

Intelligenza Artificiale per Sistemi Industriali

Lezione 03 — 3 Marzo 2026

Alice Plebe

www.aliceplebe.com

alice.plebe@unitn.it



- 1 Go to wooclap.com
- 2 Enter the event code in the top banner

Event code
DYDEFY

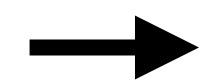
- Diversi filosofie, diversi paradigmi di AI
- Gli "inverni" passati e la nuova "estate"
- Reti neurali: ispirazione neuroscientifica
- Cosa si prende dal cervello e cosa no
- Limiti dell'analogia biologica

Correnti e Paradigmi di AI

Dopo Dartmouth, la domanda: *come si costruisce la conoscenza?*

Risposte molto diverse:

CORRENTI FILOSOFICHE



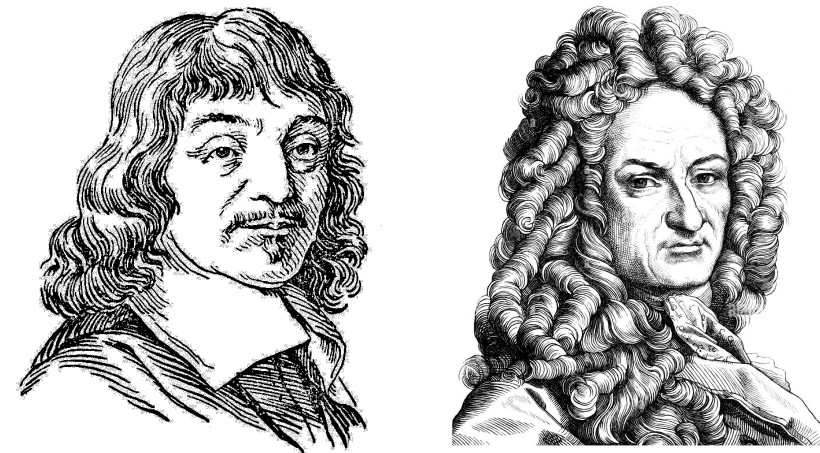
PARADIGMI DI AI

- Razionalismo
- Empirismo

- AI Simbolica
- Connessionismo e reti neurali
- AI probabilistica e Bayesiana
- Evoluzione, selezione, auto-organizzazione
- Apprendimento per rinforzo

*Come funziona la
conoscenza umana?*

RAZIONALISMO



Descartes & Leibniz

EMPIRISMO



Locke & Hume

La conoscenza nasce

dalla ragione

dall'esperienza

La mente

ha strutture innate

è una tabula rasa

Comprendiamo il mondo

tramite regole e logica

osservandolo

7

-
- ```

graph TD
 CarnivorousPlant(Carnivorous plant) -- eats --> Animal(Animal)
 Grass(Grass) -- is-a --> Plant(Plant)
 Tree(Tree) -- is-a --> Plant
 Carnivore(Carnivore) -- is-a --> Animal
 Carnivore -- eats --> Animal
 Carnivore -- eats --> CarnivorousPlant
 Lion(Lion) -- is-a --> Carnivore
 Impala(Impala) -- is-a --> Carnivore
 Lion -- eats --> Impala
 Herbivore(Herbivore) -- is-a --> Animal
 Herbivore -- eats --> Plant
 PlantPart(PlantPart) -- is proper part of --> Plant
 Twig(Twig) -- is-a --> PlantPart
 Leaf(Leaf) -- is-a --> PlantPart
 Twig -- disjointness -- Leaf

```

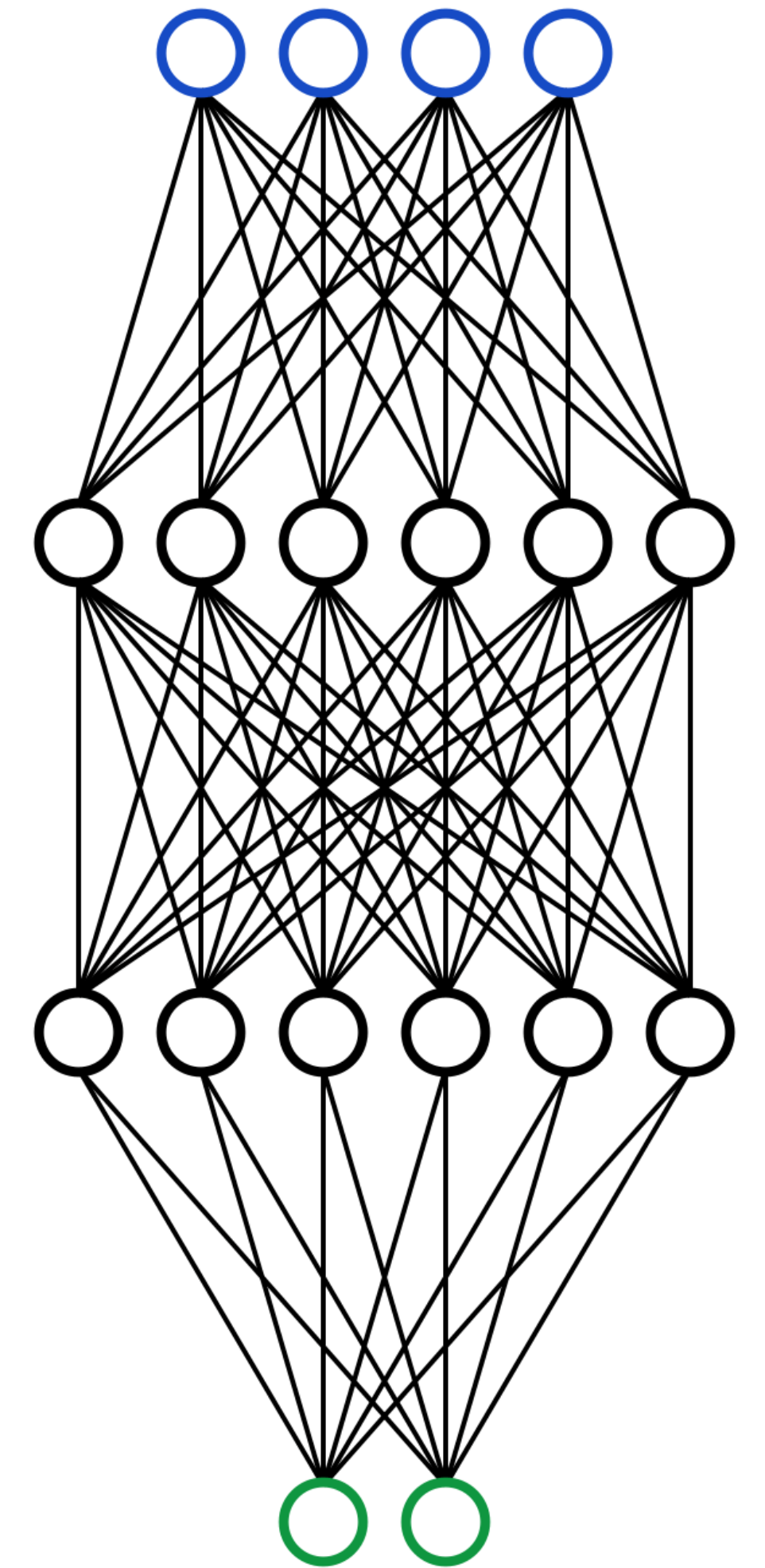
- **PRO:** spiegabilità totale, bassi requisiti computazionali
- **CON:** fragile a rumore, poca scalabilità, acquisizione di conoscenza solo manuale
- Porta al primo "AI Winter"



# PARAGIDMA 2: CONNESSIONISMO (EMPIRISTA)

8

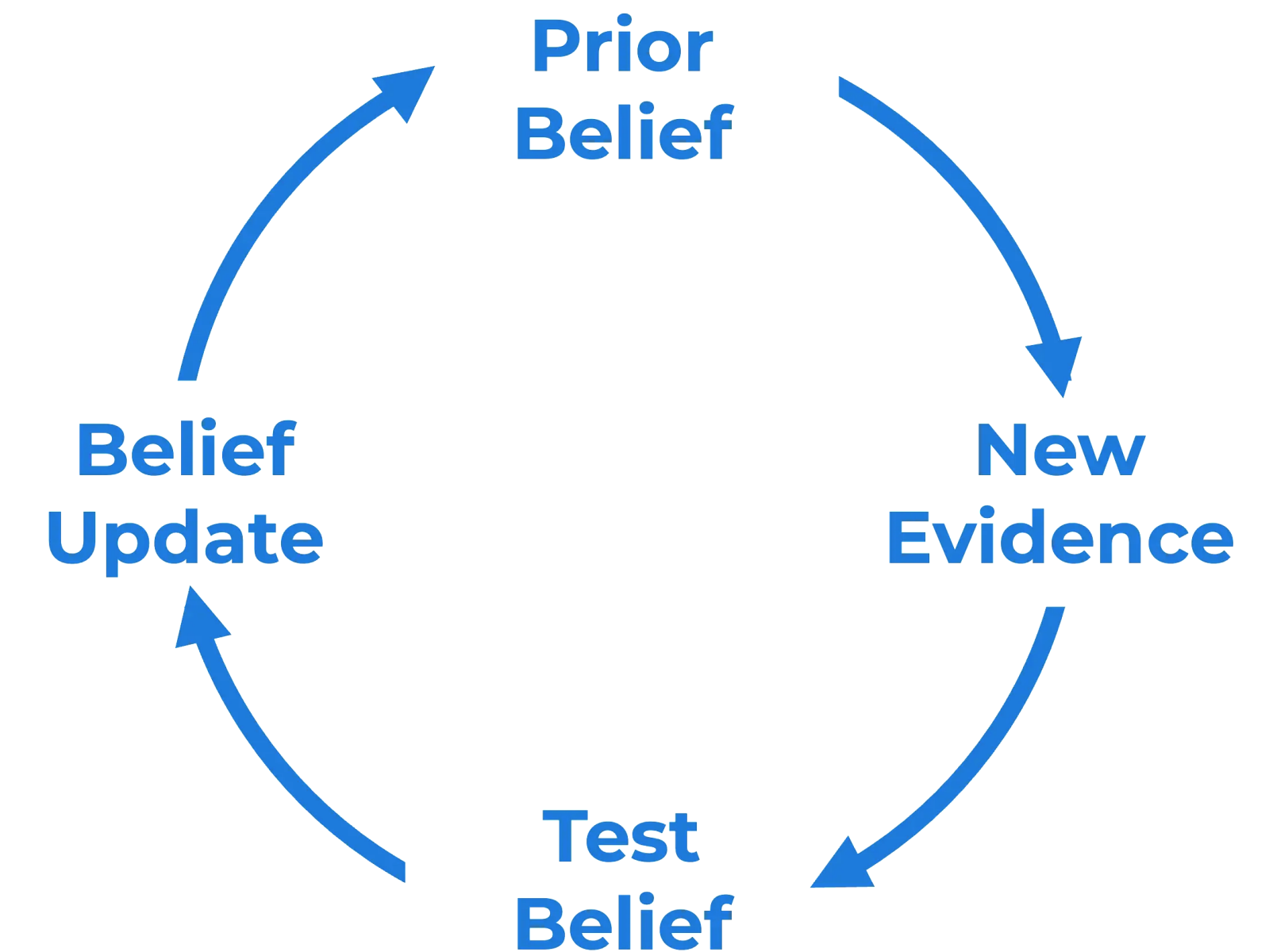
- Prima ondata anni '50–'60, rinascita dal 2000
- Ispirazione dal cervello
- Pattern di connessioni, no regole, ***apprendimento*** da esempi
- Perceptron, deep neural networks, large language models
- **PRO:** no descrizione del problema, scalabilità, robustezza
- **CON:** scarsa interpretabilità, molti dati, difficile da certificare



# PARAGIDMA 3: AI PROBABILISTICA E BAYESIANA

9

- Anni '80–2000
- No stati logici (vero/falso), ma probabilità
- Intelligenza = ragionamento sotto incertezza
- Ragionamento = aggiornamento delle credenze
- **PRO:** integra conoscenza a priori e nuovi dati, incertezza quantificata
- **CON:** modelli complessi da costruire, inferenza costosa





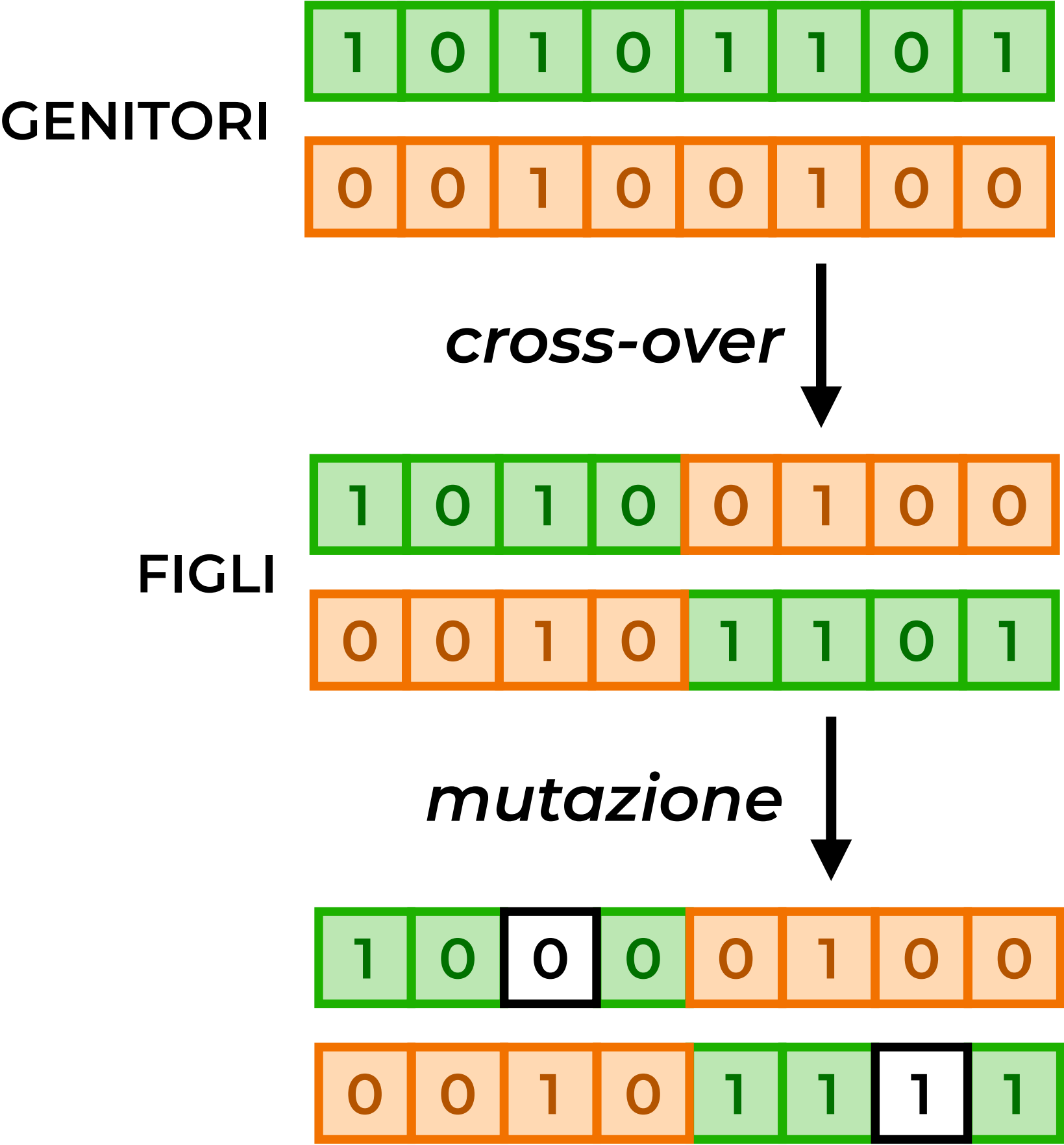
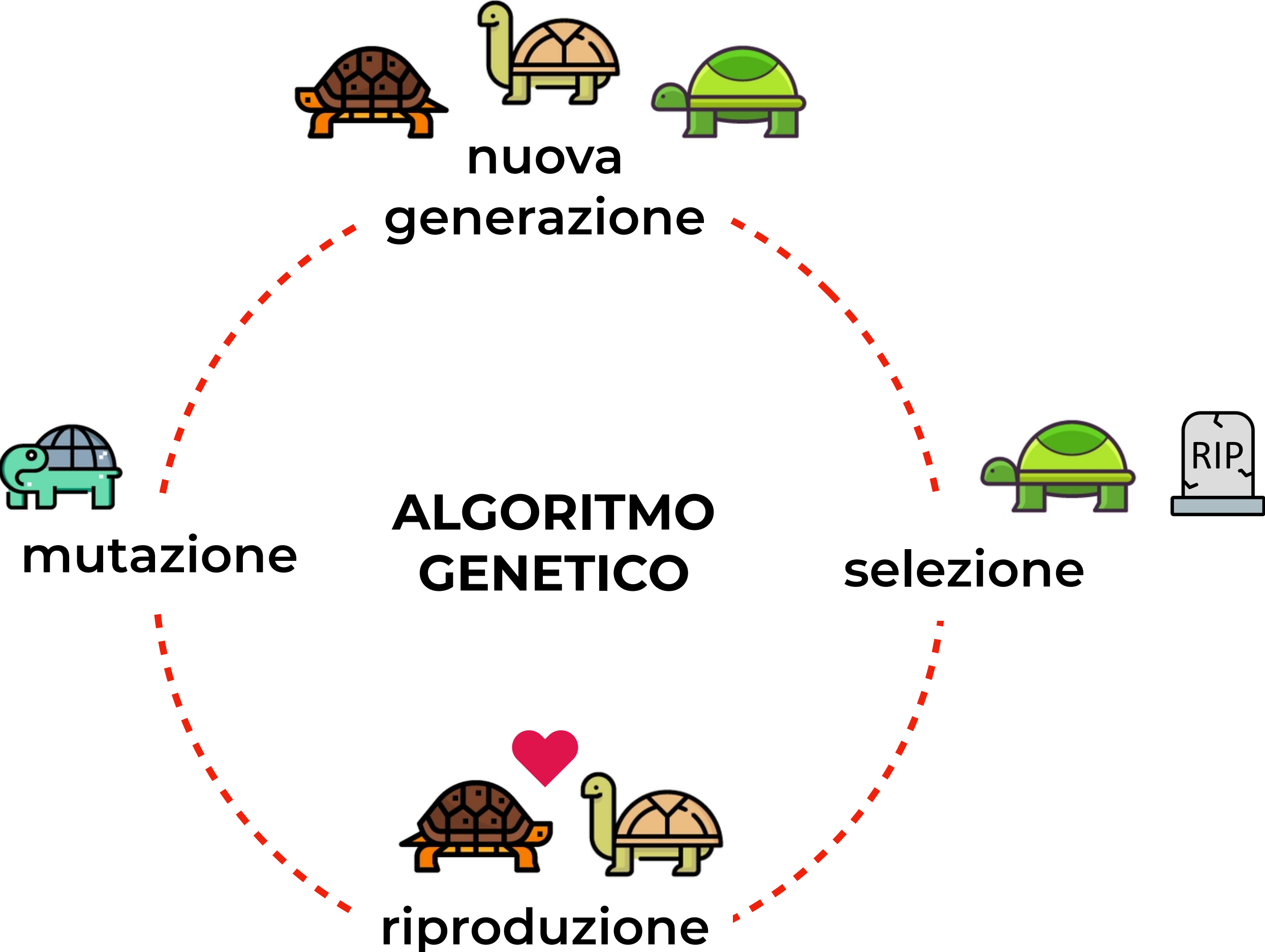
# PARAGIDMA 4: EVOLUZIONE, SELEZIONE E AUTO-ORGANIZZAZIONE

10

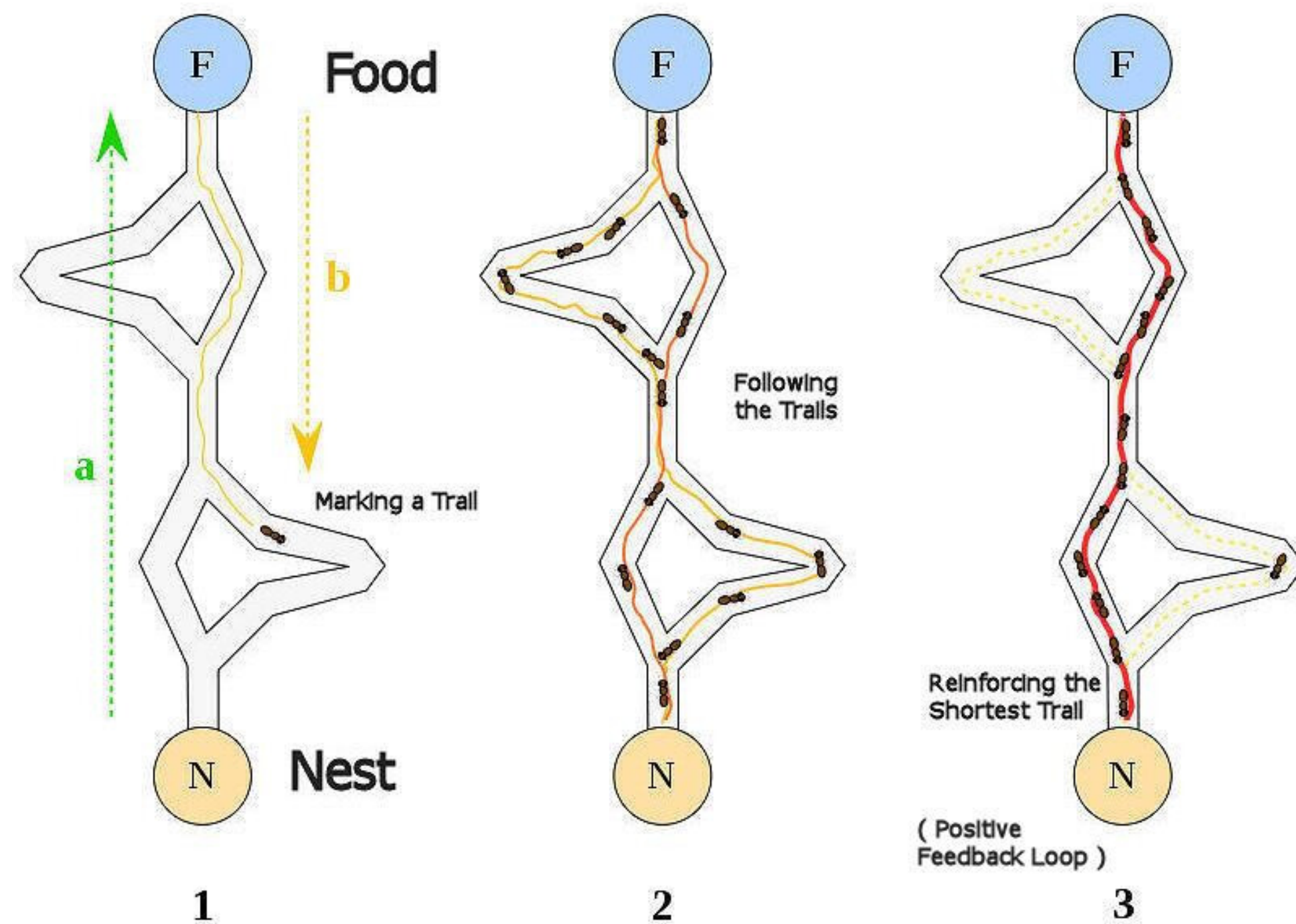
- Anni '60-'90, ispirazione Darwiniana (selezione, adattamento, emergenza)
- Metaeuristiche, ottimizzazione multi-obiettivo
- Algoritmi evolutivi, algoritmi genetici, programmazione genetica
- Swarm intelligence (ant colony optimization, particle swarm optimization)
- **PRO:** spazi di ricerca complessi
- **CON:** computazionalmente costosi, lenta convergenza, nessuna garanzia di ottimalità



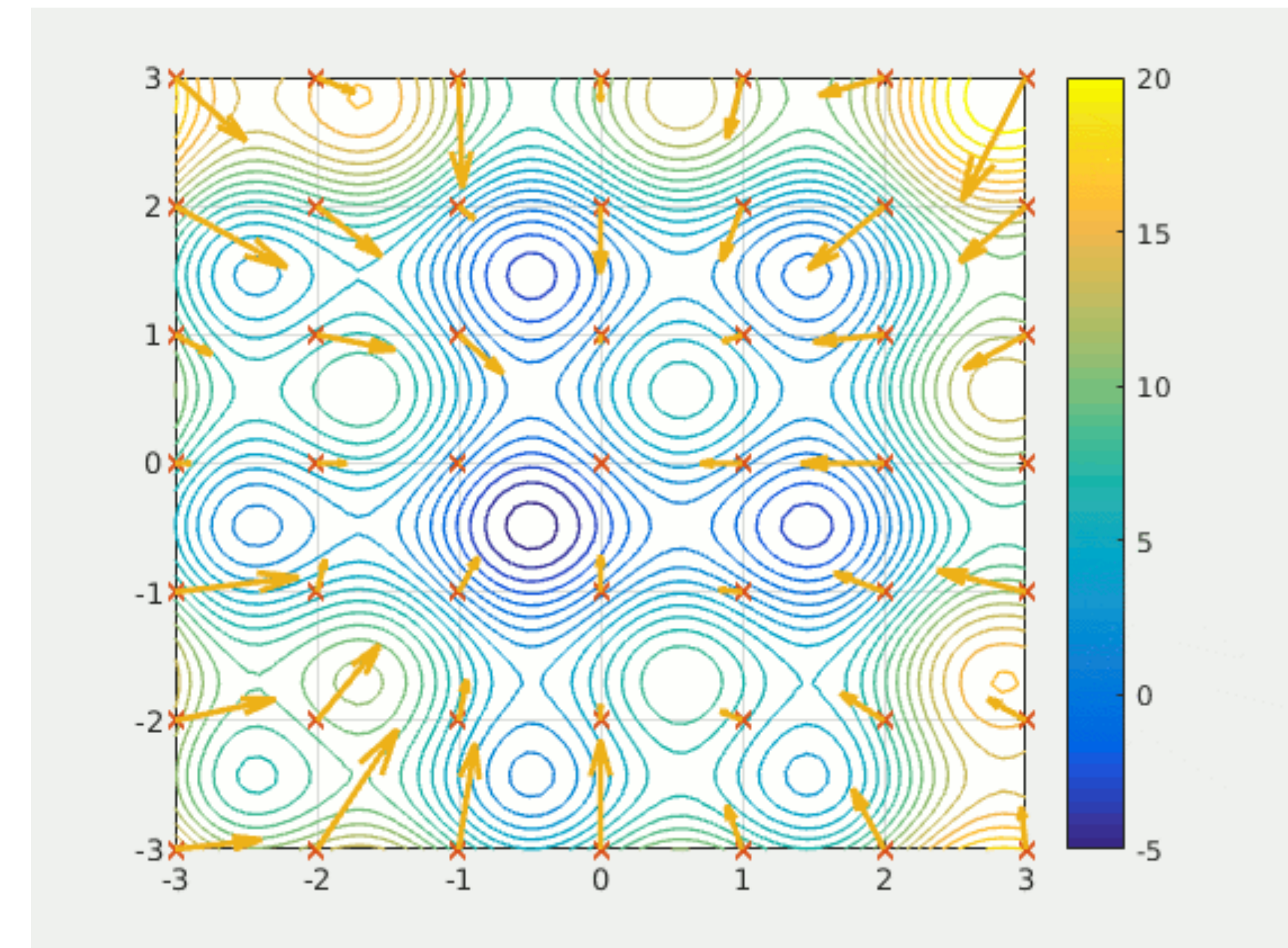




## ANT COLONY OPTIMIZATION



## PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

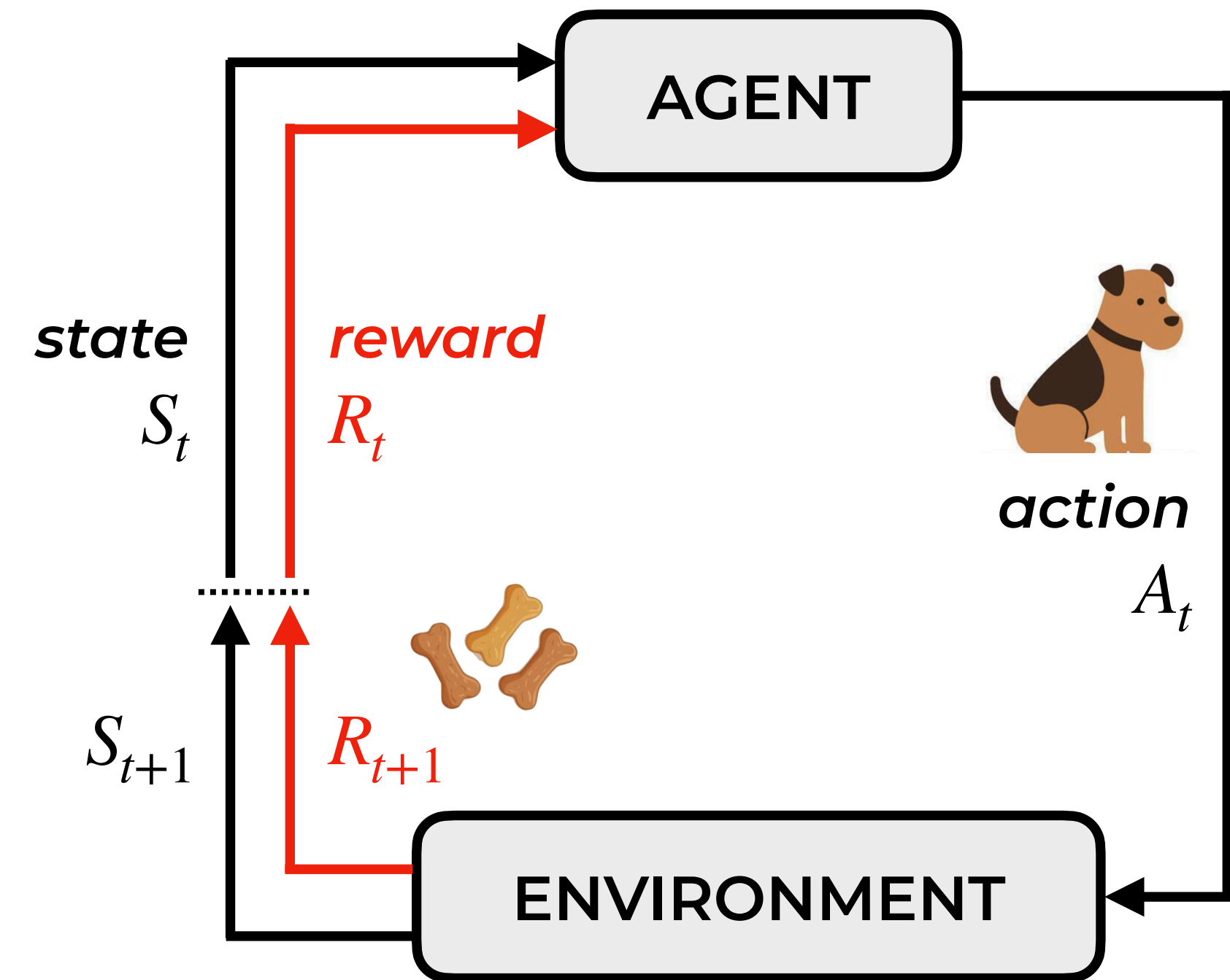




# PARADIGMA 5: REINFORCEMENT LEARNING

13

- Primi sviluppi anni '50–'80, rinascita dal 2010
- Ispirazione da psicologia comportamentale, neuroscienze, teoria del controllo
- RL  $\neq$  MDP o POMDP
- Q-learning, Actor–Critic, Deep RL
- **PRO:** apprendimento autonomo, adatto a sistemi dinamici complessi
- **CON:** apprendimento insabile, computazionalmente costoso



| PARADIGMA AI   | IDEA DI INTELLIGENZA | PRO / CON                                                     |
|----------------|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Simbolico      | Ragionamento         | <div>+ Spiegabilità</div> <div>- Fragilità</div>              |
| Neurale        | Apprendimento        | <div>+ Performance</div> <div>- Opacità</div>                 |
| Probabilistico | Incertezza           | <div>+ Incertezza quantificata</div> <div>- Scalabilità</div> |
| Evolutivo      | Adattamento          | <div>+ Ottimizzazione</div> <div>- Costo</div>                |
| Rinforzo       | Trial and error      | <div>+ Decisioni sequenziali</div> <div>- Stabilità</div>     |

- Alternanza tra periodi di forte entusiasmo e grande disillusione
- Promesse troppo ambiziose non soddisfatte
- Riduzione di fondi e interesse

## **SUMMER** 1956 – fine '60

- Entusiasmo enorme
- AI simbolica
- Prime reti neurali

## **WINTER** anni '70 – '80

- Limiti delle reti neurali (perceptron)
- Tagli a finanziamenti
- Reti neurali quasi abbandonate

## **SUMMER** anni '80

- Focus su domini ristretti
- Sistemi esperti basati su regole
- Knowledge engineering

## **WINTER** metà '80 – '90

- Gli expert systems non generalizzano
- Sono troppo costosi
- Diventano obsoleti presto

## **SUMMER** 2012 – oggi

- Deep learning
- Big data
- GPUs
- LLMs



- Alternanza tra periodi di forte entusiasmo e grande disillusione
- Promesse troppo ambiziose non soddisfatte
- Riduzione di fondi e interesse

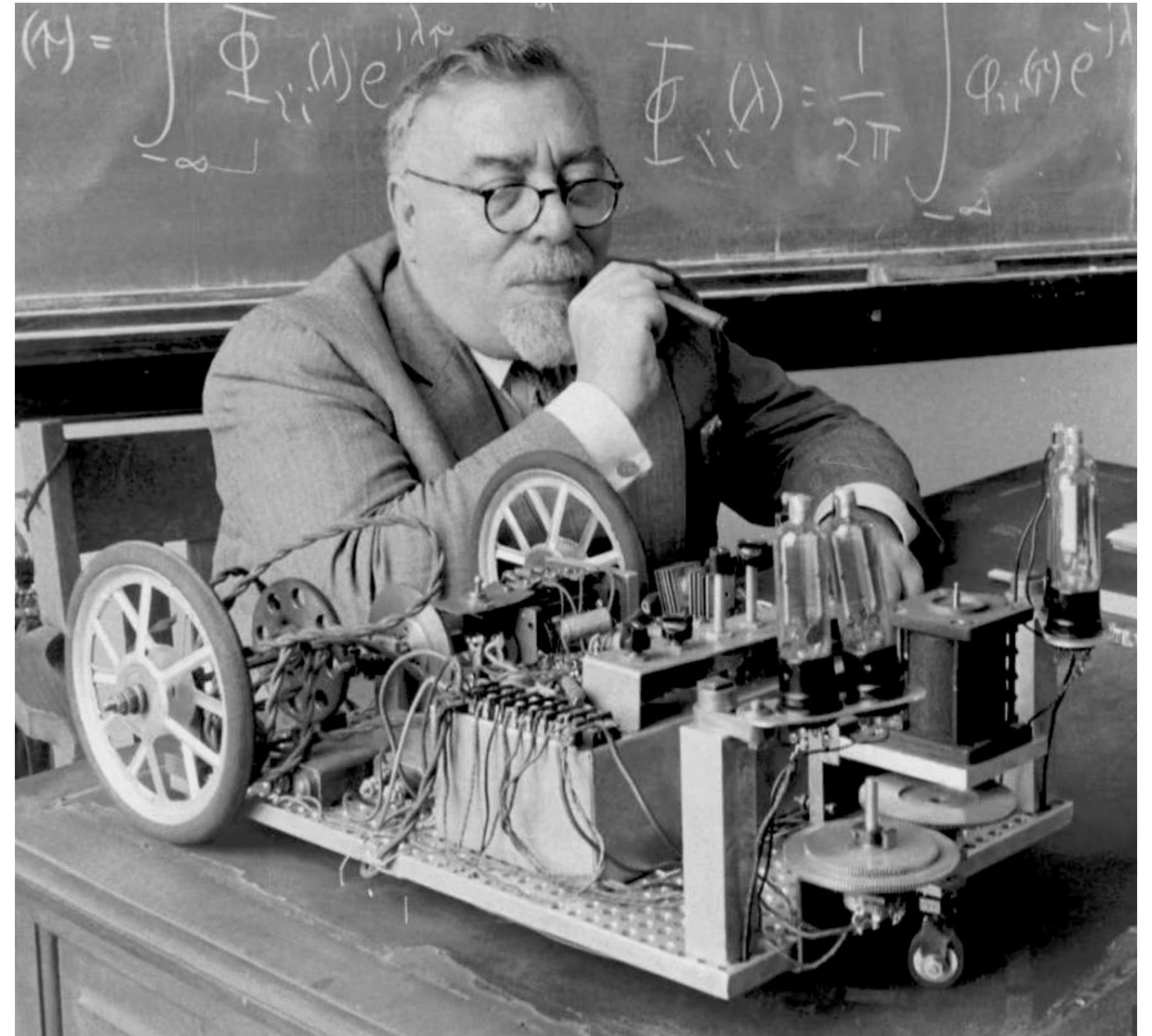


## SUMMER 2012 – oggi

- Deep learning
- Big data
- GPUs
- LLMs

## Norbert Wiener (1948)

- Controllo e comunicazione nelle macchine
- Feedback
- Allontanamento con AI simbolica
- Riavvicinamento con AI connettivista, AI bayesiana e RL



# Neuroni e reti biologiche

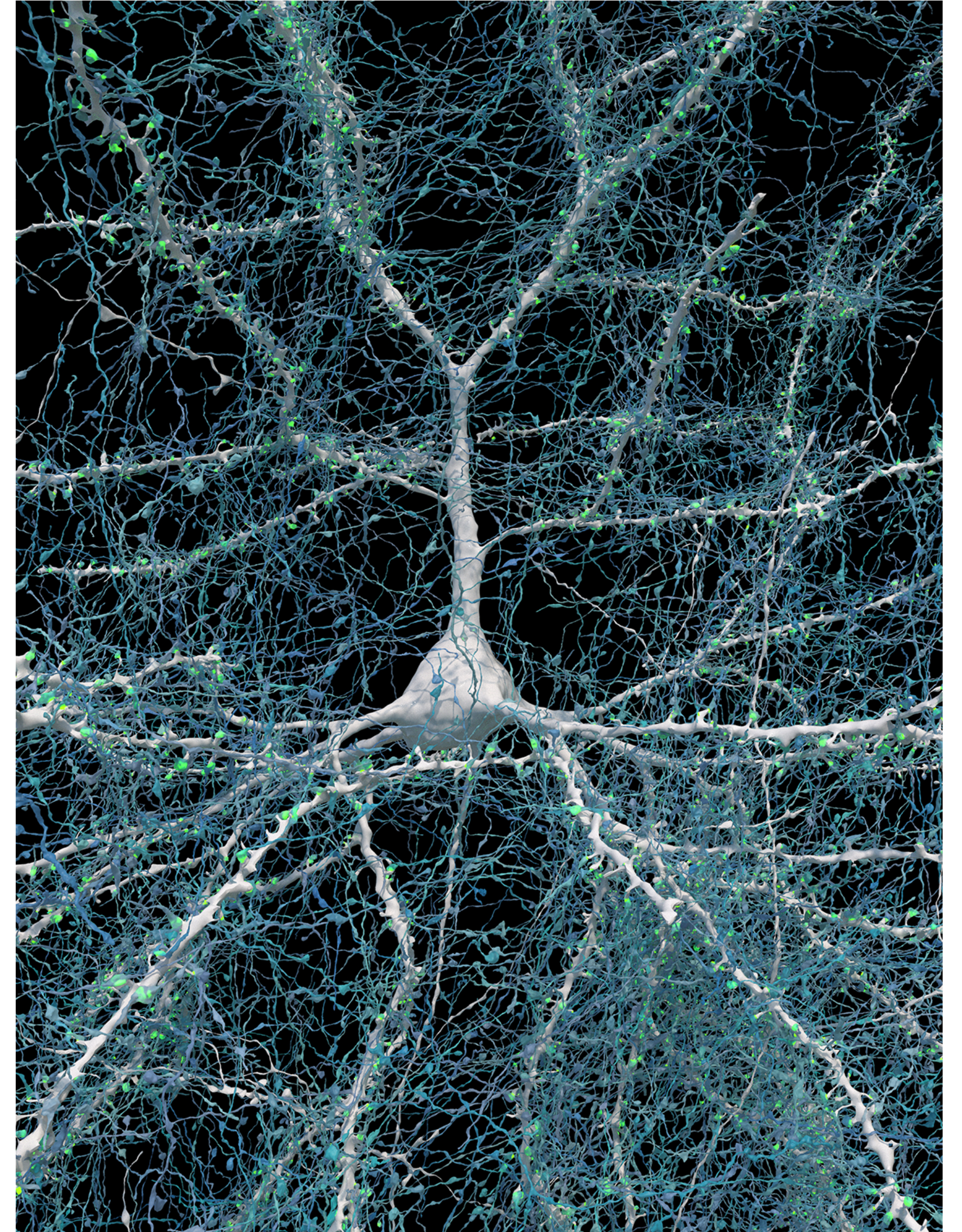
---



# PERCHÉ IL CERVELLO COME ISPIRAZIONE

19

- Il cervello come (unico) sistema intelligente generale
- Percezione, apprendimento, adattamento, generalizzazione
- Robustezza al rumore e ai guasti
- Parallelismo massivo

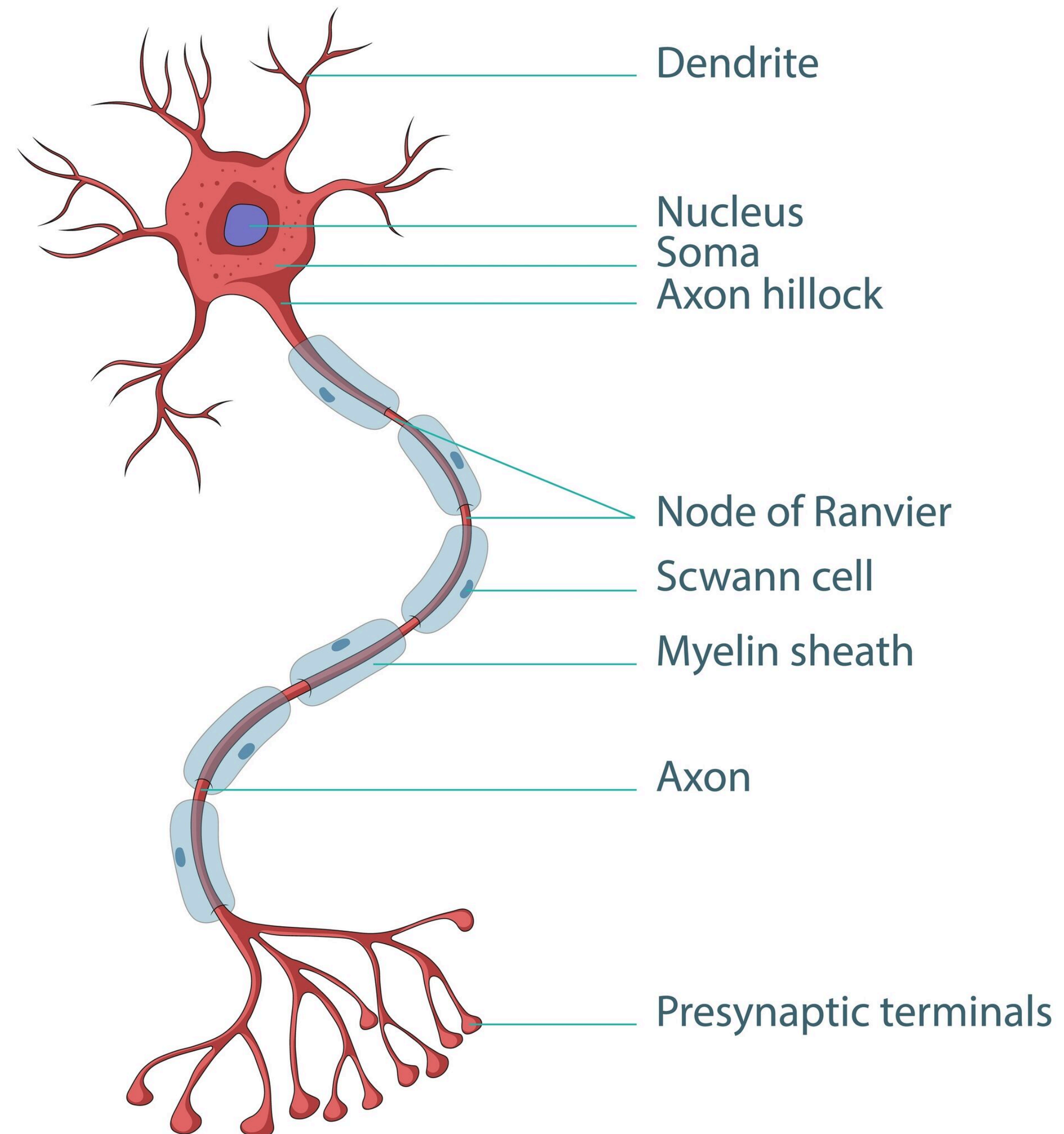




# IL NEURONE BIOLOGICO

20

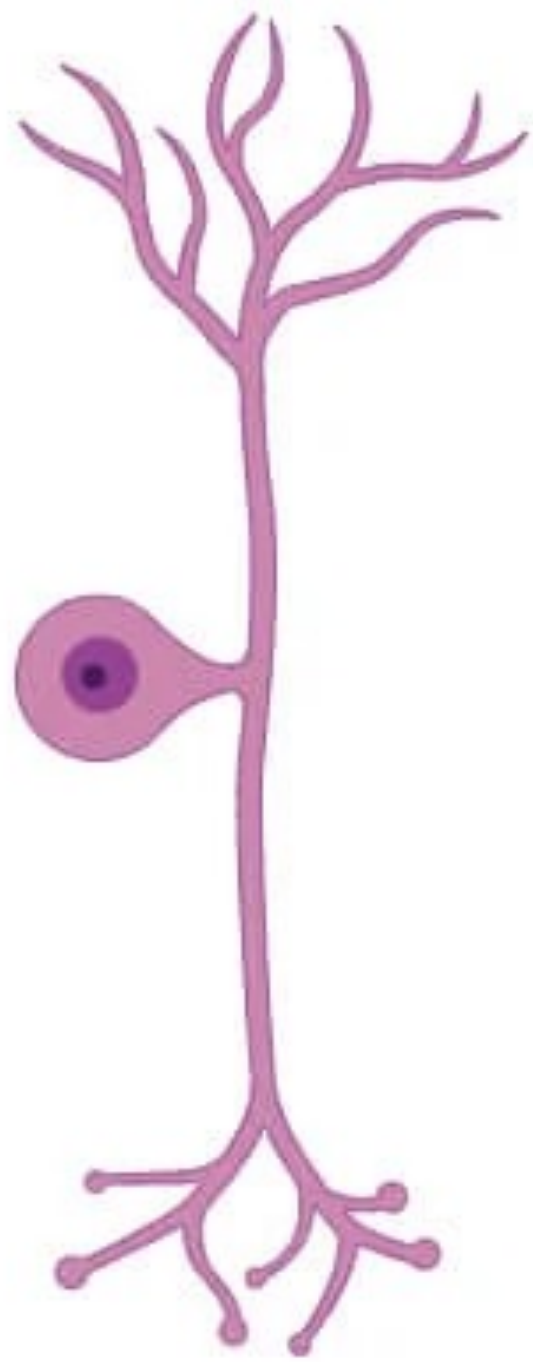
- Dendriti
- Soma (corpo cellulare)
- Assone
- Sinapsi



# TIPI DI NEURONI

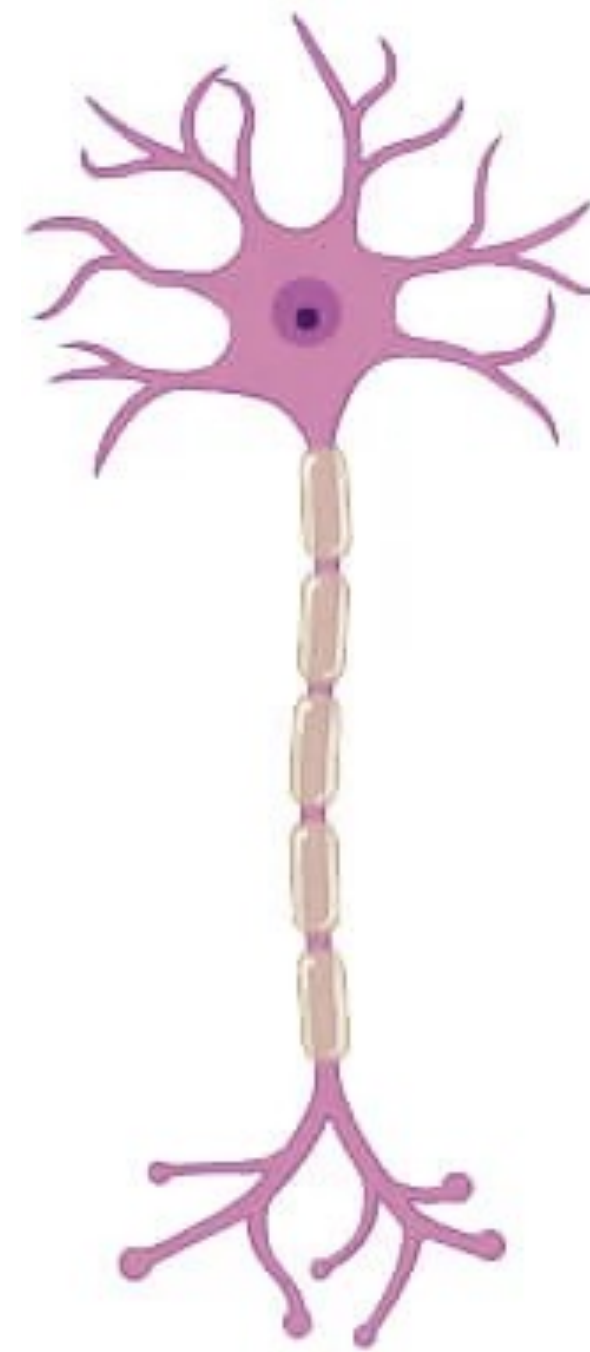
21

**NEURONE SENSORIALE**



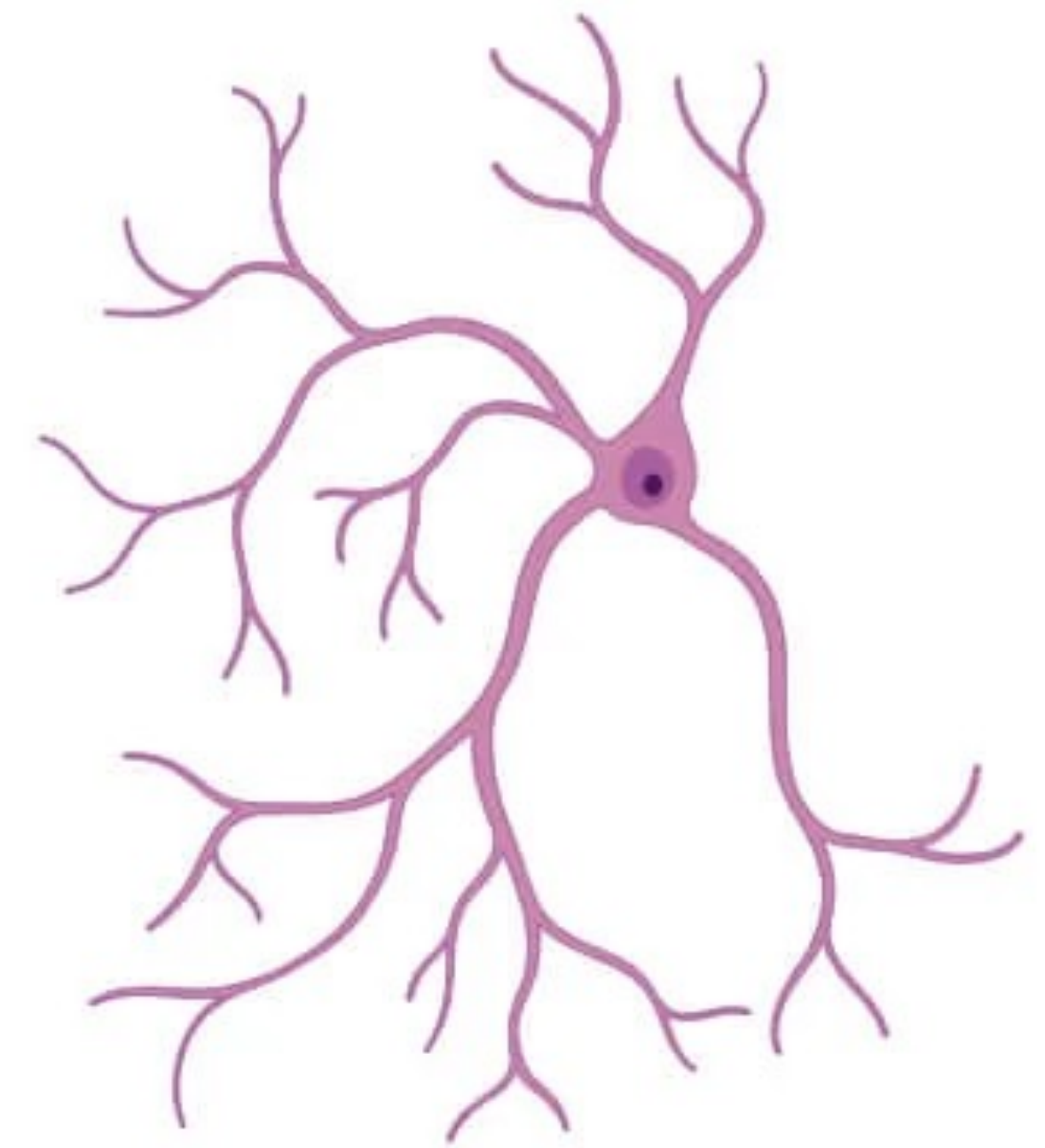
Stimolo fisico → segnale elettrico

**NEURONE MOTORIO**



Segnale elettrico → azione muscolare

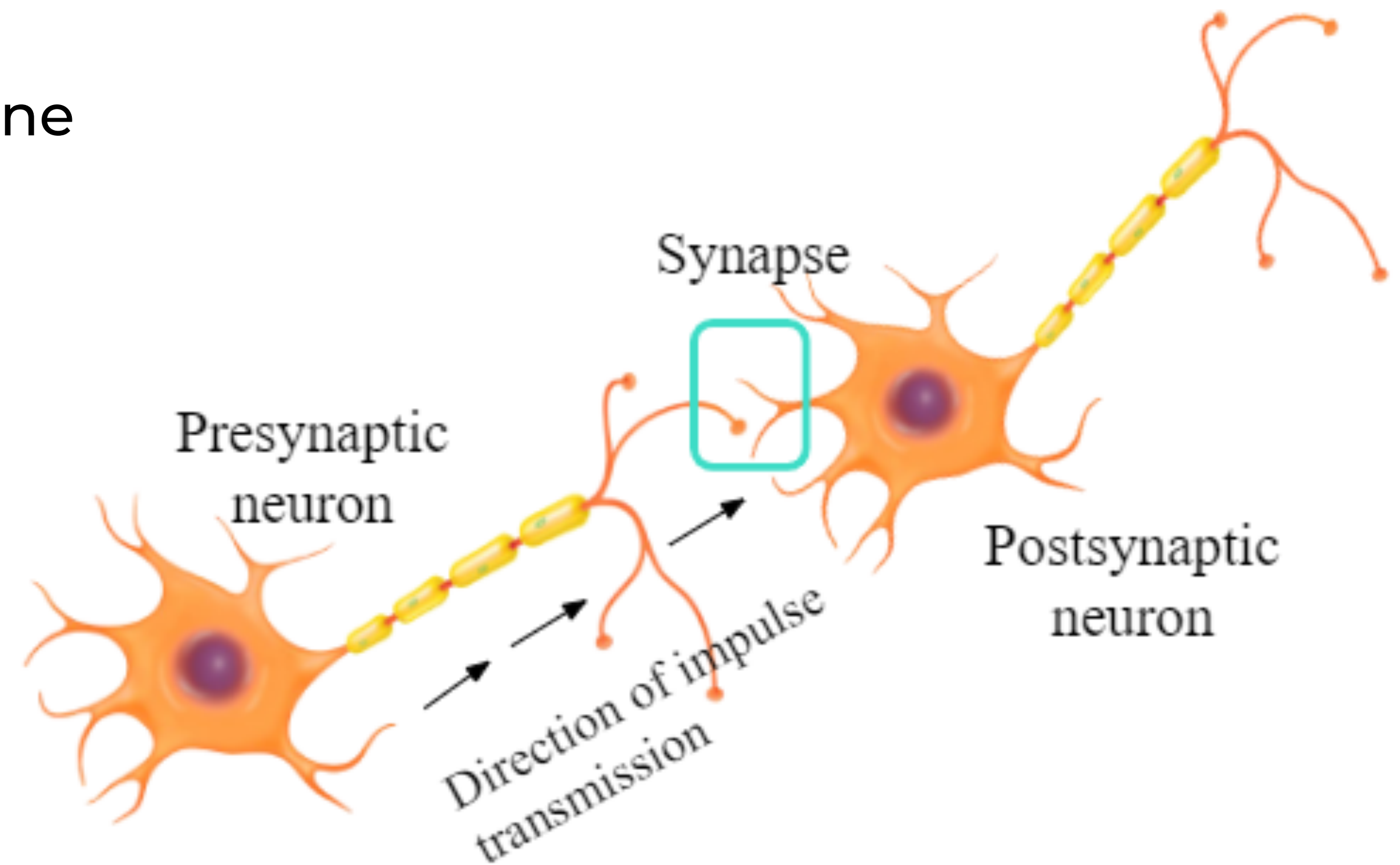
**INTERNEURONE**



Elaborazione informazioni



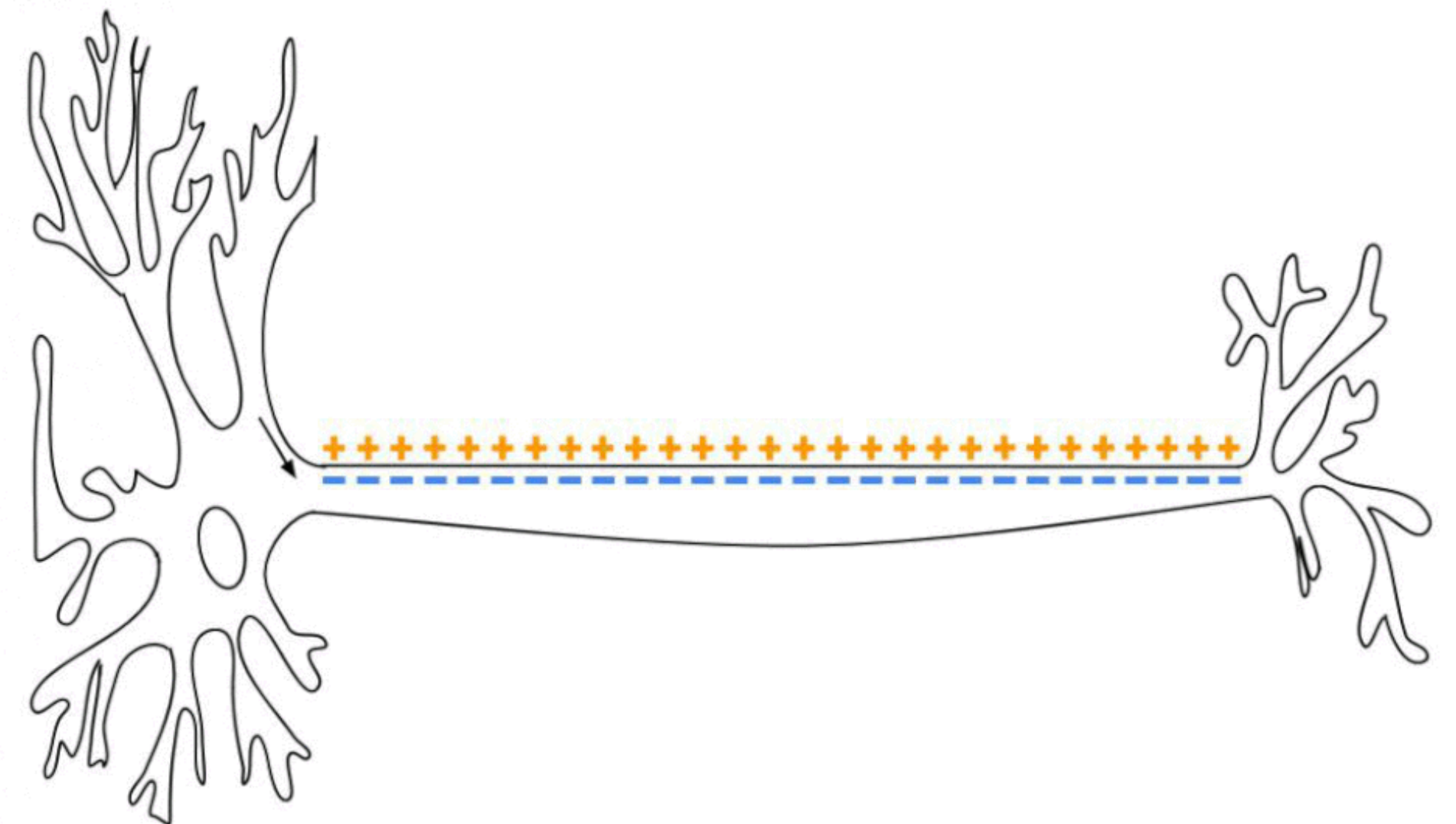
- I neuroni non funzionano come unità autonome
- Il comportamento emerge dall'interazione
- I neuroni devono comunicare tra loro
- La ***sinapsi*** è l'interfaccia di comunicazione tra neuroni
- Un neurone pre-sinaptico influenza un neurone post-sinaptico



# POTENZIALE DI MEMBRANA E POTENZIALE D'AZIONE

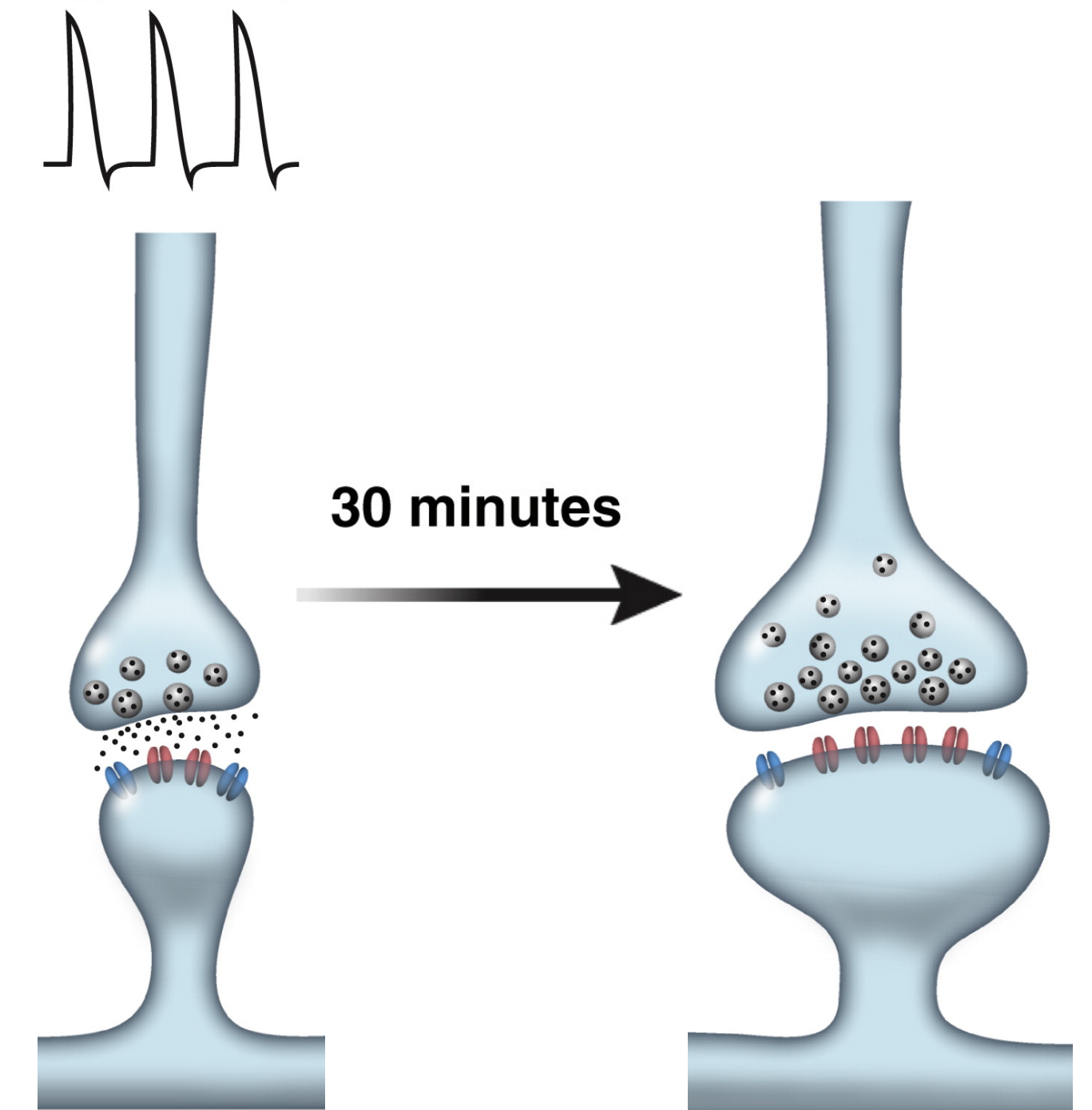
23

- La sinapsi non è binaria: può essere eccitatoria / inibitoria, connessione forte / debole
- Potenziale di membrana = differenza di potenziale elettrico dentro e fuori la cellula
- Integrazione temporale e spaziale, contributi positivi e negativi
- Quando il potenziale di membrana supera una certa soglia, il neurone post-sinaptico genera un potenziale d'azione
- Potenziale d'azione o **spike** = decisione locale, discreta
- L'informazione è la frequenza di *firing*, non l'intensità dello spike





- Singolo spike poco significativo
- La ripetizione e la correlazione temporale tra gli spike di neuroni diversi è significativa
- Plasticità sinaptica = rafforzamento / indebolimento delle sinapsi nel tempo, in risposta a aumento / diminuzione dell'attività dei neuroni
- Teoria di Hebb: ***neurons that fire together, wire together***
- Nessun controllo centrale, apprendimento locale
- Plasticità sinaptica alla base di apprendimento e memoria

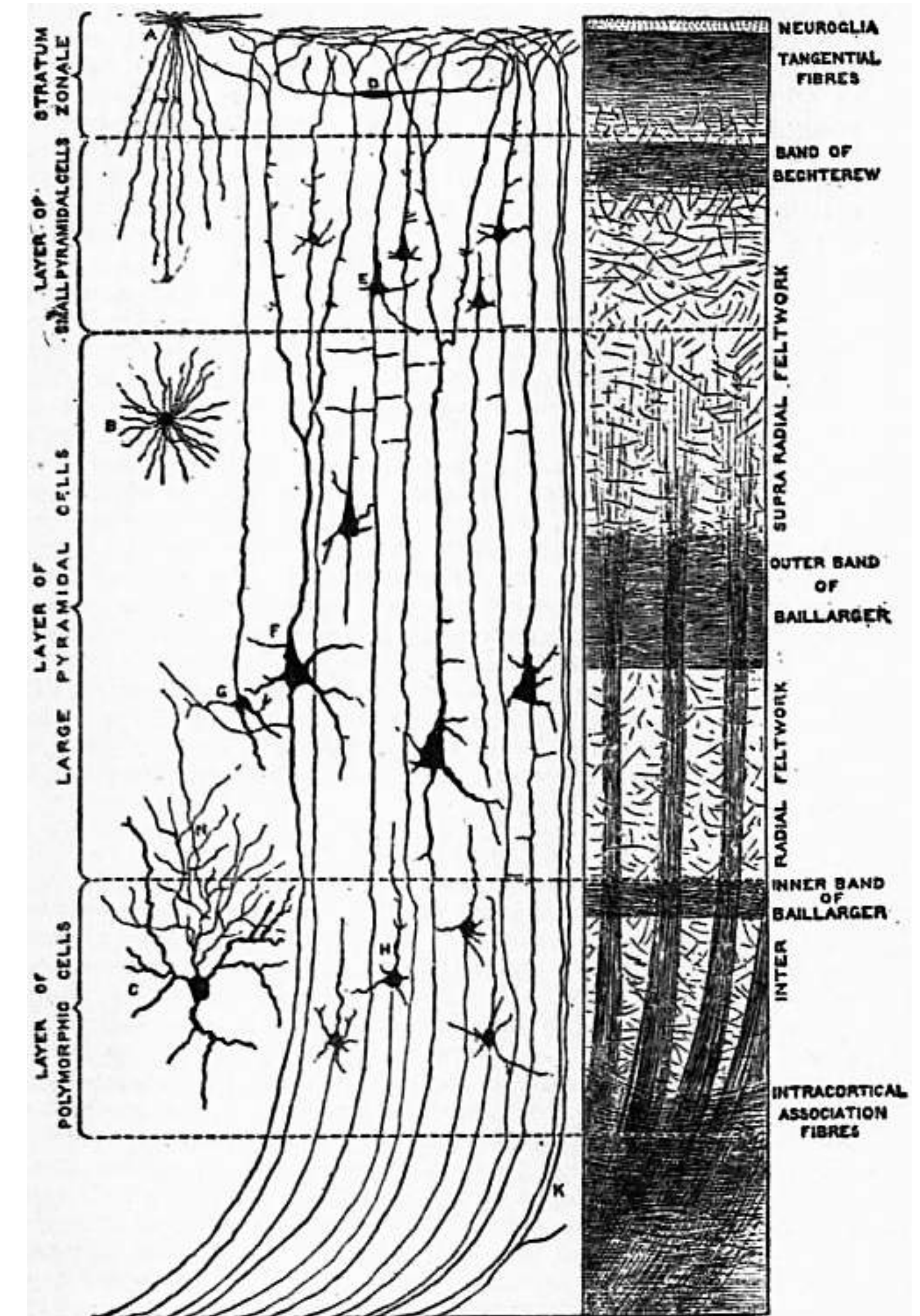
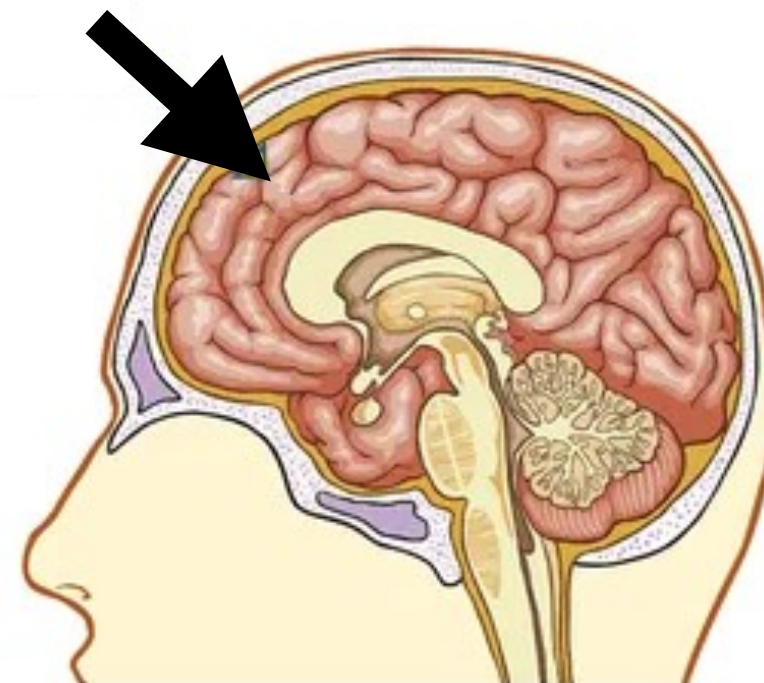




# CORTECCIA CEREBRALE

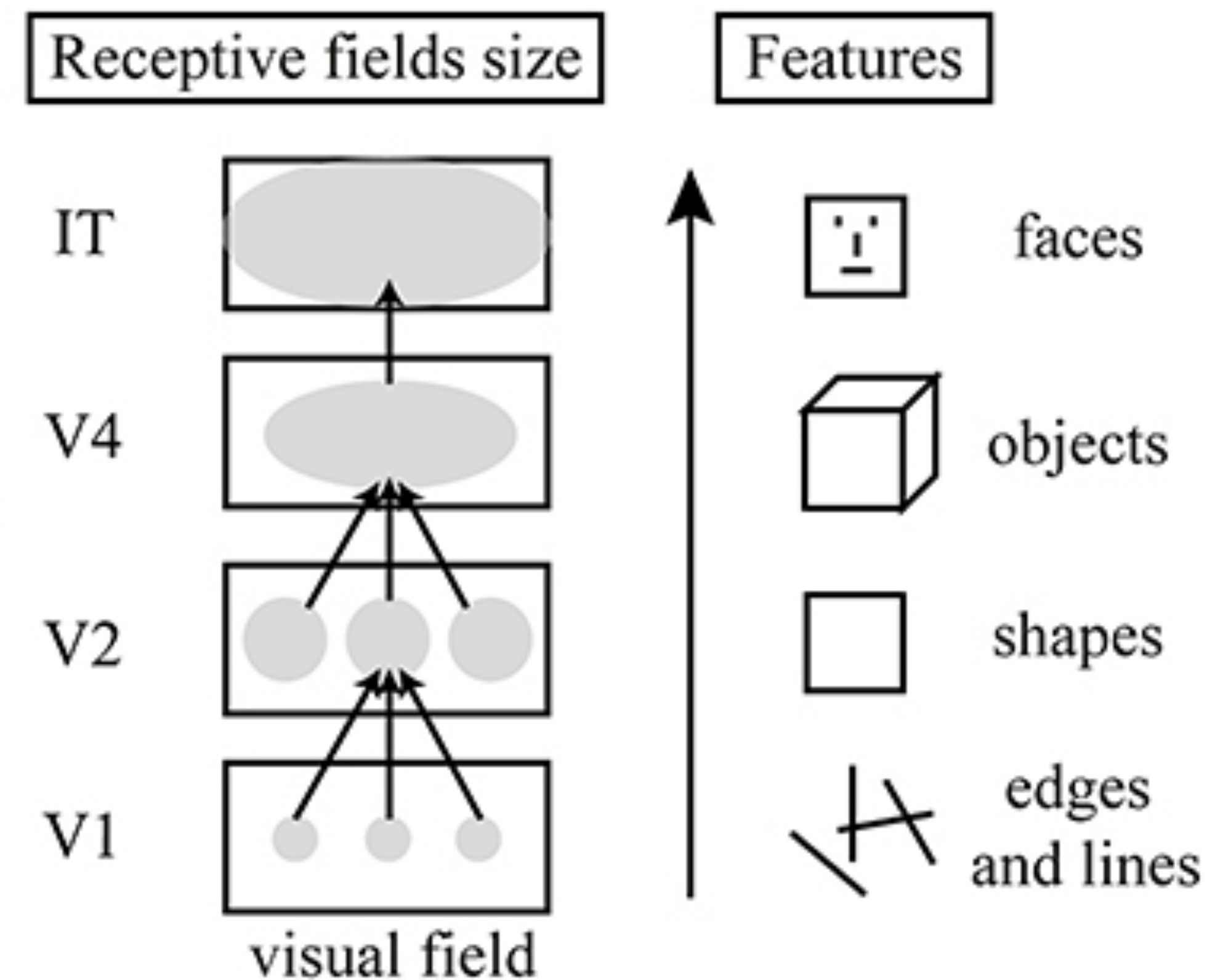
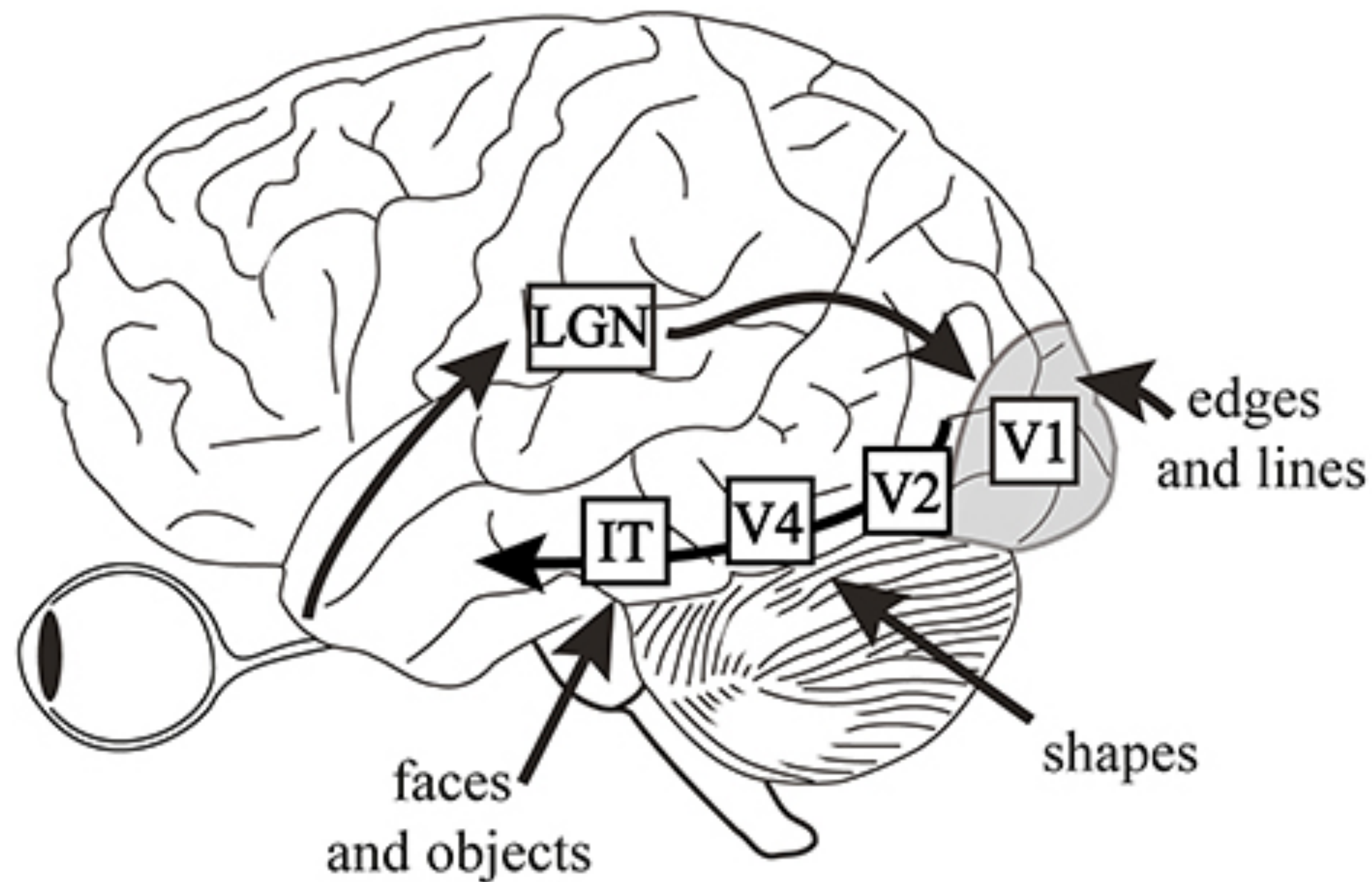
25

- Le ANN non imitano il singolo neurone, imitano l'organizzazione del cervello
- La corteccia è lo strato esterno del cervello
- Sede delle funzioni cognitive superiori
- Struttura a strati, elevata densità di neuroni
- Organizzazione gerarchica riutilizzata in aree diverse





- Da feature locali semplici, a rappresentazioni sempre più astratte
- Organizzazione gerarchica dell'elaborazione dell'informazione è efficace



## SIMILARITÀ

- Struttura a rete, no singoli elementi
- Pesi sinaptici
- Apprendimento per adattamento
- Intelligenza distribuita
- Organizzazione gerarchica degli strati

## DIFFERENZE

- Le ANN non sono modelli realistici del cervello
- No struttura del cervello reale
- No chimica delle sinapsi
- No dinamiche temporali di spikes  
(ad eccezione delle Spiking Neural Networks)

**Efficacia pratica > fedeltà biologica**



- Diversi filosofie, diversi paradigmi di AI
- Gli "inverni" passati e la nuova "estate"
- Neurone biologico, potenziale di azione
- Plasticità sinaptica, organizzazione della corteccia
- Limiti dell'analogia biologica