

Dipartimento  
di Fisica  
e Astronomia  
Galileo Galilei

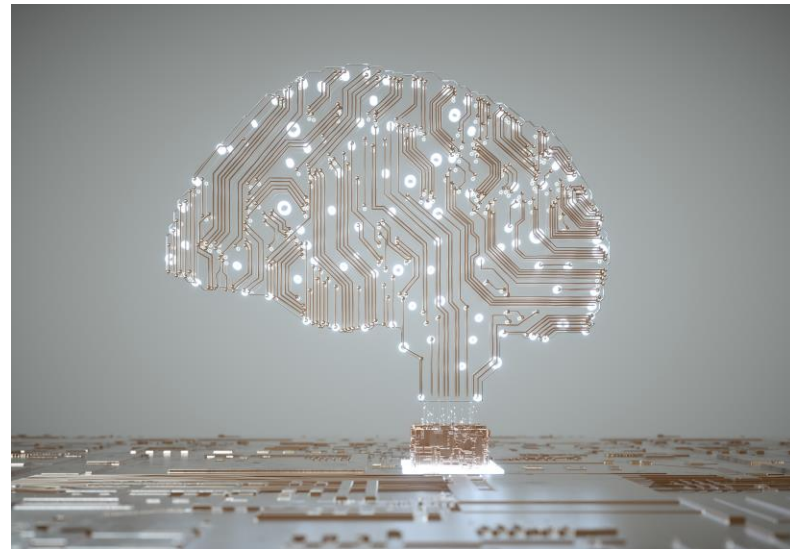
RELATORE: Prof. S.Suweis  
CORRELATORE: Dr E.Guevara  
LAUREANDO: G.Fiaschi

- Dalla dinamica del singolo neurone alla popolazione di neuroni

**OBIETTIVI:**  
Descrizione  
matematica  
dell'attività di  
popolazione di  
neuroni  
partendo da una  
caratterizzazione  
della dinamica  
del singolo  
neurone



## ■ INTRODUZIONE



# NEURONE: struttura biologica

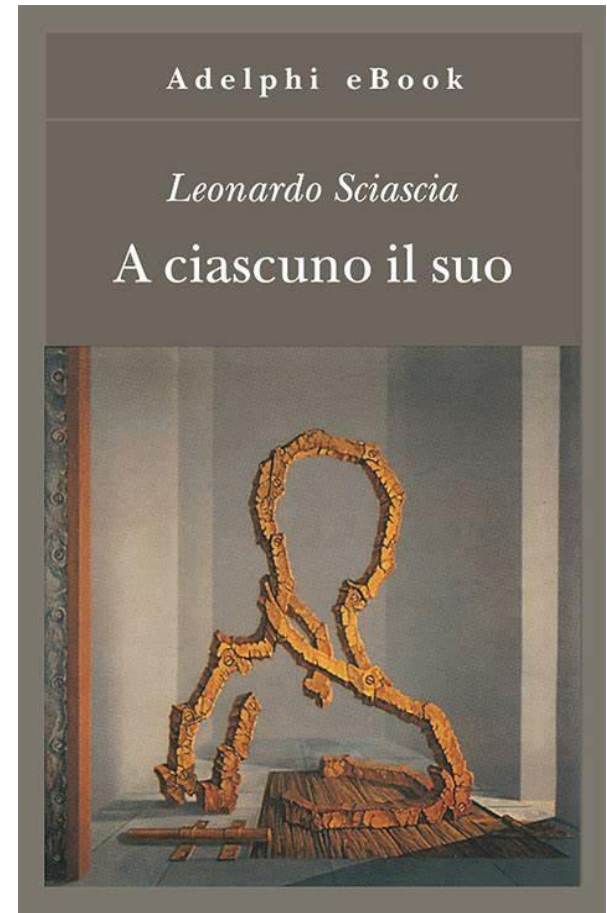
Infrastruttura neurale

**Soma,  
dendrite,  
assone  
e terminazioni  
presinaptiche**

Principio Polarizzazione  
della Dinamica



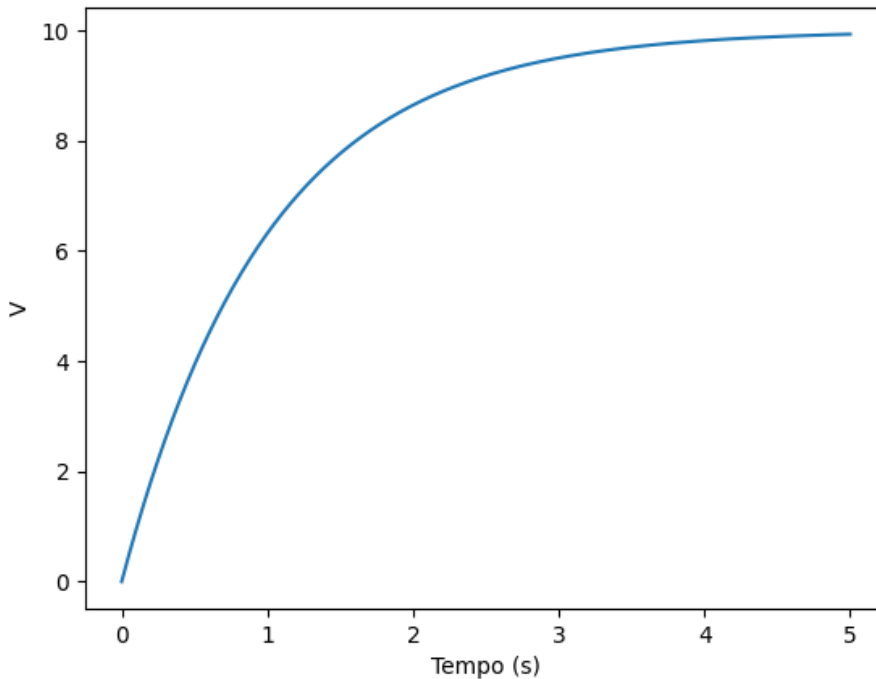
Ioni  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+}$   
in moto



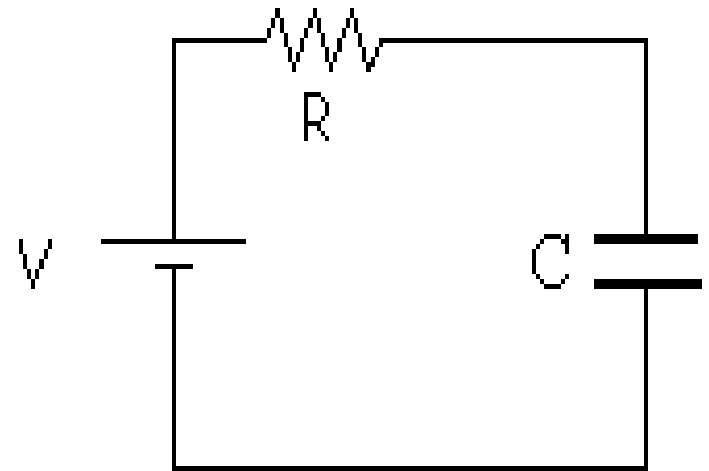
Ciascuno ione si  
immette nella cellula  
nervosa mediante un  
proprio canale (Ion  
channel)

# Neurone: come un circuito RC

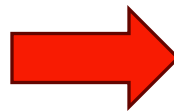
Simulazione di un circuito RC



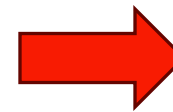
$$C \frac{dV}{dt} = I - g_{inp}(V - V_{inp})$$



Diverse concentrazioni  
di carica intra ed  
extracellulare:  
condensatore

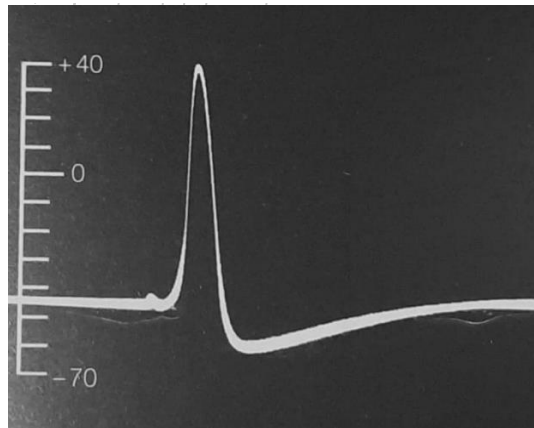
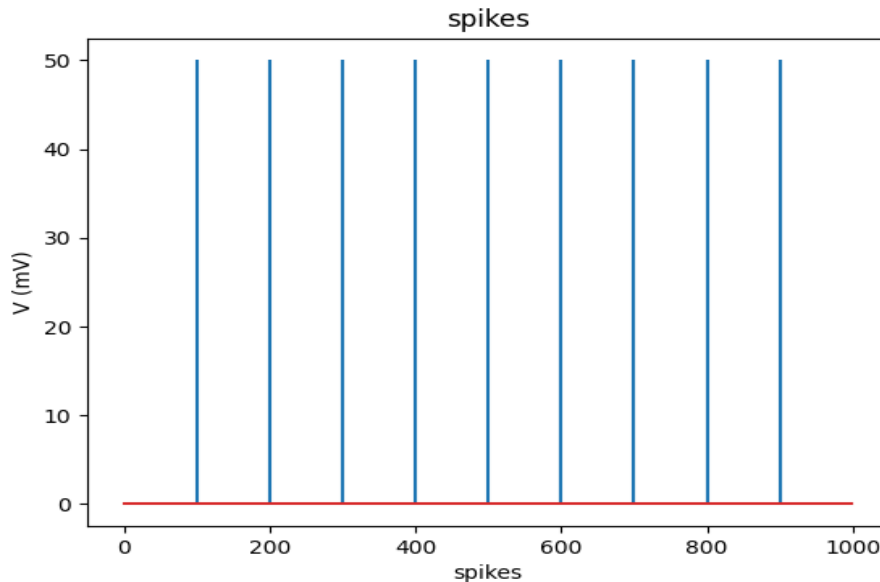


Canali ionici con  
resistenza intrinseca  
Pompa sodio-potassio  
ATP



**CIRCUITO RC**

# INTEGRATE E FIRE MODEL



Sequenza di spikes in un tempo di osservazione

Singolo spike: oscillazione potenziale dallo stato di riposo -70mV

Depolarizzazione neurone



Superamento potenziale di soglia



Emissione Spikes

# HODGKIN E HUXLEY: recupero modello RC

Persistence  
conductance

1 gate + 4  
subgates

Probabilità di  
apertura  
subgates:  $n$

Transition  
rate  $\alpha$ :  
close to open

Transition  
rate  $\beta$ :  
opposto

Transcience  
conductance

3 subgates +  
nuovo gate

Probabilità di  
apertura dei  
subgates:  $m$

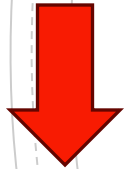
Probabilità di  
non chiusura  
nuovo gate:  $h$

# RISULTATI DEL MODELLO

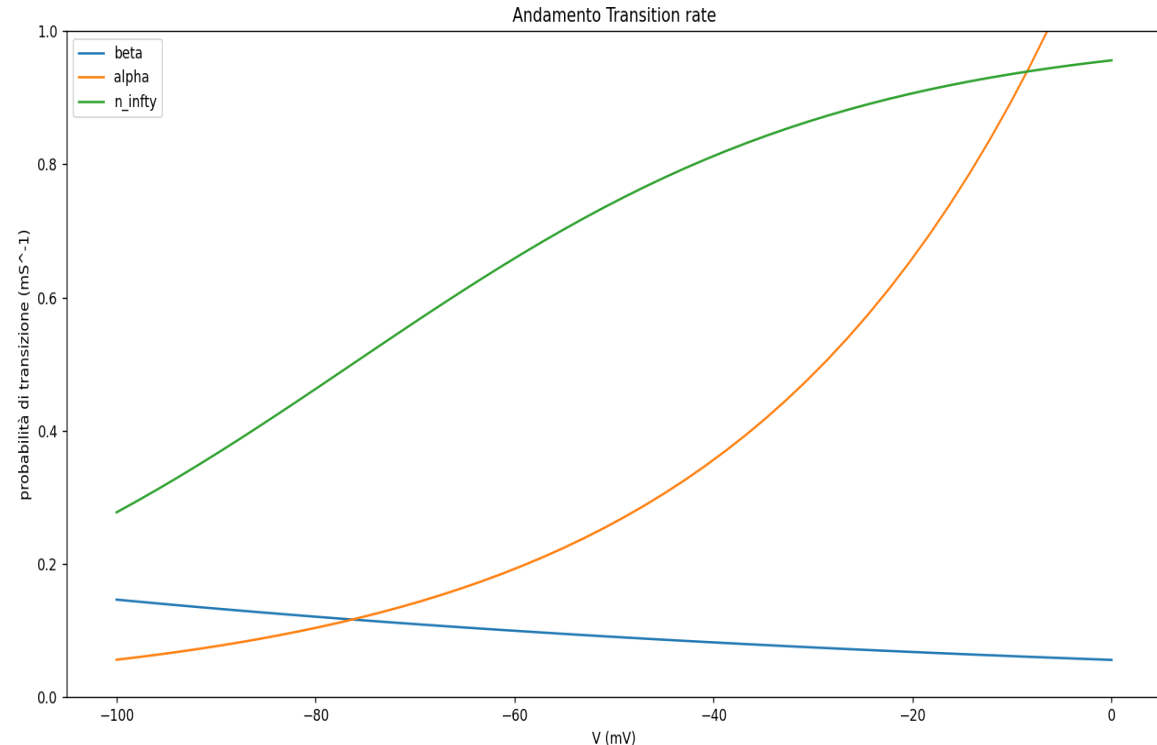
L'insieme delle 4 equazioni fornisce il modello H.H



Descrizione della dinamica nei canali a livello probabilistico



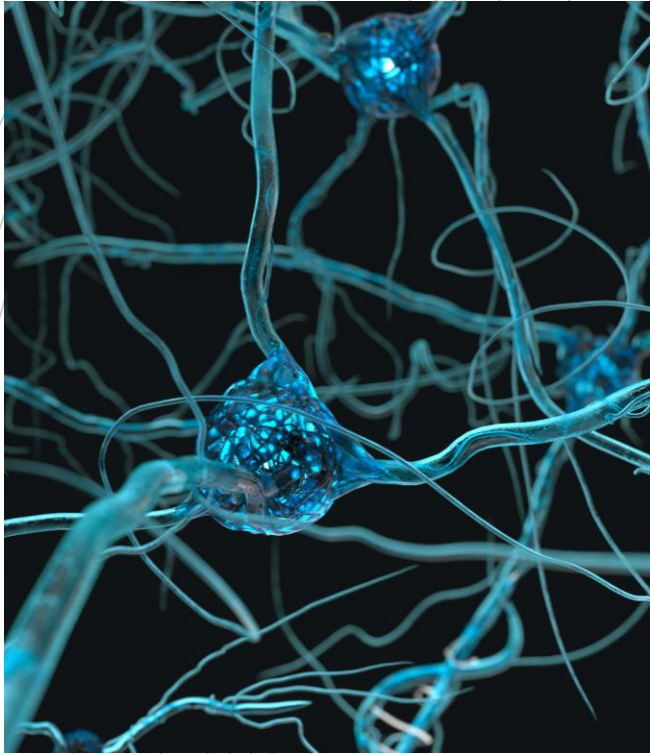
Moto degli ioni solo quando le porte sono aperte



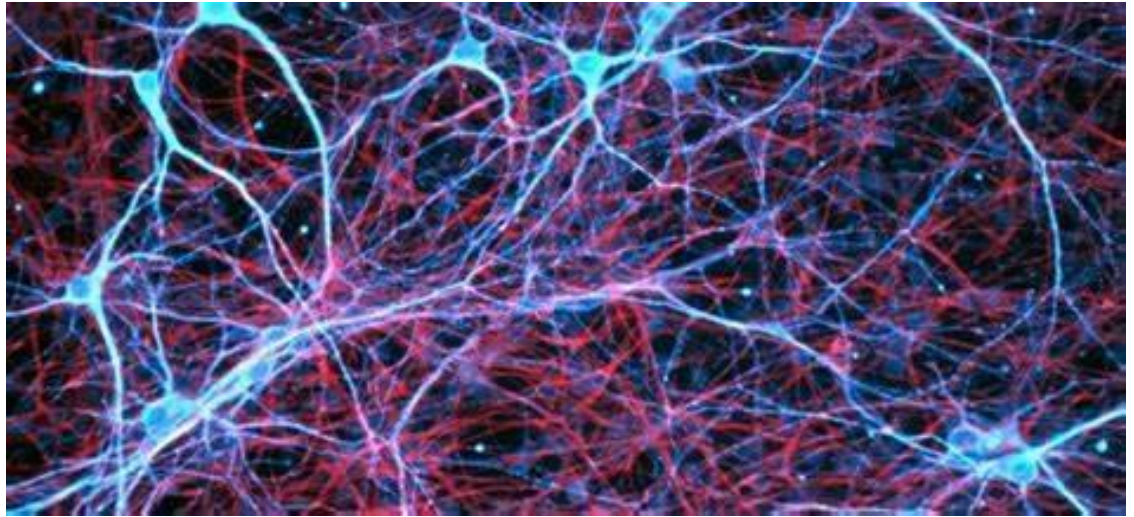
$$\begin{cases} C_m \frac{dV}{dt} = -g_k n^4 (V - V_k) - g_{Na} m^3 h (V - V_{Na}) - g_L (V - V_L) + I_e \\ \frac{dn}{dt} = \alpha_n(V_m)(1 - n) - \beta_n(V_m)n \\ \frac{dm}{dt} = \alpha_m(V_m)(1 - m) - \beta_m(V_m)m \\ \frac{dh}{dt} = \alpha_h(V_m)(1 - h) - \beta_h(V_m)h \end{cases}$$



Dal singolo neurone ...



Ad una popolazione



4 equazioni  
differenziali



Migliaia di  
neuroni in  
un circuito

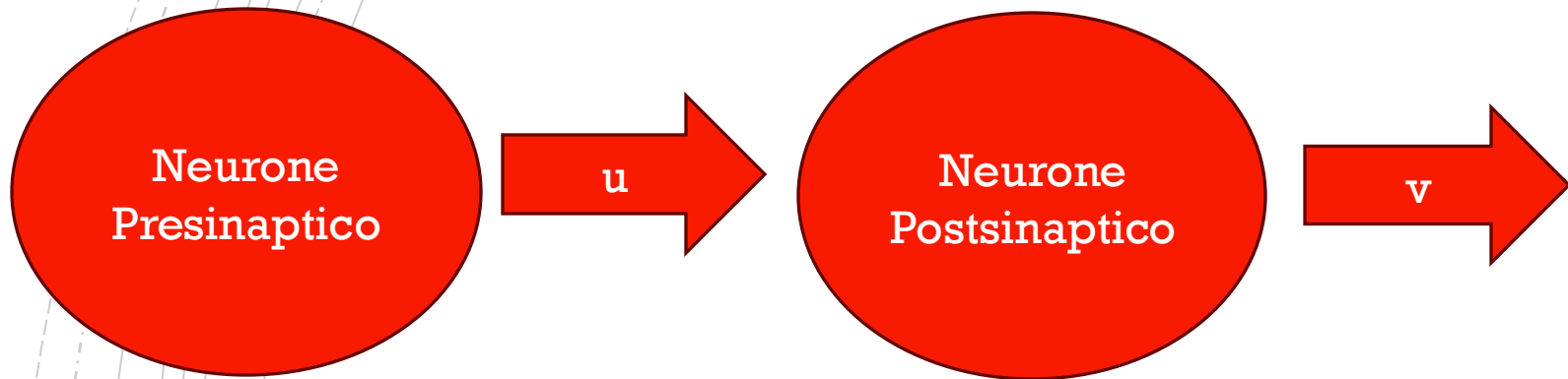


Necessità  
modelli a  
campo  
medio



# FIRING RATE MODEL

- Recupero modello Integrate e Fire
- Comparsa di vettori Firing rate  $\mathbf{u}$ ,  $\mathbf{v}$



$$\tau_s \frac{dI}{dt} = -I_s + \sum_{b=1}^N w_b u_b$$
$$\tau_r \frac{dv}{dt} = -v + f(I_s)$$

# WILSON – COWAN MODEL

## FEEDFOWARD NETWORK

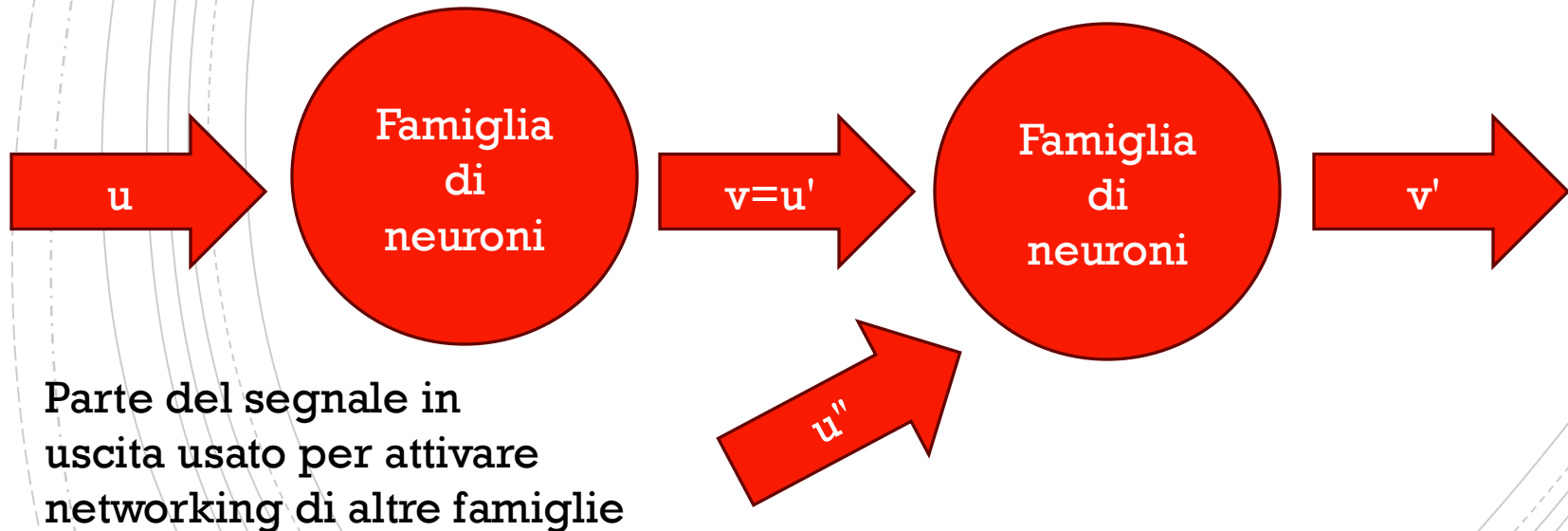
Generalizzazione del processo a firing rate a famiglie di neuroni



## RECURRENT NETWORK

$$x = \frac{n_x}{V}$$
$$y = \frac{n_y}{V}$$

Concentrazioni di neuroni eccitatori e inibitori



# Future Perspective

- Studiare l'effetto della stocasticità nella dinamica
- Usare una connettività anatomica per collegare i diversi neuroni
- Confronto con dati di attività neurale



# CURIOSITA'

Supplementary Movie S1a  
viewing session

accompanying  
demonstration for Fig. 1

## Firing of a single entorhinal cortex neuron while watching short video episodes

(Original audiovisual movie clips are replaced  
by a textual description of the clip content)

Beeps represent single spikes

H. Gelbard-Sagiv, R. Mukamel, M. Harel, R. Malach, I. Fried, *Science* (2008)