I_K = 0$

→ CARICA SULLA C_1 e' COSTANTE



$\phi_i - \phi_o = V_M = \text{cost} \cong -70 \text{ mV}$

$I_n = \underset{V}{I_K} + \underset{\wedge}{I_{Na}} = 0$

A RIPOSO CA CORRENTE DI MEMBRANA e' NUCCA

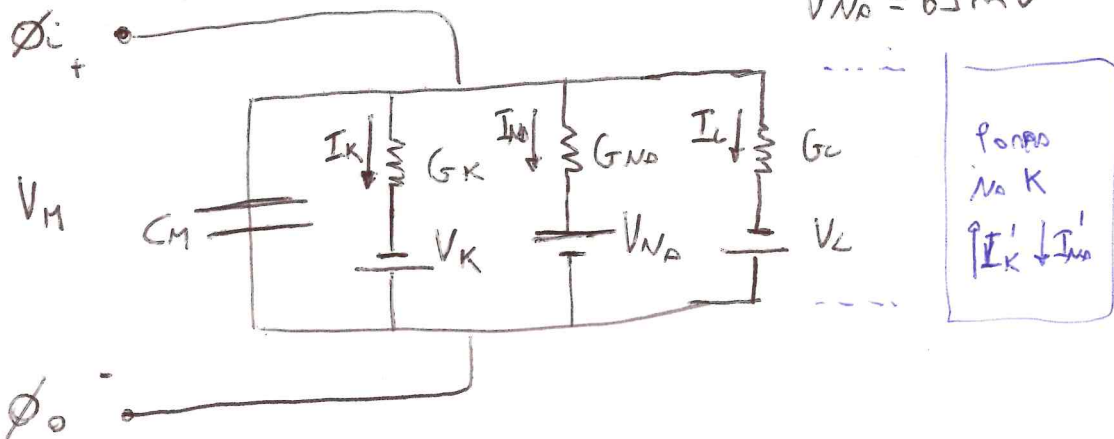
"FOTOGRAFIA" → COSA NON TORNA?
INIZIALE

FLUSSO CONTINUO di Na^+ (da 0 a 1) } LE CONCENTRAZIONI
 FLUSSO CONTINUO di K^+ (da 1 a 0) } di Na^+ E K^+ NON
VARIANO

→ EFFETTO DELLO POMPA SODIO/POSSASSIO
 CHE PORTA K^+ DENTRO E Na^+ FUORI
 E CONTRIBUISCE AL MANTENIMENTO DELLO
 STATO STAZIONARIO

STATO STAZIONARIO → $V_M = COST$
 CONCENTRAZIONI IONICHE = COST

MODELLO ELETTRICO DELLA MEMBRANA
 A RIPOSO



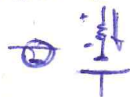
$V_K = 88 \text{ mV}$

$V_{Na} = 61 \text{ mV}$

~~V_M = 0~~
 $V_M = \phi_i - \phi_o = COST < 0 \rightarrow ES. -70 \text{ mV}$

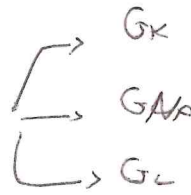
H₊: FLUSSI IONICI INDIPENDENTI
 TRA LORO

ALLE COND. SPERIMENTALI CONSIDERATE LA FORMA "DIFFUSIVA" di K^+
 TENDI A FAR FLUIRE I_N DA CUNDO 0 ⇒ POLARITA'



PERMEABILITA' IONICA

→ CONDUITANZA



LEAKAGE

CONTRIBUTO IONICO
DA K^+ E Na^+

PRINCIPALMENTE Ca^{2+}

$V_L \cong -70mV$ $I_L \cong 0$

FORZA DIFFUSIONALE

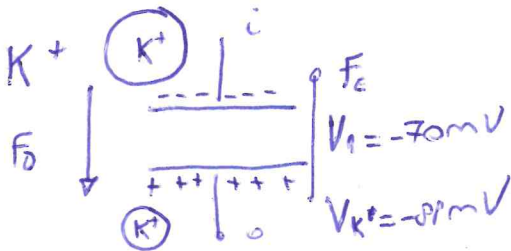
GENERATORI DI TENSIONE

(POTENZIALE DI NERNST)
ALLE CONC. DATE

FORZA ELETTRICA

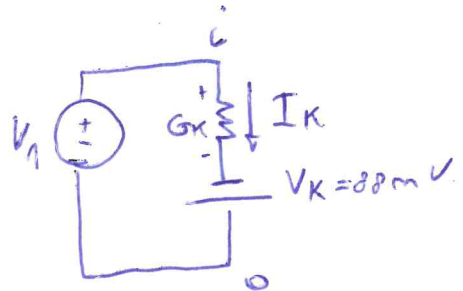
→ V_N / G_{K}

(DETERMINATA DAI POTENZIALI DI MEMBRANA E DALLA CONDUITANZA)



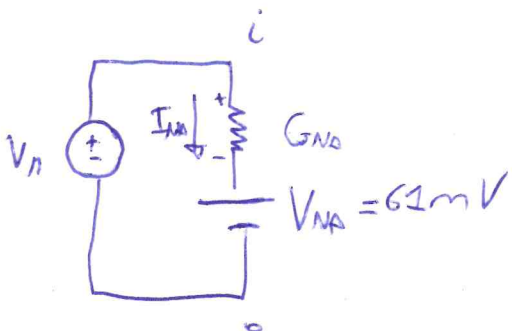
F_D E F_E DISCORDI MA LA FORZA ELETTRICA NON E' TALE DA CONTRODILAZIONARE QUELLA DIFFUSIONALE $|V_N| < |V_K|$
 $\Rightarrow I_K > 0$ (USCENTE)

→ VEDIAMO SE IL MODELLO ELETTRICO COINCIDE



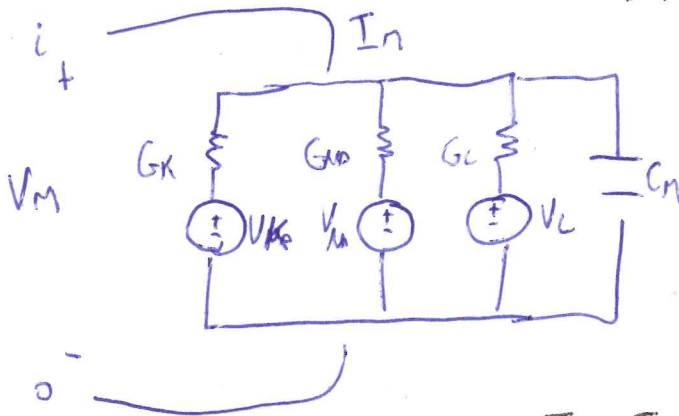
$I_K = G_K (V_N + V_K) = G_K (88mV - 70mV) = G_K 18mV$

OK! USCENTE



$I_{NA} = G_{NA} (V_N - V_{NA}) =$
 $= G_{NA} (-70mV - 61mV) =$
 $= G_{NA} (-131mV) < 0 \Rightarrow$ OK!
 ENTRANTE

IL MODELLO ALTERNATIVO → POLARITÀ GENERATORI E SEGNO DEL POT. di NERNST



$V_K = -80\text{mV}$
 $V_{Na} = 65\text{mV}$
 $V_L = -70\text{mV}$

N.B. → $V_A = \text{cost}$

$$I_K + I_{Na} + I_L = 0 \quad \left(\begin{array}{l} \text{DETERMINANTI} \\ \text{VARIA LA} \\ \text{CORRENTE} \Rightarrow \text{VARIA} \\ V_A \end{array} \right)$$

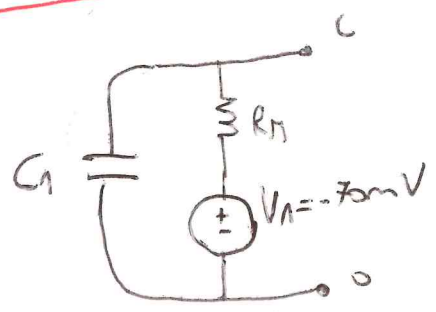
~~CONCENTRAZIONI~~
 CONCENTRAZIONI DI K^+ E Na^+ NON DEVONO CAMBIARE A DETERMINATI CONDIZIONI POTENZIALI DI NERNST E QUINDI CAMBIA V_A (EFFETTO POMPA Na/K CHE RISPONDE ALLE CONCENTRAZIONI) → $Na^+ \text{ out}$ vs. $2K^+ \text{ in}$

ESTENSIONE TEORIA V_A → MOD. GOLDMAN HODGKIN KATZ

$$V_A = \frac{-RT}{F} \left(\frac{P_K G_K + P_{Na} G_{Na} + P_{Cl} G_{Cl}}{P_K G_K + P_{Na} G_{Na} + P_{Cl} G_{Cl}} \right)$$

NOTA: $\frac{P_{Na}}{P_K} = 0.04 \rightarrow V_A \approx V_K$ ($G_K > G_{Na}$)

MODELLO CIRCUITALE SEMPLIFICATO

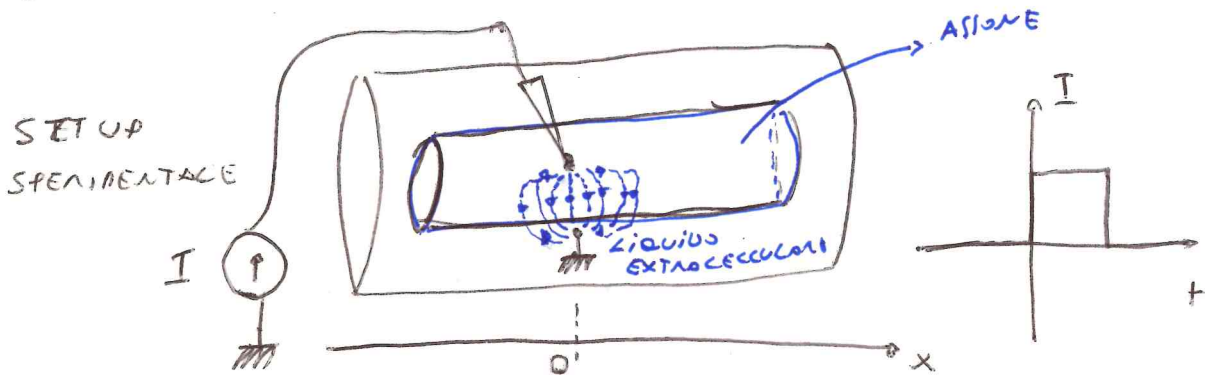


NOTA: A RIPILO NON SCARICA CORRENTE IN R_M

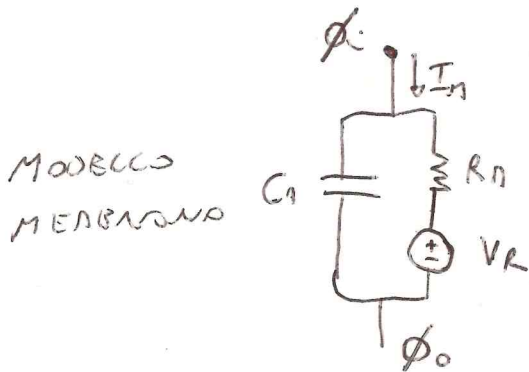
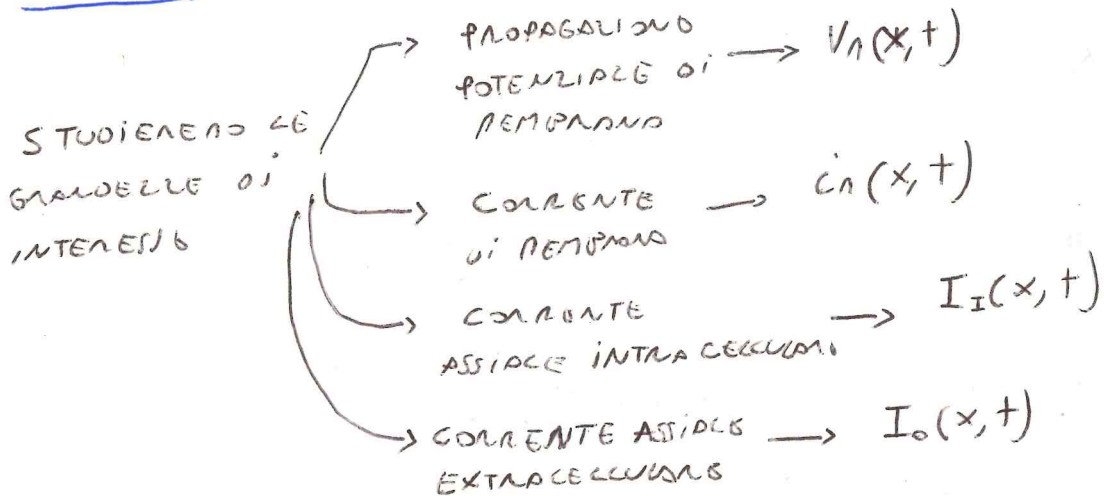
PROPAGAZIONE SOTTOSOGLIA

(ELETTROFISICA)

COME SI PROPAGA UNO STIMOLO QUANDO NON SI RAGGIUNGE LA SOGLIA DI ATTIVAZIONE?



PROBLEMA: DATO L'IMPULSO \rightarrow RICAVARE $V_A(x, t)$



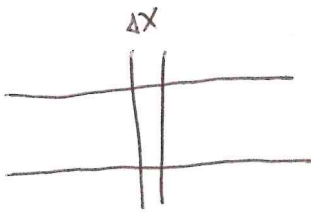
$$V_A = \phi_i - \phi_o = V_R + V'(x, t)$$

cost. in x
e t

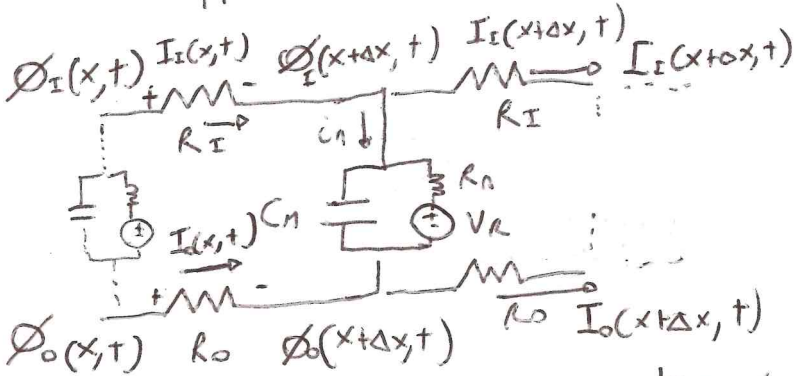
\downarrow
 $-70mV$

N.B.: Ripeto $V_A = V_R \Rightarrow I_m = 0$

NOTA: VALE LA CONSERVAZIONE DELLA CARICA $\Rightarrow \forall x \quad I_i(x, t) + I_o(x, t) = 0$



CONSIDERO UN TRATTO DI ASSONE
 Δx con $\Delta x \ll L$ (L = LUNGHEZZA ASSONE)



R_I, R_O, C_M (SU UNITA' DI CUNGHETTA) $K\Omega/\text{cm}$
 $\mu F/\text{cm}$

R_n (X UNITA' DI CUNGHETTA) $K\Omega \cdot \text{cm}$

I_I, I_O CORRENTI ASSIALI μA

C_M CORRENTE TRANSVERSARIA / UNITA' DI CUNGHETTA $\mu A/\text{cm}$

POTENZIALI $\rightarrow mV$

$V_n = V_R + V'$ \rightarrow GRANDEZZA DA RICAVARE

Equazioni ai Resi

$$\frac{\phi_I(x,t) - \phi_I(x+\Delta x,t)}{R_I \Delta x} = I_I(x,t)$$

$$\frac{\phi_O(x,t) - \phi_O(x+\Delta x,t)}{R_O \Delta x} = I_O(x,t)$$

$$R_I I_I(x,t) = - \frac{d\phi_I(x,t)}{dx}$$

$\Delta x \rightarrow 0 \Rightarrow$

$$R_O I_O(x,t) = - \frac{d\phi_O(x,t)}{dx}$$

Equazioni di Nernst

$$I_e(x, t) = i_n(x, t) + I_c(x + \Delta x, t)$$

$$I_o(x, t) + i_n(x, t)\Delta x = I_o(x + \Delta x, t)$$

$\Delta x \rightarrow 0$
 Variazioni
 piccole come
 l'angolo; trascurabile

$$\left\{ \begin{aligned} i_n &= -\frac{\delta I_e(x, t)}{\delta x} \\ i_n &= \frac{\delta I_o(x, t)}{\delta x} \end{aligned} \right.$$

Nota \rightarrow cons. della carica

$$I_e + I_o = 0 \Rightarrow \frac{\delta I_e}{\delta x} = -\frac{\delta I_o}{\delta x}$$

$$V_n = \phi_e - \phi_o = V_n + V'(x, t) \quad \frac{\delta V_n(x, t)}{\delta x} = \frac{\delta V'(x, t)}{\delta x}$$

$$\frac{\delta \phi_e(x, t)}{\delta x} - \frac{\delta \phi_o(x, t)}{\delta x}$$

$$\Rightarrow \frac{\delta V_n(x, t)}{\delta x} = -R_e I_e(x, t) + R_o I_o(x, t)$$

$$\frac{\delta^2 V_n(x, t)}{\delta x^2} = -R_e \frac{\delta I_e(x, t)}{\delta x} + R_o \frac{\delta I_o(x, t)}{\delta x} =$$

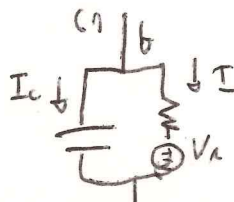
$$= R_e i_n + R_o i_n$$

Relazione molto importante!

Nota: ancora nessuna ipotesi sulla sottosoglia

$$\frac{\delta^2 V_n(x, t)}{\delta x^2} = (R_e + R_o) i_n(x, t)$$

He sottosoglia $\Rightarrow R_n = \text{cost} \Rightarrow i_n = I_c + I_{rn}$



dovuto al flusso ionico \Rightarrow corrente ionica

$$i_n = C_n \frac{\delta V_n(x, t)}{\delta t} + \frac{V_n - V_n}{R_n}$$

\downarrow $\frac{\delta V'(x, t)}{\delta x}$ \downarrow $\frac{V'(x, t)}{R_n}$

$$i_n = C_n \frac{dV'(x,t)}{dt} + \frac{V'}{R_n}$$

$$\frac{d^2 V'(x,t)}{dx^2} = (R_n + r_0) i_n$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_n + r_0} \frac{d^2 V'(x,t)}{dx^2} = C_n \frac{dV'(x,t)}{dt} + \frac{V'(x,t)}{R_n}$$

EQUAZIONE DIFF. IN X ET CHE DESCRIVE
LA PROPAGAZIONE DEC. POT. DI TEMPERA
IN CONDIZIONI SOTTO-SOGLIA

$$\frac{R_n}{R_n + r_0} \frac{d^2 V'(x,t)}{dx^2} = \underbrace{R_n C_n}_{\gamma} \frac{dV'(x,t)}{dt} + \frac{V'(x,t)}{R_n}$$

EQUAZIONE DEI
TELEGRAFISTI
o
CABLE EQUATION

$$\lambda^2 \frac{d^2 V'(x,t)}{dx^2} = \gamma \frac{dV'(x,t)}{dt} + V'(x,t)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_n}{R_n + r_0}} \rightarrow \text{COSTANTE DI SPAZIO}$$

Lezione 14/3

$$\gamma = R_n C_n \rightarrow \text{COSTANTE DI TEMPO}$$

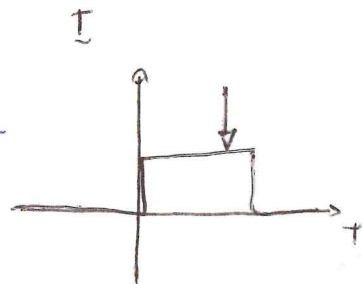
STUDIO IN CONDIZIONI STAZIONARIE

TRANSITORI ESPUNTI

$$\frac{d}{dt} = 0 \Rightarrow I_c = 0$$

$$\frac{dV'(x)}{dx} = \frac{V'}{\lambda^2}$$

$$V(x) = A e^{-x/\lambda} + B e^{x/\lambda}$$



$$V'(0) = V_0$$

CONDIZIONI
AL CONTATTO

$$V'(\infty) = 0 \quad (\text{A DIST. INFINITO DAL PUNTO DI STIMOLAZIONE})$$

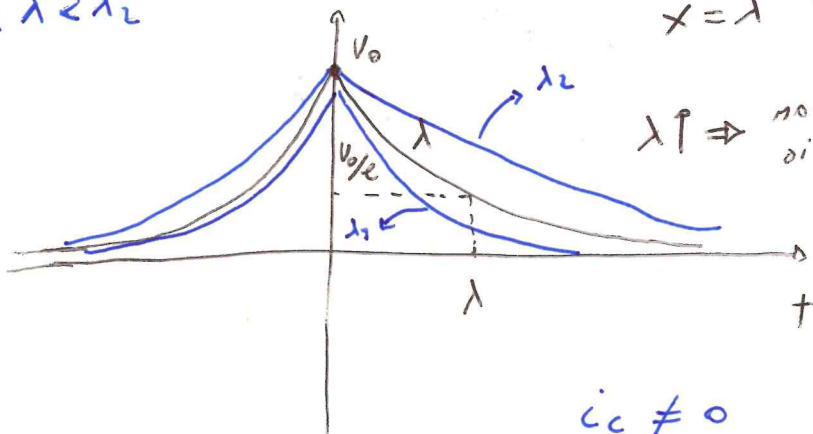
$$A + B = V_0$$

$$x > 0 \quad B = 0$$

$$V'(x) \begin{cases} V_0 e^{-x/\lambda} & x > 0 \\ V_0 e^{x/\lambda} & x < 0 \end{cases}$$

simmetrico
risp. a x

$$\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$$



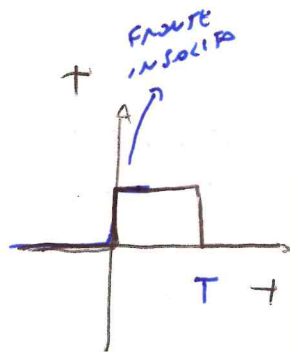
$$x = \lambda \quad V'(x) = V_0 / \lambda$$

$\lambda \uparrow \Rightarrow$ maggior distanza di propagazione

condizioni non stazionarie

$$i_c \neq 0$$

$$+; \frac{\delta}{\delta t}$$



$$\lambda^2 \frac{\partial^2 V'(x,t)}{\partial x^2} = \tau \frac{\partial V'(x,t)}{\partial t} + V'(x,t)$$

$t = 0^+$ C_1 "CHIVIA", il condensatore conserva la carica

$$\Rightarrow V'(x,0) = 0 \quad \forall x$$

$t = \infty \rightarrow$ REGIME \rightarrow CASO STAZIONARIO VISTO PRIMA

PER TEMPI
INTEREDI

$$V'(x,t)$$

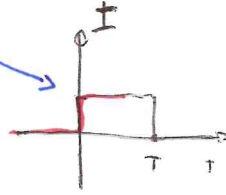
CRESCEVA CON COSTANTE DI TEMPO τ FINO A RAGGIUNGERE IL VALORE STAZIONARIO

LIBRO \rightarrow PAG 62 \rightarrow TAPPE 3.2 \rightarrow COSTANTI DELLA COCKE EQUATION

FRONTE IN
SALITA

V'

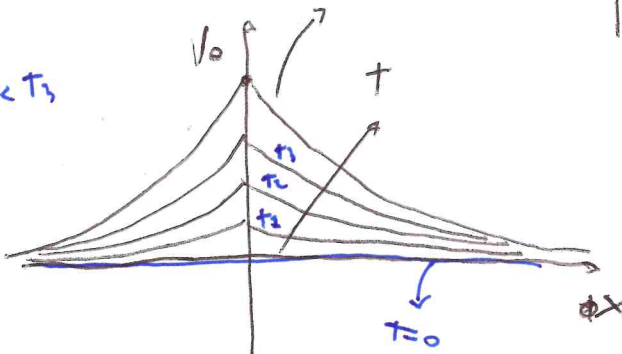
STATIONARIS



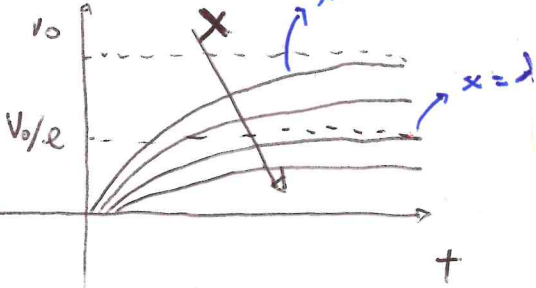
V'

P

$t_3 < t_2 < t_1$

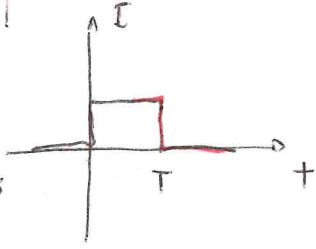


V'

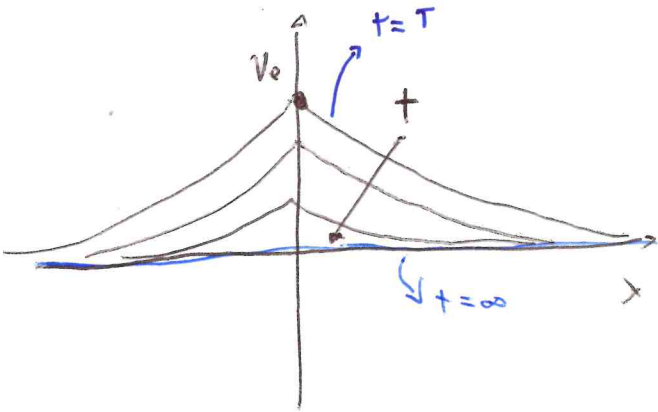


FRONTE IN
DISCESA

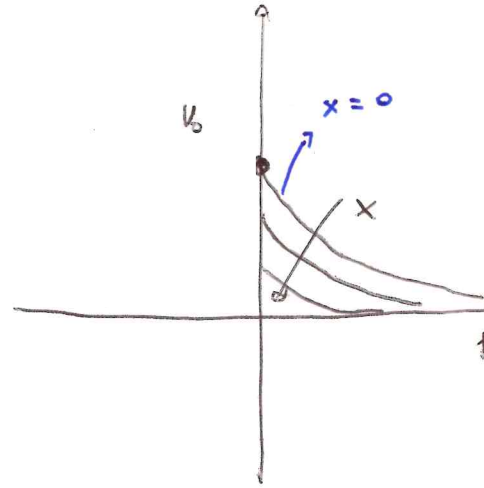
PARTE DO VALOR
DI REGIA E TENDE A 0



V'



V'



DESCRIZIONE QUANTITATIVA POTENZIALE D'AZIONE

CELLULA ECCITABILE STIMOLATA → CAMBIA IL POTENZIALE DI MEMBRANA

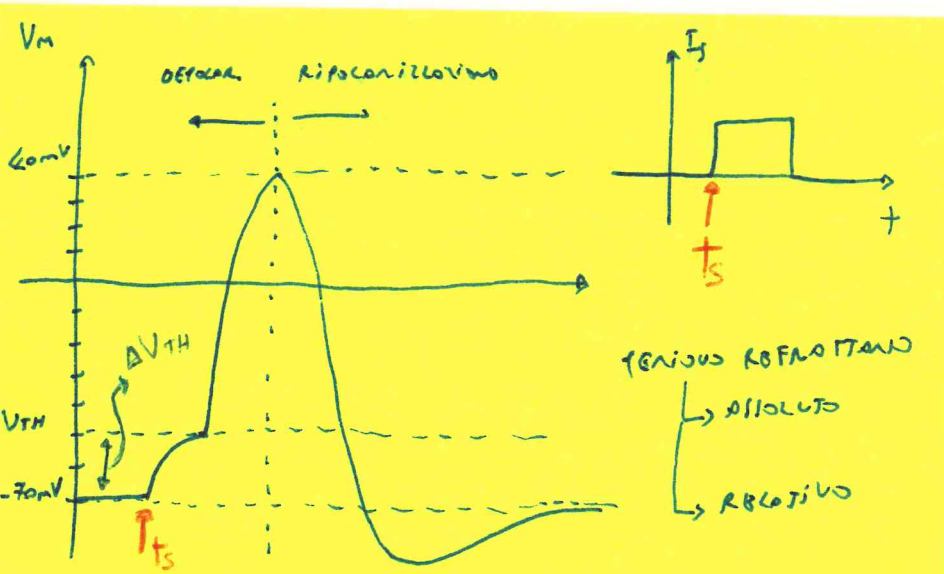
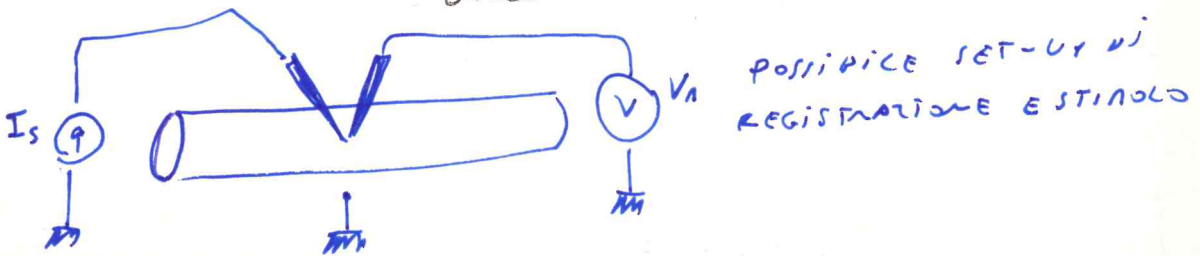
- ECCITATORIO $V_m \uparrow$
- DEPOLARIZZAZIONE
- INIBITORIO $V_m \downarrow$
- IPERPOLARIZZAZIONE

STIMOLO ECCITATORIO → $V_m \uparrow$

- SOGGIA → IMPULSO ELETTROSCARICO
POTENZIALE DI AZIONE
MEMBRANA IN STATO ATTIVO
- SOTTO SOGLIA → RISPOSTA PASSIVA
PROPAGAZIONE ELETTROTONICA

POTENZIALE DI AZIONE (PoA) → STESSA FORMA INDIPENDENTEMENTE DALLO STIMOLO

"TUTTO O NIENTE", C'E' SOLO SE SI RILASCIAMO LA SOGLIA



POA SI GENERA IN QUANTO LA MEMBRANA VUOLLA LA PROPRIA CARICA PERMEABILITA' (CONDUTTANZA) A Na^+ E K^+ . IN FASE INIZIALE AUMENTA PERM. A Na^+ CHE ENTRA E FISSA IL POT. DI MEMBRANA

POA

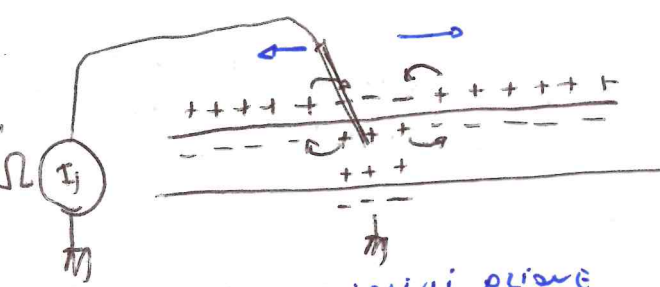
- Fase di CASCITA → AUMENTA CONDUTTANZA N_{a^+}
- picco massimo e USCABILITA → DIMINUISCE PERMEABILITA' A N_{a^+} SUCCESSIVAMENTE AUMENTA LA PERMEABILITA' A K^+ ; K^+ ESCE E RISTABILISCE LA SITUAZIONE INIZIALE

PERIODO REFRACTORIO

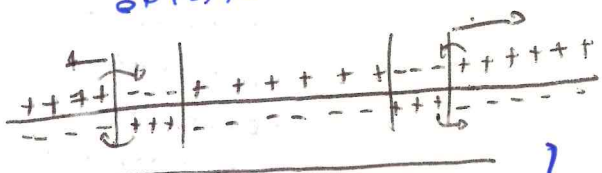
- ASSOLUTO → NON SI POSSONO GENERARE POA (CANALI N_{a^+} "CHiusi")
- RELATIVO → SI GENERANO POA CON STIMOLI MOLTO GRANDI

le POA si PROPAGANO SU TUTTO l'ASSONNE (O FIBRA MUSCOLARE)

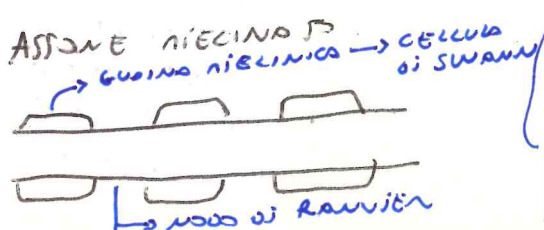
- FISIOLOGICO → DA SOLA → AZIONE REGIMIS TRAN-SINAPTICO
- ARTIFICIALE → LUNGO l'ASSONNE MOLTE OUE DIVERZIONI



DUE POTENZIALI DI RUINER SI PROPAGANO IN DIRREZIONI OPPOSITE



PERCHE' NON TORNA INIETAS!



LA ZONA ATTIVA TENDE A OBPRONILARE LE ZONE SOTTO SOGLIO ADIACENTI (PROP. ECETTATORIA).

LE ZONE ADIACENTI RAGGIUNGO il SOGLIO → SI CREA UN POA CHE A SUA VOLTA OBPRONILIA LE ZONE ADIACENTI...

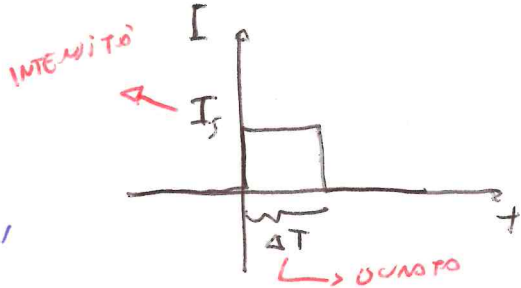
UNA SORTA di EFFETTO "BOINCO"

→ CONDIZIONE "SALTO TORIA" + VELOCITA'

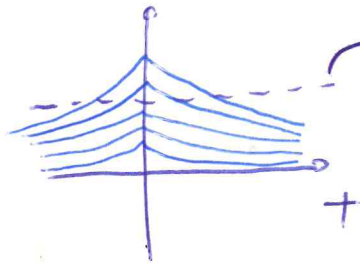
il POTENZIALE di AZIONE E PIU' GENERATI SOLO NELLE NODS di RANVIER. TRA UN NODO E l'OLTRO, SOTTO la GUAINA NIECINICA, LA CONDIZIONE E' ECETTATORIA

CURVE INTENSITA'/DURATA

Vogliamo portare una cellula eccitabile sopra la soglia per generare un potenziale di azione. Considerando uno stimulus in corrente di quali fattori dobbiamo tenere conto?



CONSIDERANDO IL SOTTOSOGUA



I FATTORI DI INFLUENZA SONO INTENSITA' (I_0) E DURATA (ΔT) DELL'IMPULSO

PARLEREMO DI CURVE INTENSITA'/DURATA PERCHÉ QUESTI DUE FATTORI INFLUENZANO L'ATTIVAZIONE DELLA CELLULA (NEURONI O FIBRE MUSCOLARI)

OGGETTIVO $\rightarrow I_0, \Delta T$ CHE PORTINO IL POTENZIALE DI MEMBRANA ALLA SOGLIA DI STIMOLAZIONE $\rightarrow (I_0, \Delta T) \rightarrow V' = \Delta V_{TH}$

SI GENERA IL POTENZIALE DI AZIONE

NOTA: $V' \geq \Delta V_{TH}$ \rightarrow VARIANO LE CONDOTTANZE A Na^+ E K^+ \Rightarrow CIRCUITO (MODELLO)

VISTO CHE SOTTO SOGLIA NON VALGONO PIÙ (IN PARTICOLARE $R_A \neq COST$) VALIDO CON T E V'

\rightarrow MODELLO H-H

PER DIMOSTRARE IL CONCETTO →

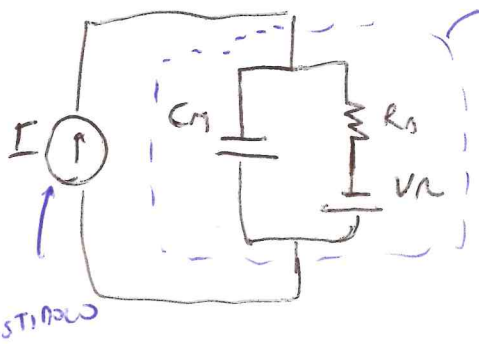
MODELLO SEMPLIFICATO

CONSIDERIAMO AL SOLITO
UNO STIMOLO IN CORRENTE

↳ APPLICABILE → CELLULA
SFONICA

COME CA CAPLO MA
NON DIPENDENTE DA X

(COME SE FOSSE IN X=0
DOVE LO STIMOLO E' APPLICATO)



MODELLO
SEMPLIFICATO

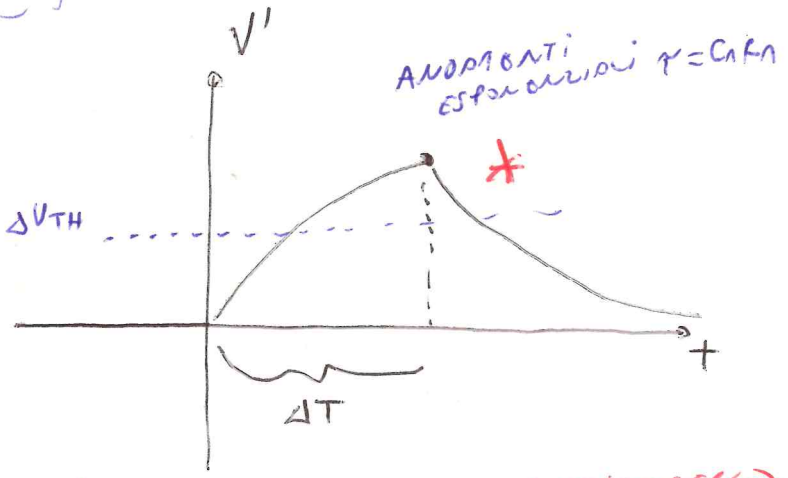
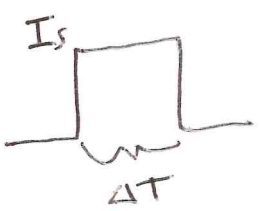
C_n

UNITÀ DI AREA

R_n

R x UNITÀ DI AREA

STIMOLO



* FISSATO ΔV_{TH} V' PUO' ~~RAAGGIUNGERE~~ RAGGIUNGERE
OPENO IN FUNZIONE DI ΔT E I_s (DURATA
INTENSITA')

$$V' = R_n I_s (1 - e^{-t/\tau})$$

↳ V_{FIN} ($V_{IN} = 0$)



MODELLO SEMPLICE
MA DESCRIVE IN MOD
APPROSSIMATIVO FOSSE
QUELLO CHE SUCCESSO
(ESEMPLO → CAPLO X=0)

PER RISOLVERE ($I_s, \Delta T$)

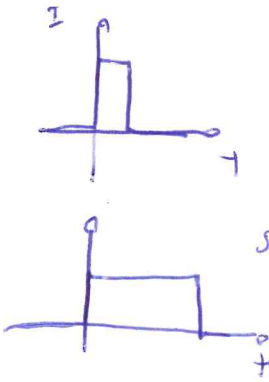
$$V' = \Delta V_{TH} \Rightarrow$$

$$I_s = \frac{\Delta V_{TH}}{R_n \left(1 - e^{-\frac{\Delta T}{\tau}}\right)}$$

CURVA
INTENSITA'
DURATA

N.B. → CON LA COPPIA $I_s, \Delta T$ RAGGIUNGO LA
SERIE DI STIMOLAZIONI

NOTA $I_S \uparrow$
 $\Delta T \downarrow$



ROGGIUNGO
 SOGLIA \rightarrow IMPULSI
 - ALTI E STRETTI
 - BASSI E LARGHI

CORRENTE DI RISPONDE $\rightarrow I_{RH} \rightarrow$

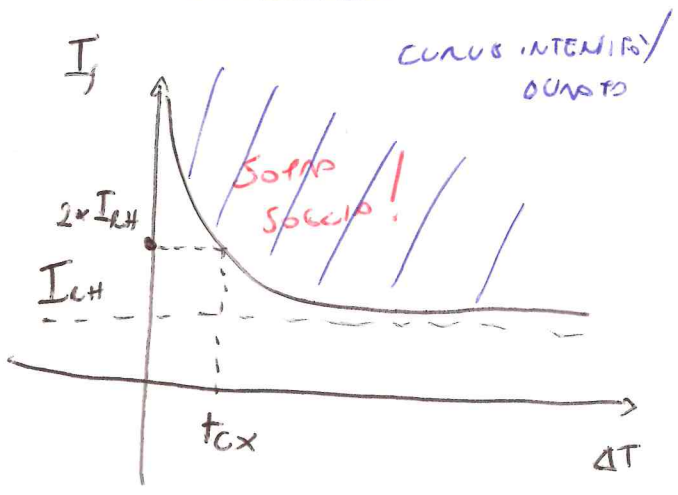
PIU' PICCOLA CORRENTE CHE CONSENTE IL RAGGIUNTO DELLA SOGLIA

SI HA PER $\Delta T \approx \infty$

$$\Rightarrow I_{RH} = \frac{\Delta V_{TH}}{R_A}$$

$$I_S = \frac{I_{RH}}{(1 - e^{-\Delta T/\tau})}$$

LE CURVE INTENSITA'/QUANTO DEFINISCONO COPPIE $I_S, \Delta T$ CHE PONTANO LA FIRMA PRECISAMENTE DELLO SGUOP DI ATTIVAZIONE



$t_{CX} \rightarrow$ TEMPO DI CRONAXI $\rightarrow \Delta T$ SULLA CURVA IN CORRISPONDENZA DI $I_S = 2 I_{RH}$

$$2 I_{RH} = \frac{I_{RH}}{1 - e^{-\Delta T/\tau}} \quad \frac{1}{2} = 1 - e^{-\Delta T/\tau}$$

$$e^{-\Delta T/\tau} = \frac{1}{2}$$

(INTERVALLO NECESSARIO QUANDO LA CORRENTE E' IL DOPIPIO DI QUELLO DI RISPONDO)

$$\Rightarrow t_{CX} = \tau \ln(2)$$

$I_{RH}, t_{CX} \rightarrow$ RICORRIBILI SPONTANEAMENTE

~~NON~~ DEFINITI (TAVOLATI) PER SPECIFICI TEMPI ECCITABILI