



# Intelligenza Artificiale

## Parte 2

**Orientamatica 2023-2024**  
**“Modelli matematici nella realtà”**

**Andrea Tangherloni**

# Chi sono

- Assistant Professor in Bocconi
  - Department of Computing Sciences
- Applicazione dell'AI in Biologica Computazionale
  - Problemi complessi
- Informatica
  - Laurea triennale
  - Laurea magistrale
  - Dottorato di ricerca



# Il Machine Learning

“

*Si dice che un programma apprende dall'esperienza  $E$  con riferimento a alcune classi di compiti  $T$  e con misurazione della performance  $P$ , se le sue performance nel compito  $T$ , come misurato da  $P$ , migliorano con l'esperienza  $E$ .*

- Tom M. Mitchell -

# Il Machine Learning

- Cambia radicalmente l'approccio del **programmatore**
- **Prima** era necessario scrivere **righe di codice** dettagliate per **istruire** la **macchina** su **cosa fare** per **ogni** possibile **situazione**
- Nel **Machine Learning**, è l'**algoritmo** stesso a **sviluppare** una **sua logica** e conseguentemente a compiere **determinate azioni**, a seconda dei **dati** a disposizione e della **situazione**

# Come funziona?

- Un algoritmo di Machine Learning **esplora i dati** (usando un insieme di addestramento, chiamato *training set*) per ricavarne **correlazioni**, *pattern* e quindi **modelli predittivi**
- La **logica è prettamente induttiva**
  - La **macchina osserva** un determinato **campione di dati** e ne ricava delle **regole**
  - Quando osserva **altri dati**, **modifica** di conseguenza le **proprie conoscenze**
- **Maggiore è il numero di dati** che si è in grado di usare, **maggiore** sarà la **capacità** dell'algoritmo di fare delle **previsioni esatte**

**Cos'è un modello di apprendimento ML?**

# Cos'è un modello di apprendimento ML?

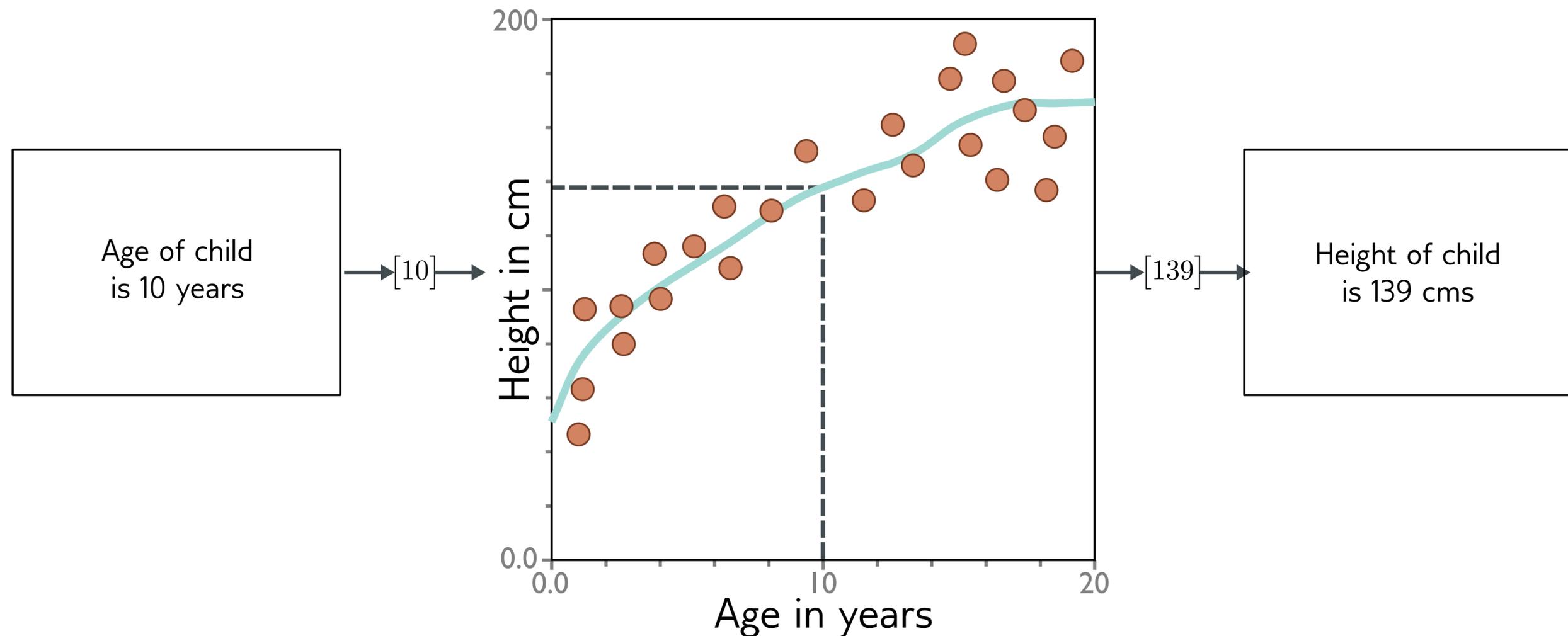
- Un'equazione che mette in relazione l'**input** (età) con l'**output** (altezza)

# Cos'è un modello di apprendimento ML?

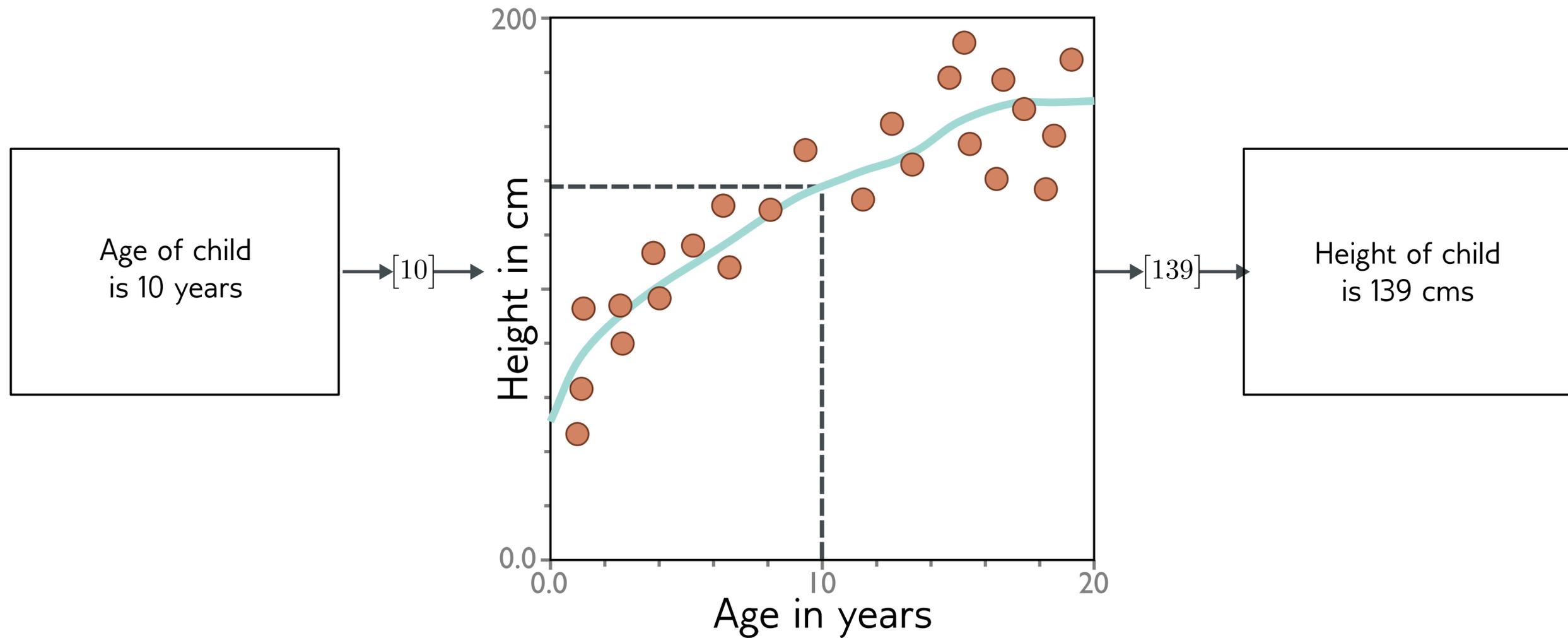
- Un'equazione che mette in relazione l'**input** (età) con l'**output** (altezza)
- Cerchiamo tra una **famiglia di possibili equazioni** per trovare quella che si **adatta bene** (o **miglior**) ai **dati** di addestramento

# Cos'è un modello di apprendimento ML?

- Un'**equazione** che mette in relazione l'**input** (età) con l'**output** (altezza)
- Cerchiamo tra una **famiglia** di **possibili equazioni** per trovare quella che si **adatta bene** (o **meglio**) ai **dati** di addestramento

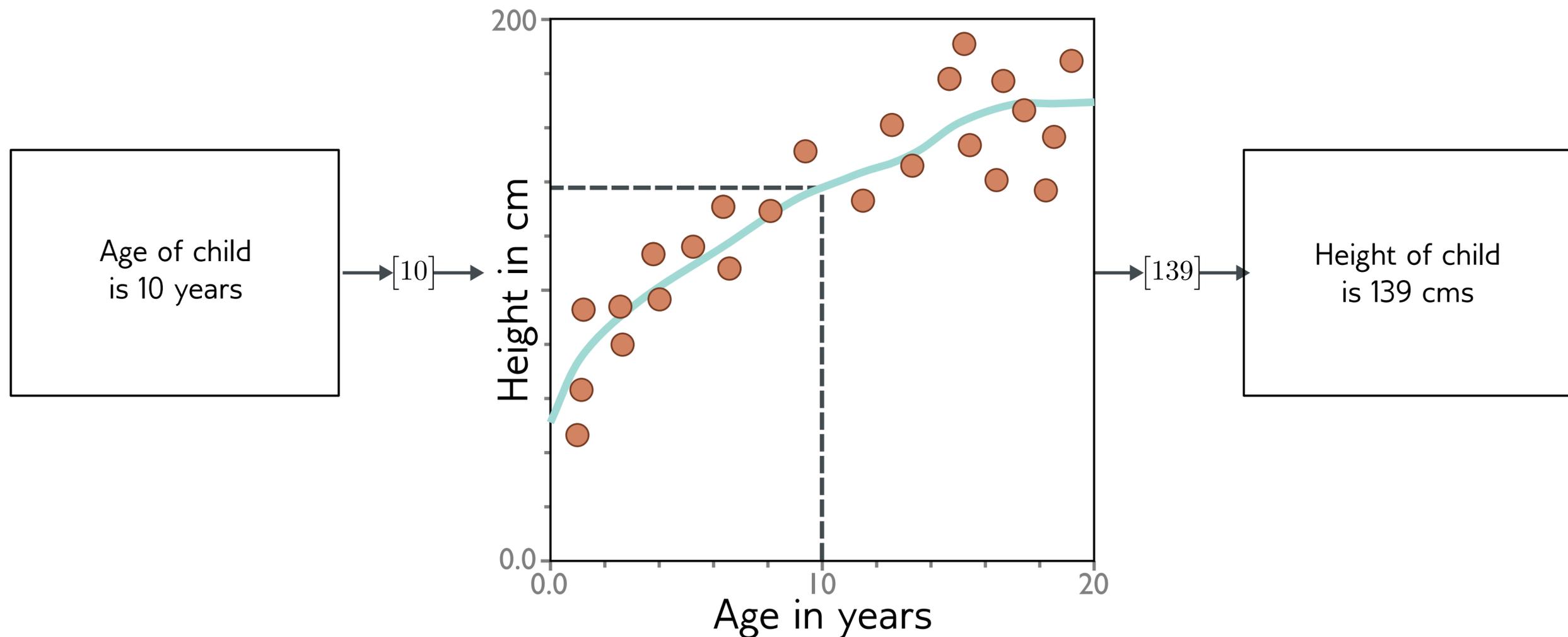


# Cos'è una rete neurale profonda?



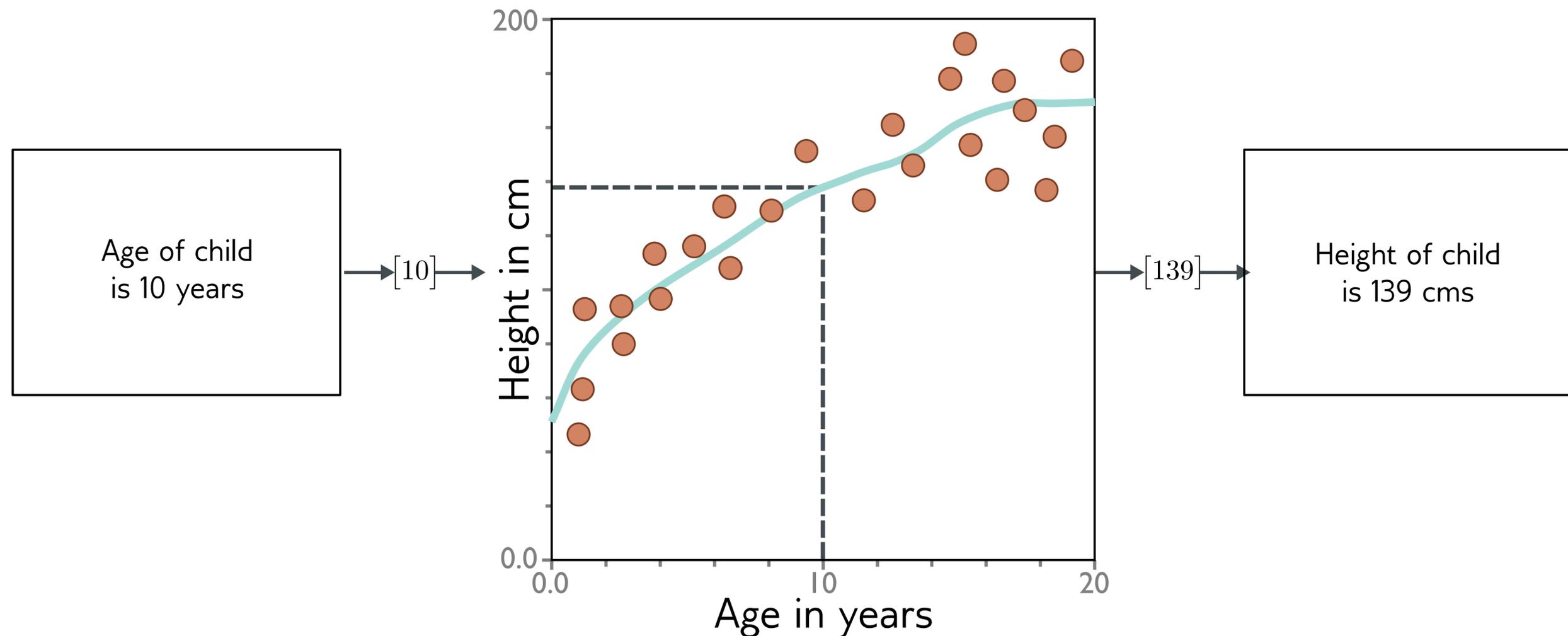
# Cos'è una rete neurale profonda?

- Le reti neurali profonde sono “solo” una famiglia di equazioni **molto flessibile**



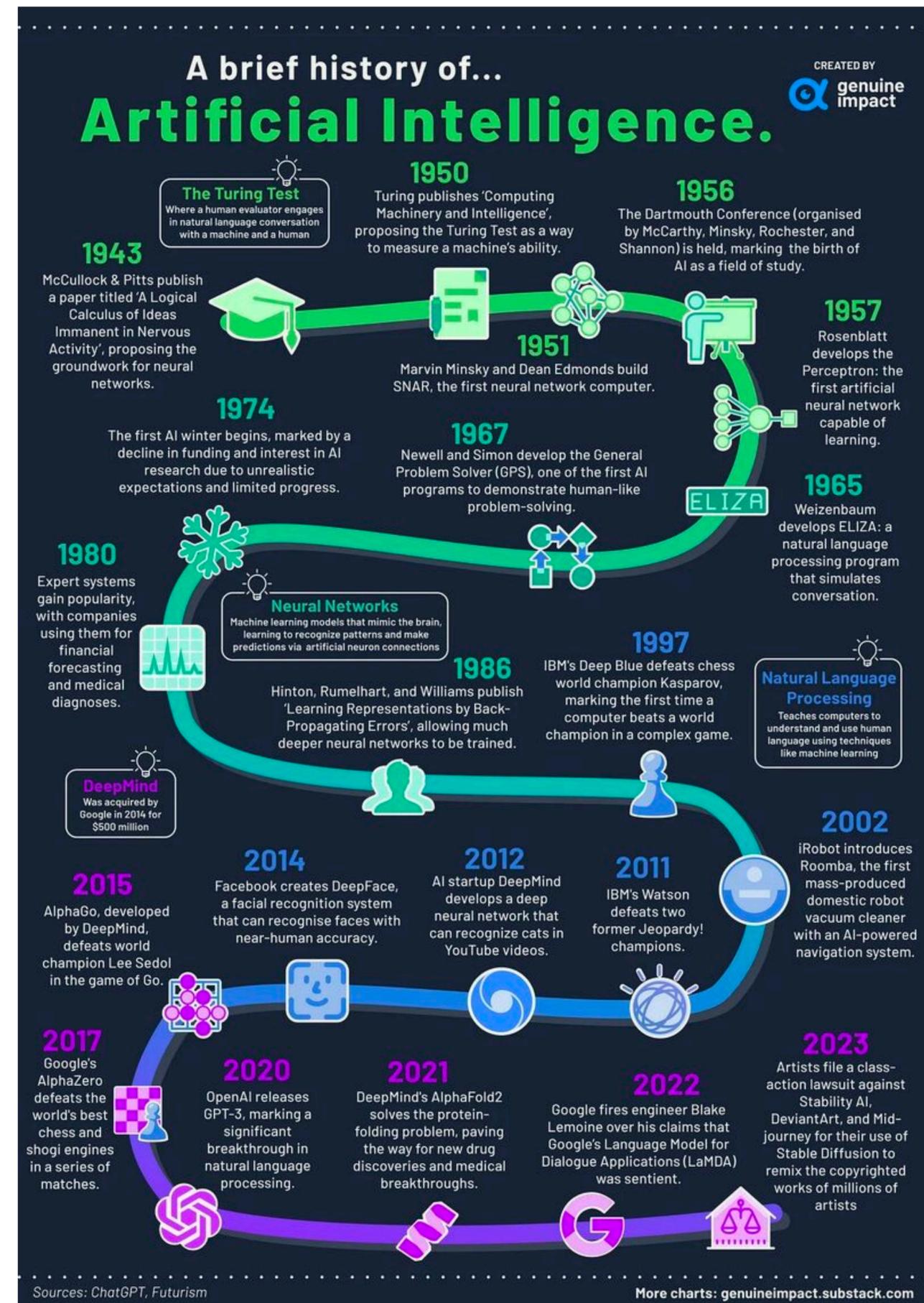
# Cos'è una rete neurale profonda?

- Le **reti neurali profonde** sono “solo” una **famiglia** di equazioni **molto flessibile**
- Addestrare le reti neurali profonde → “*Deep Learning*”

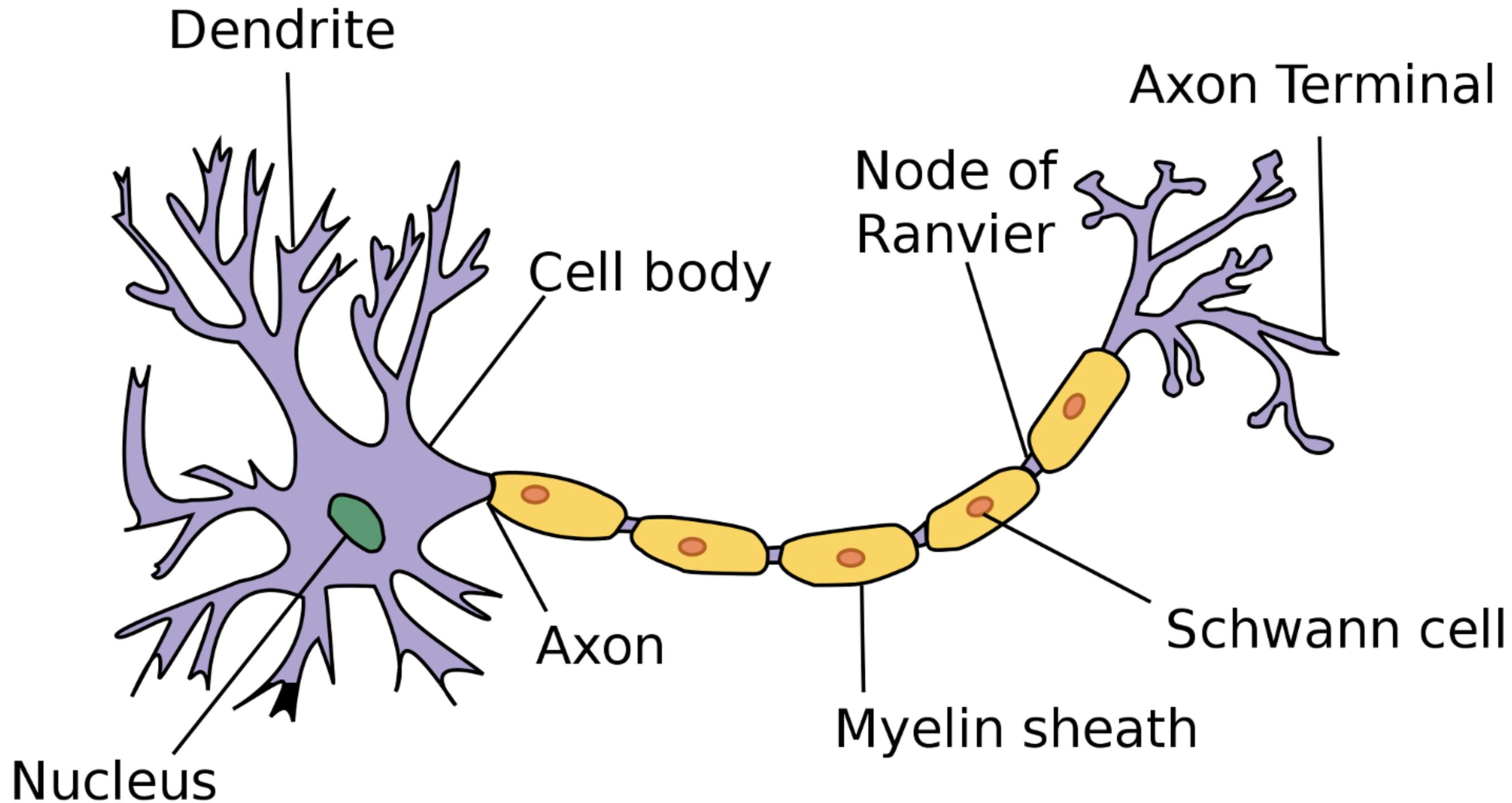


# Il perceptrone... storia

- 1957: Frank **Rosenblatt**, psicologo dell'università di Cornell, ideò la prima **macchina** in grado di **simulare** a livello software e hardware il **funzionamento dei neuroni: *The Perceptron***
- Quando venne svelato il primo prototipo, nel 1958, il perceptron era un macchinario da **5 tonnellate** che occupava una stanza intera... e sapeva solamente **distinguere la destra dalla sinistra**
- 1959: Arthur Samuel coniò il termine "Machine Learning" durante un discorso su come insegnare alle macchine a giocare a scacchi meglio degli umani che le hanno programmate



# Il percettore... biologia





# Il perceptrone... informatica

- Uno dei **primi algoritmi** di **apprendimento** per la **classificazione binaria**
  - Un semplice algoritmo appartenente alla **famiglia** dei **classificatori lineari**
- Calcola una **somma pesata** degli *input* e la **confronta** con una **soglia**
- Apprende i **pesi** della **somma** e il *bias*
  - Il **vettore normale** e l'*offset* del corrispondente **iperpiano di separazione**
- Il modello viene aggiornato considerando un **singolo campione** (*sample*)
  - Un'**epoca** dell'algoritmo corrisponde ad un **aggiornamento** considerando **tutti i campioni** del *training set*

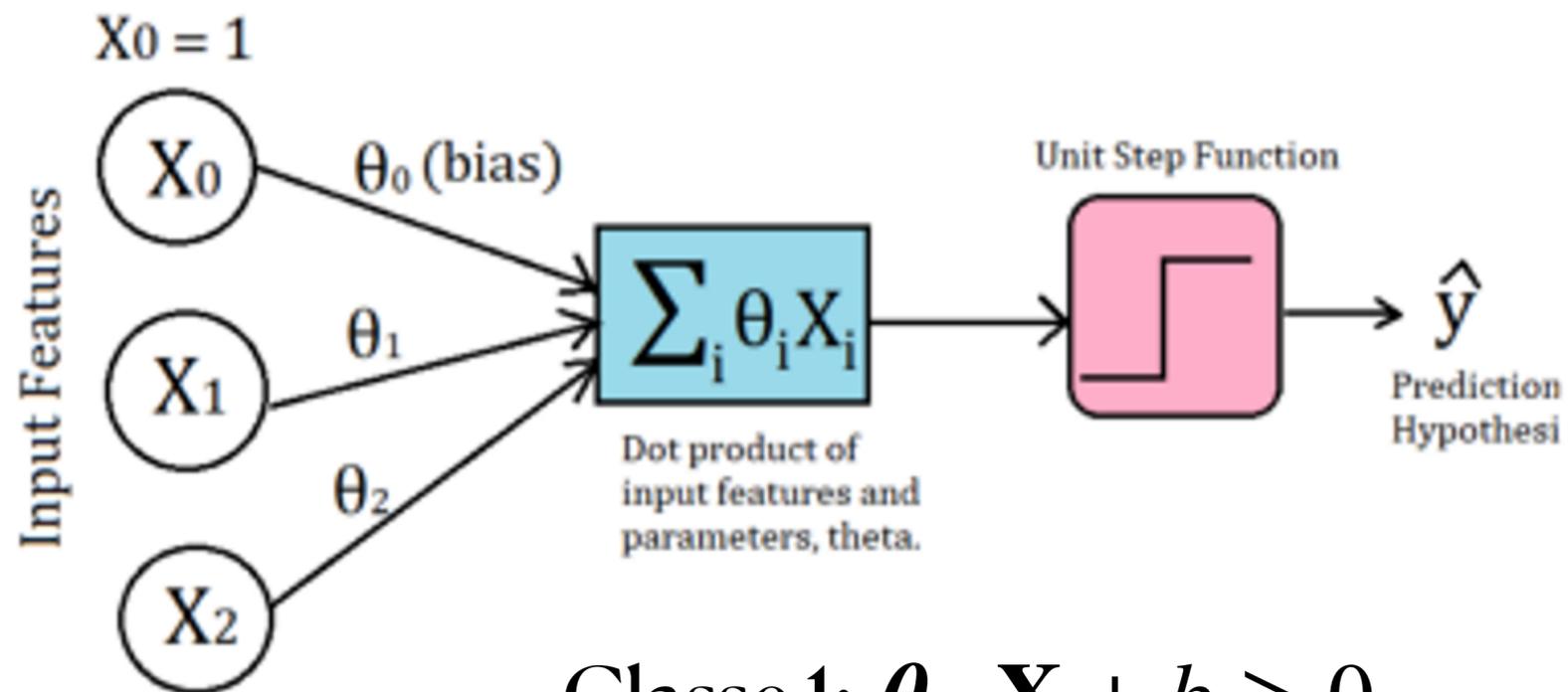
# Il percettore... informatica



Informatica

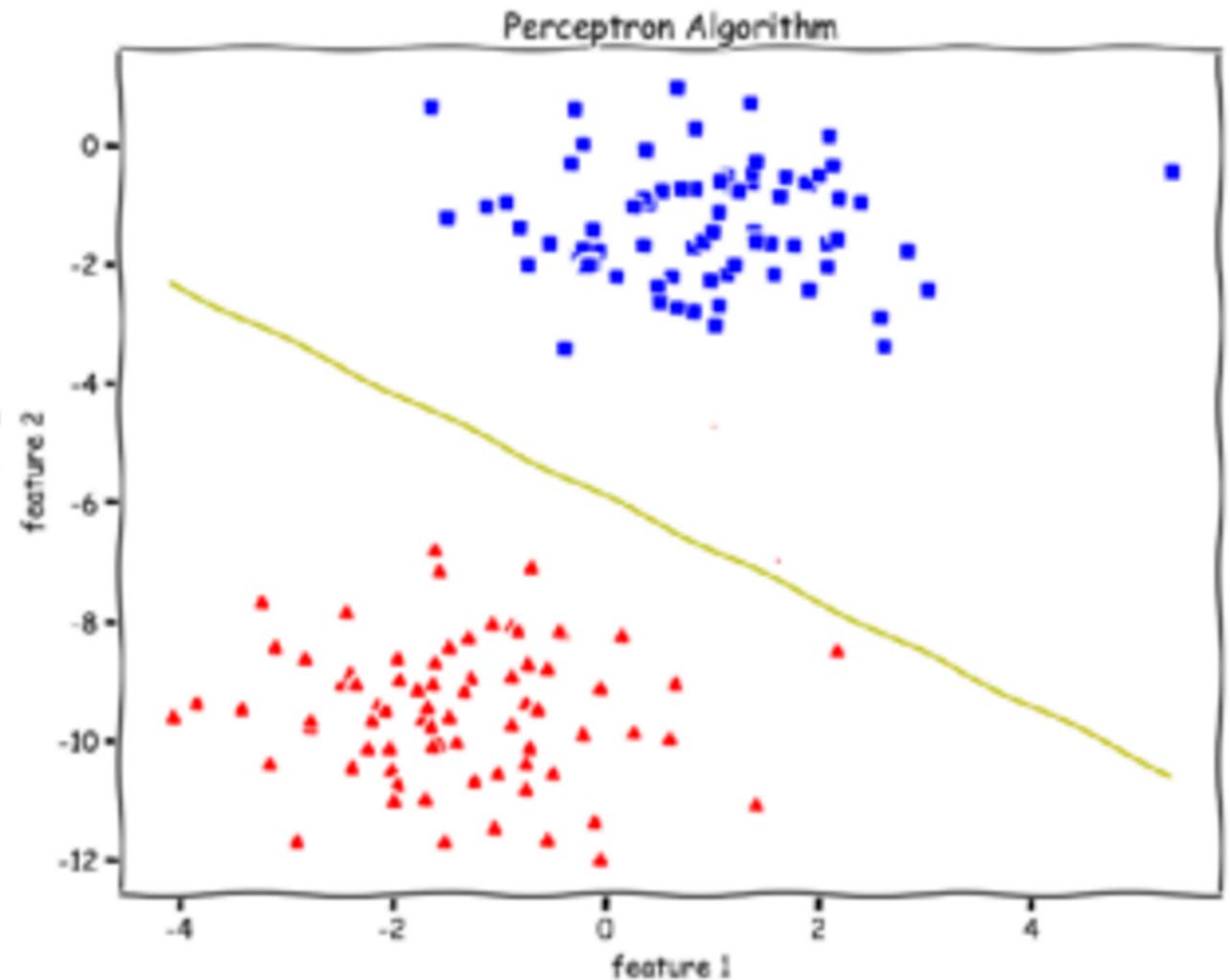


# Il percettrone... matematica

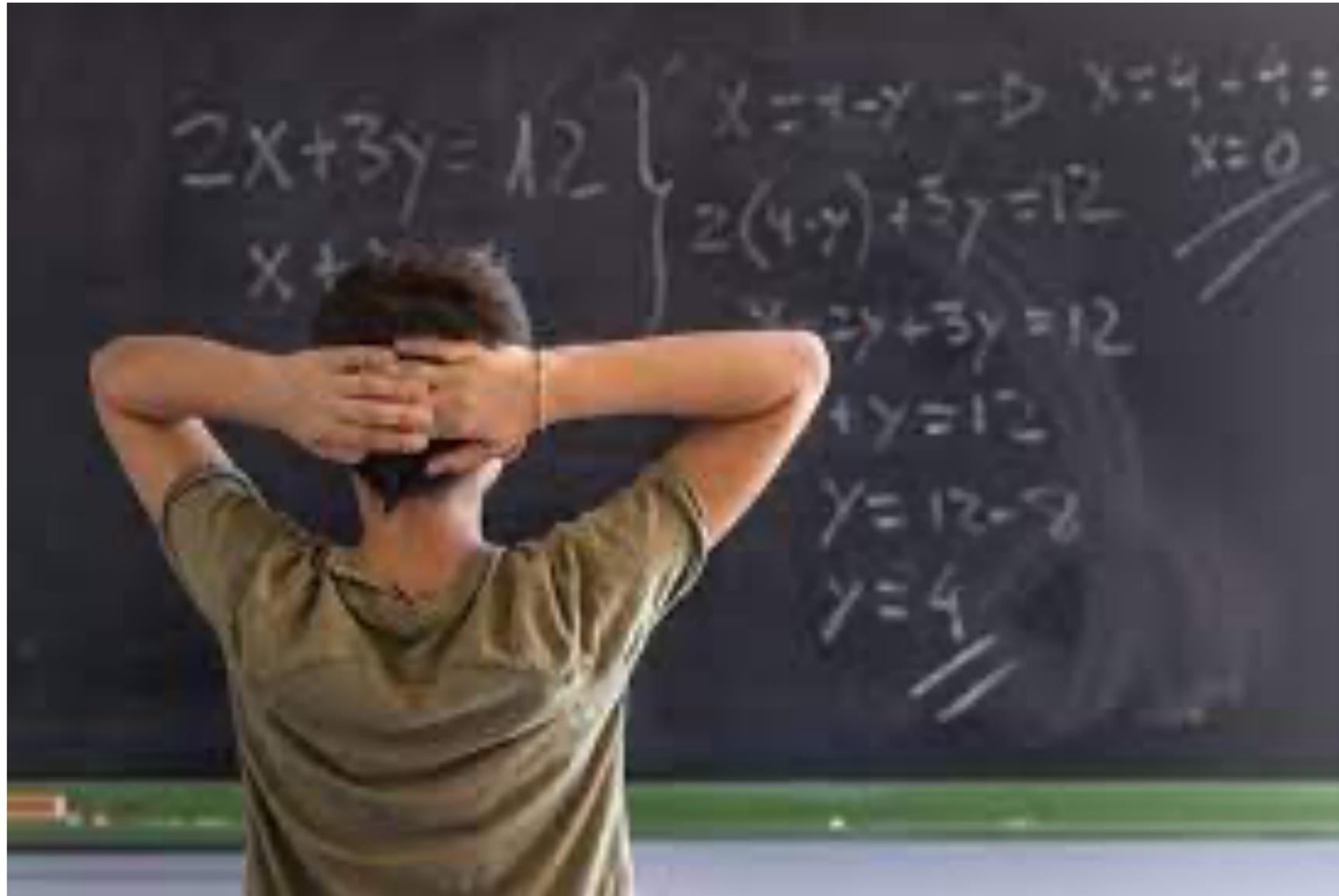


Classe 1:  $\theta \cdot \mathbf{X} + b \geq 0$

Classe 2:  $\theta \cdot \mathbf{X} + b < 0$



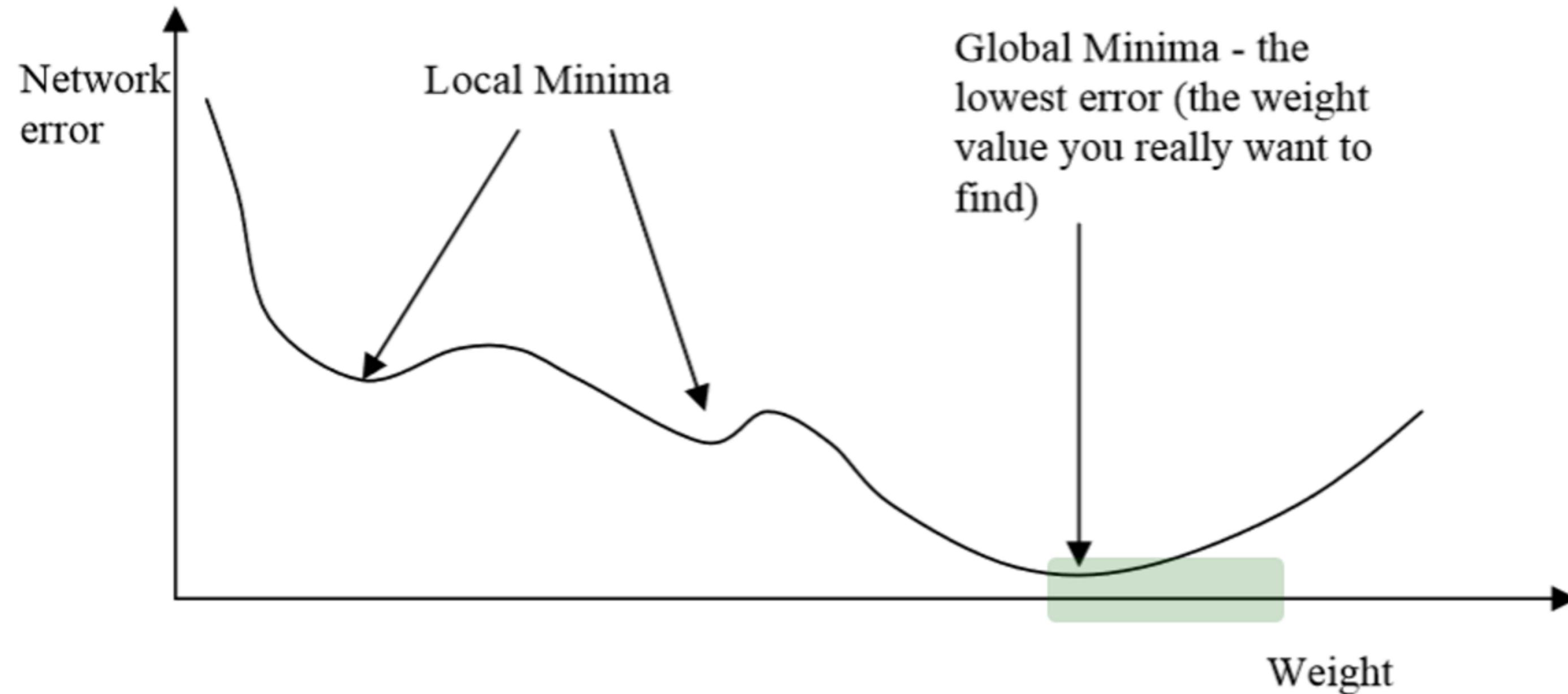
# Il percettrone... matematica



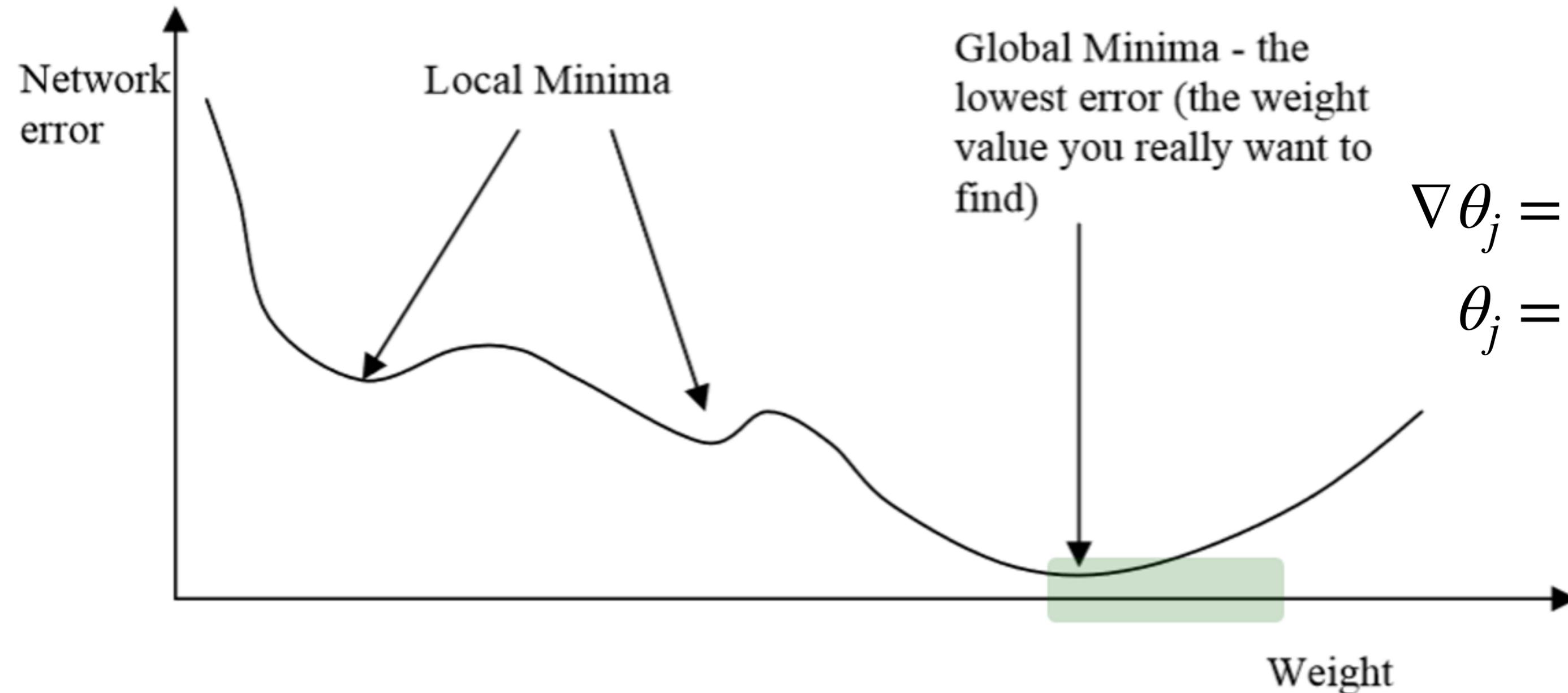
Matematica



# Il percettore... matematica

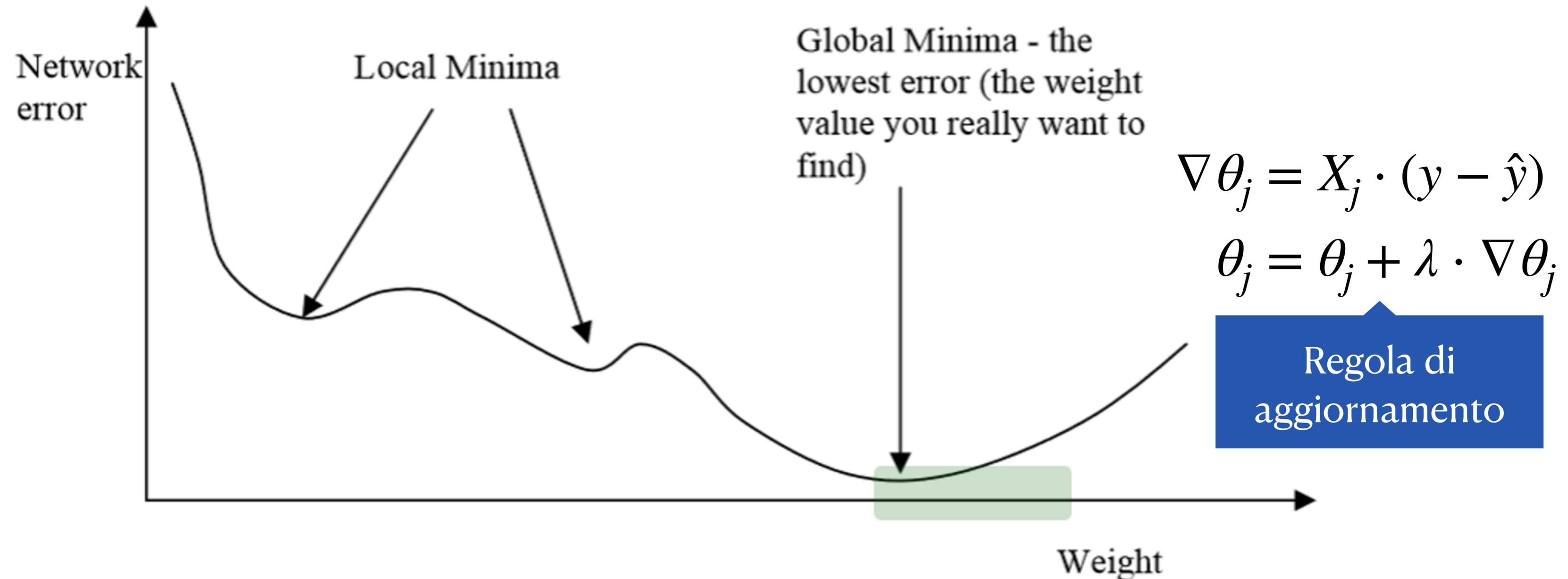


# Il percettrone... matematica

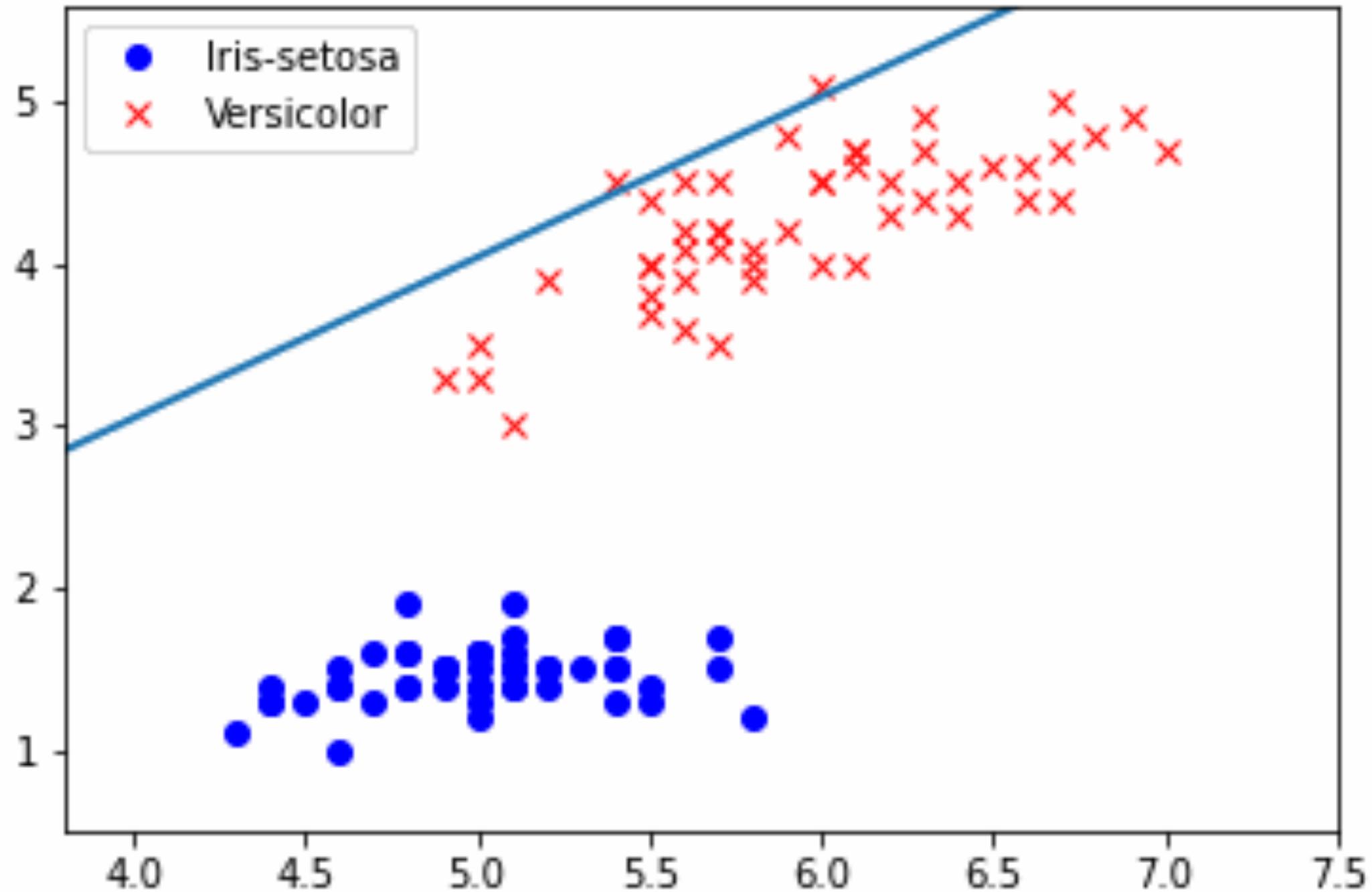


$$\nabla \theta_j = X_j \cdot (y - \hat{y})$$
$$\theta_j = \theta_j + \lambda \cdot \nabla \theta_j$$

# Il perceptrone... matematica



# Il percettrone... matematica

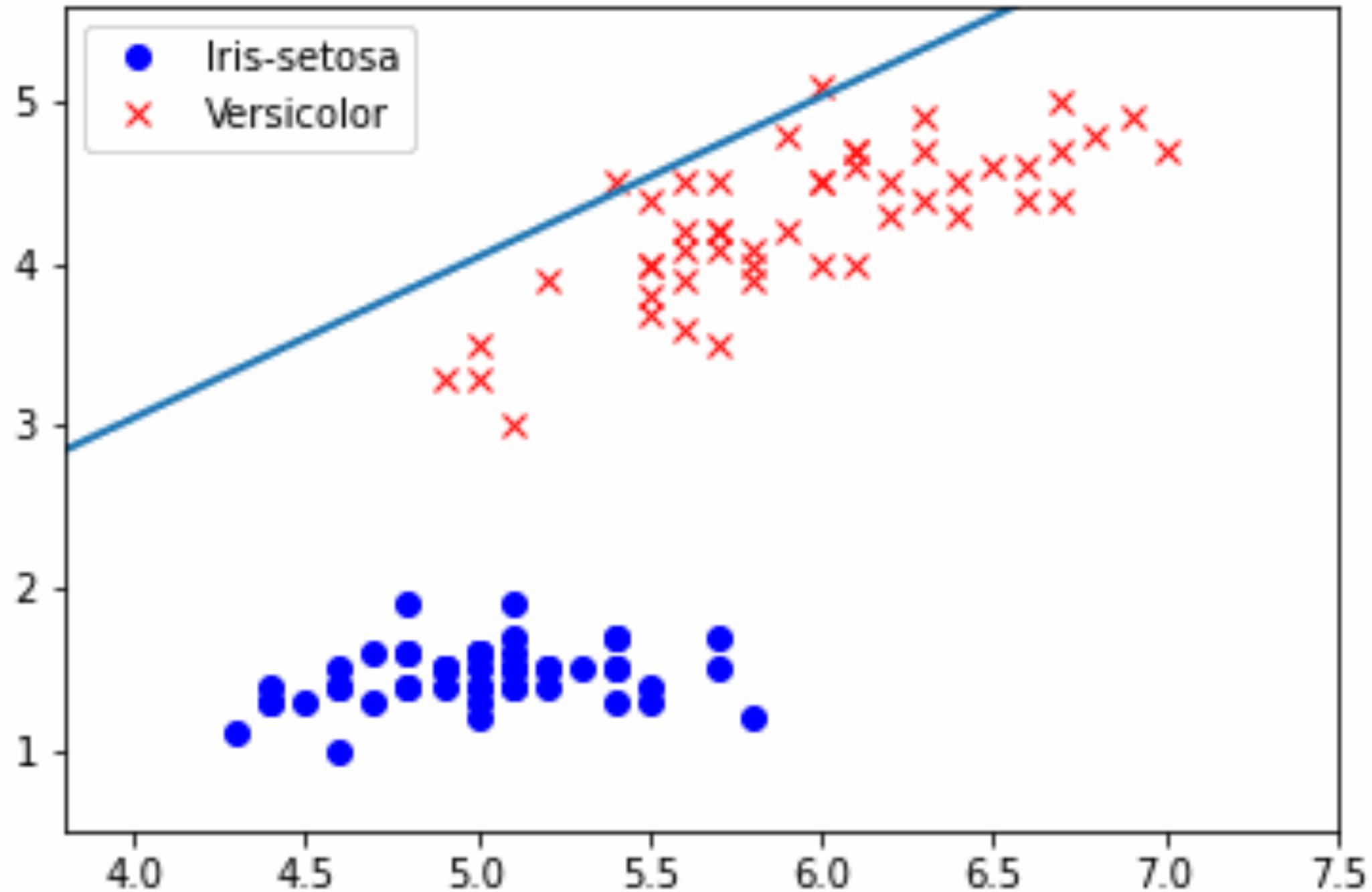


$$\nabla \theta_j = X_j \cdot (y - \hat{y})$$

$$\theta_j = \theta_j + \lambda \cdot \nabla \theta_j$$

Regola di  
aggiornamento

# Il percettrone... matematica



$$\nabla \theta_j = X_j \cdot (y - \hat{y})$$

$$\theta_j = \theta_j + \lambda \cdot \nabla \theta_j$$

Regola di  
aggiornamento

**Bellissimo... E lo XOR?**

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	0
0	1	

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

# Bellissimo... E lo XOR?

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

# Bellissimo... E lo XOR?

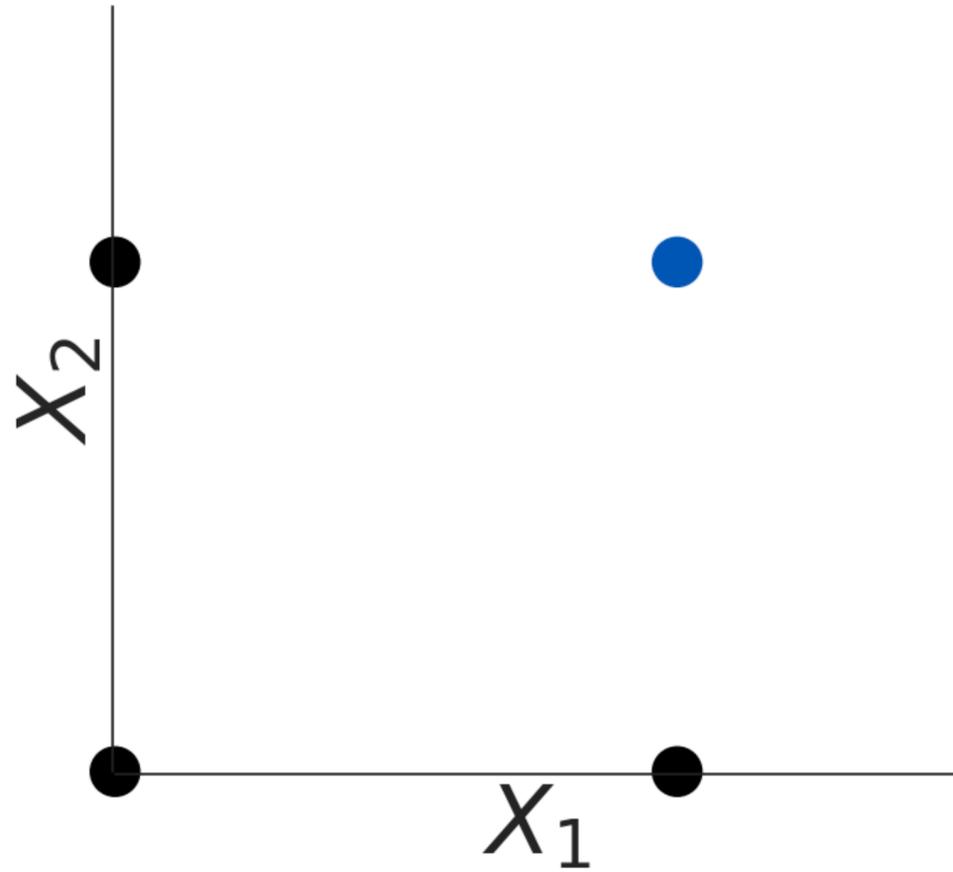
$X_1$	$X_2$	$X_1 \cap X_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \cup X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$X_1 \oplus X_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

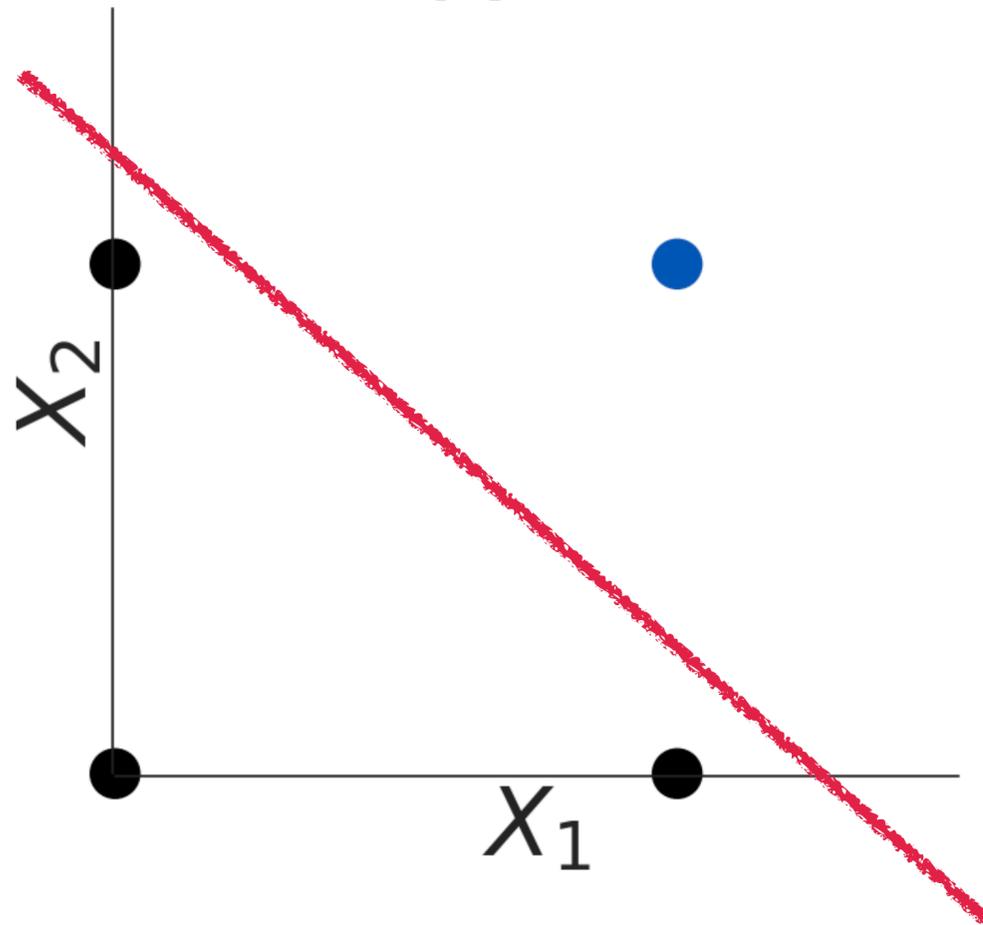
# Bellissimo... E lo XOR?

AND



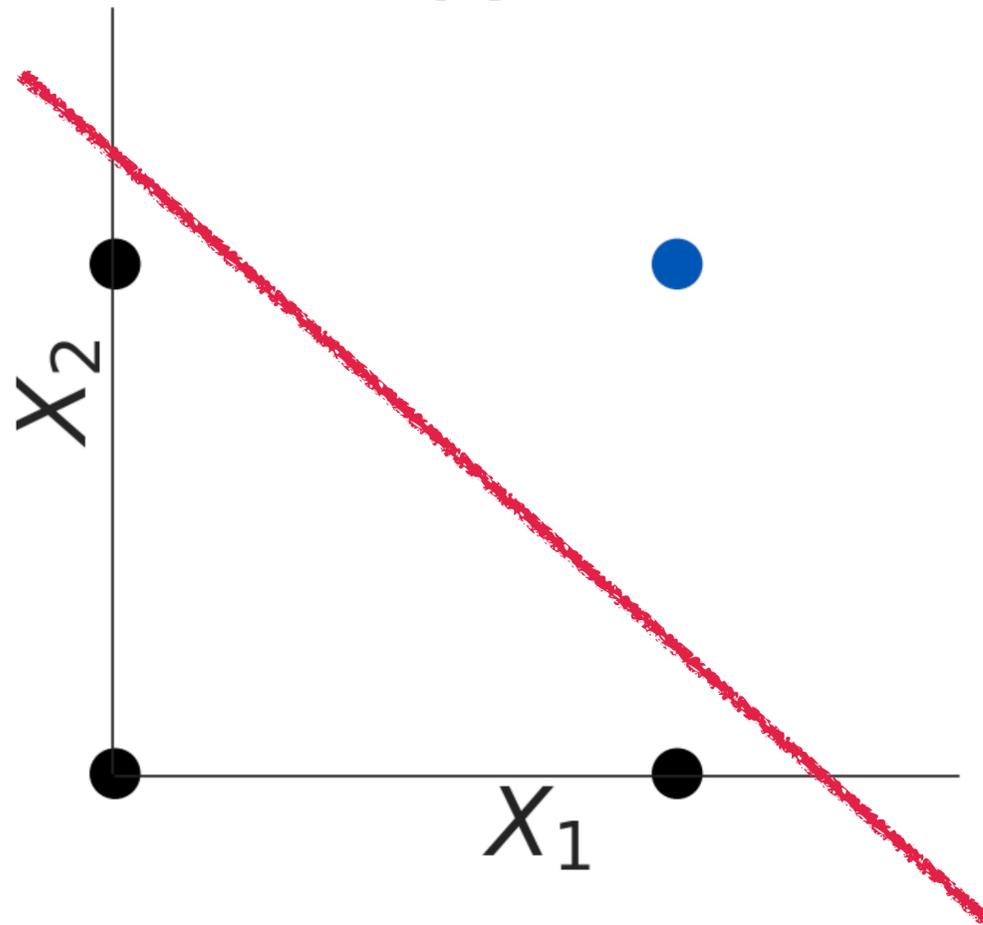
# Bellissimo... E lo XOR?

AND



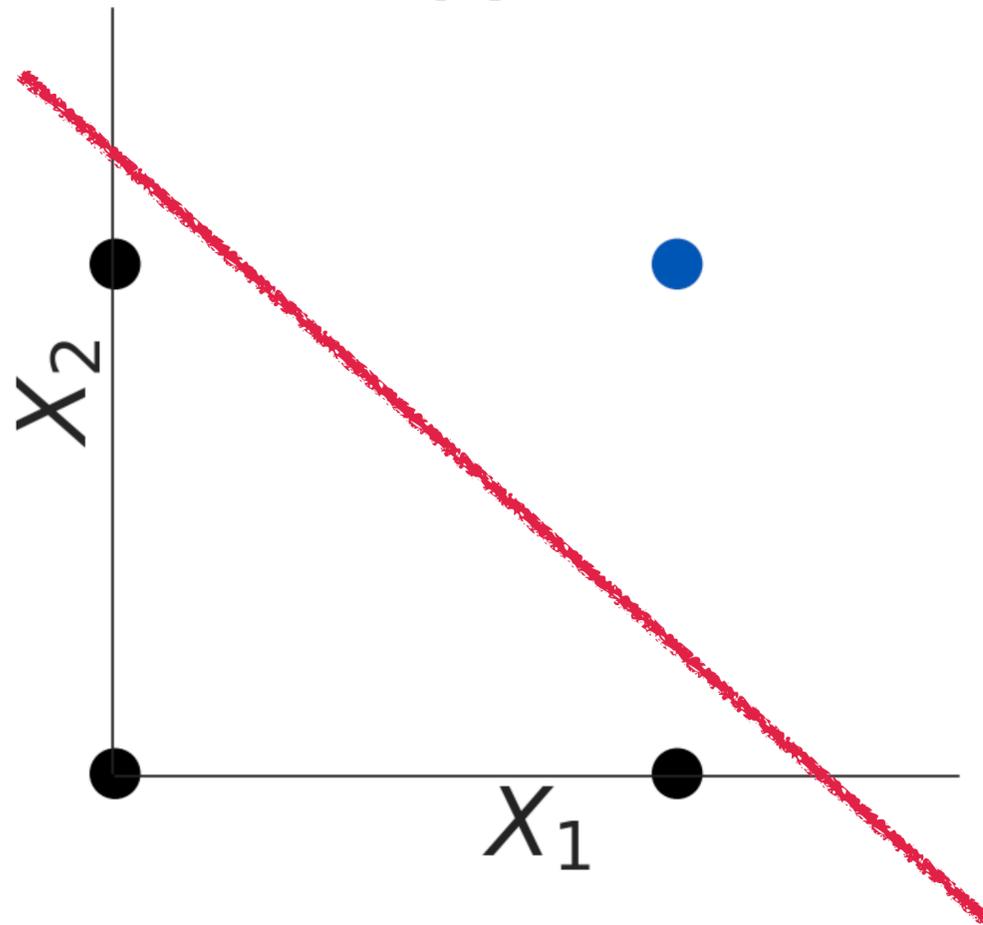
# Bellissimo... E lo XOR?

AND

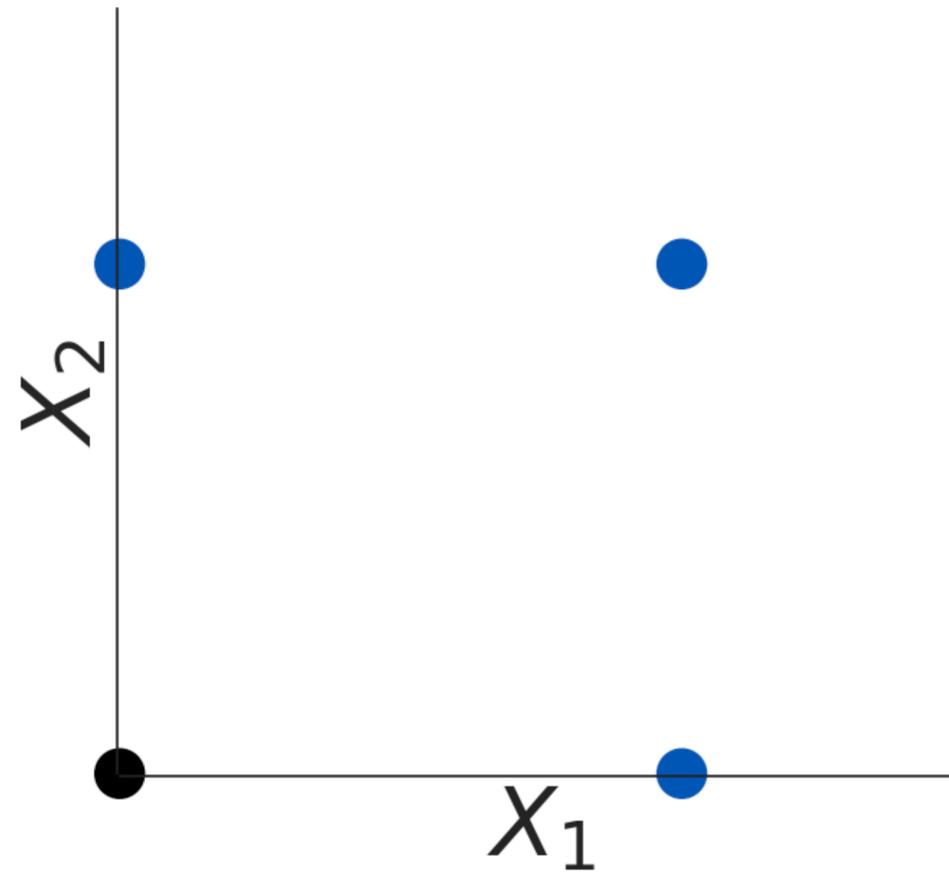


# Bellissimo... E lo XOR?

AND

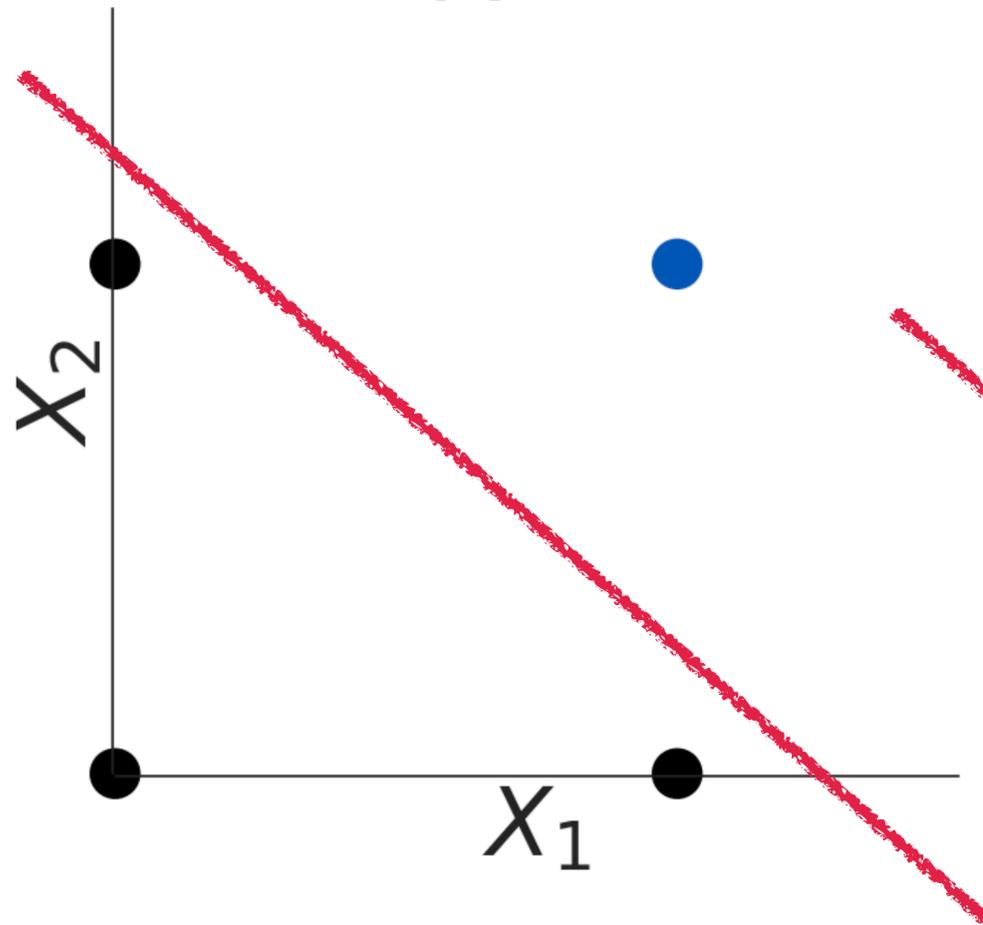


OR

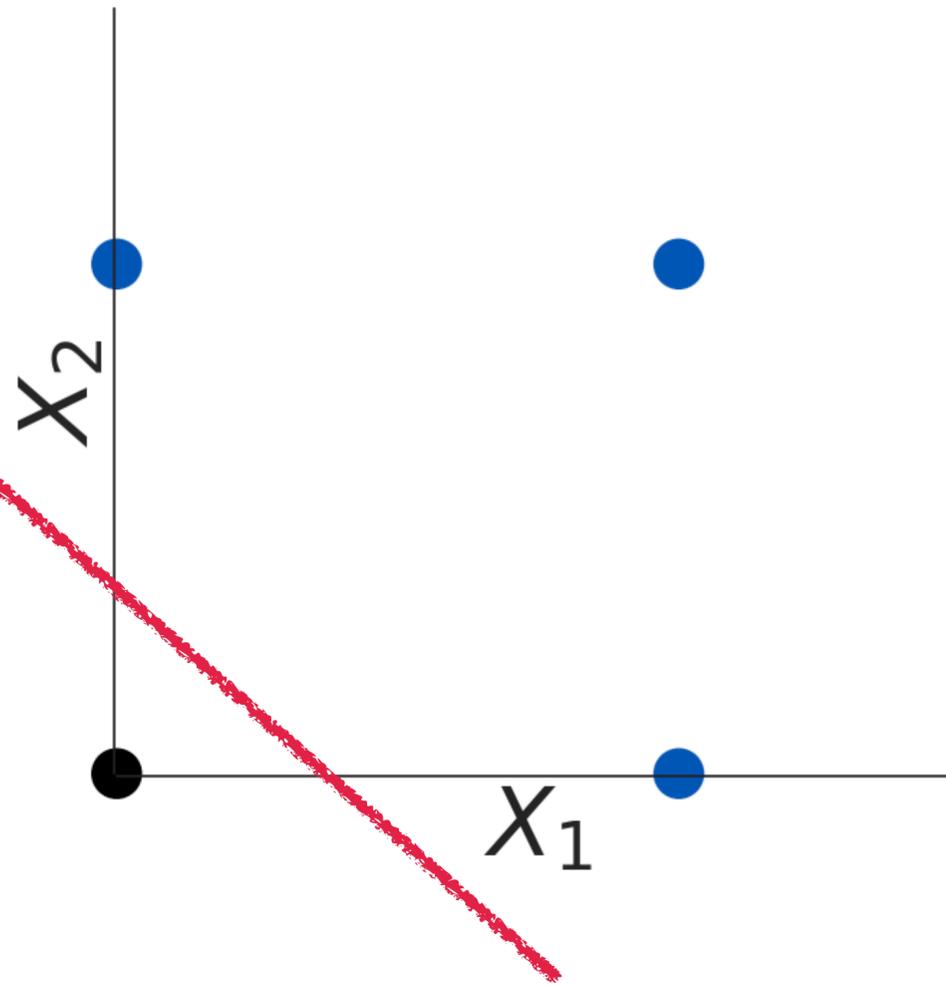


# Bellissimo... E lo XOR?

AND

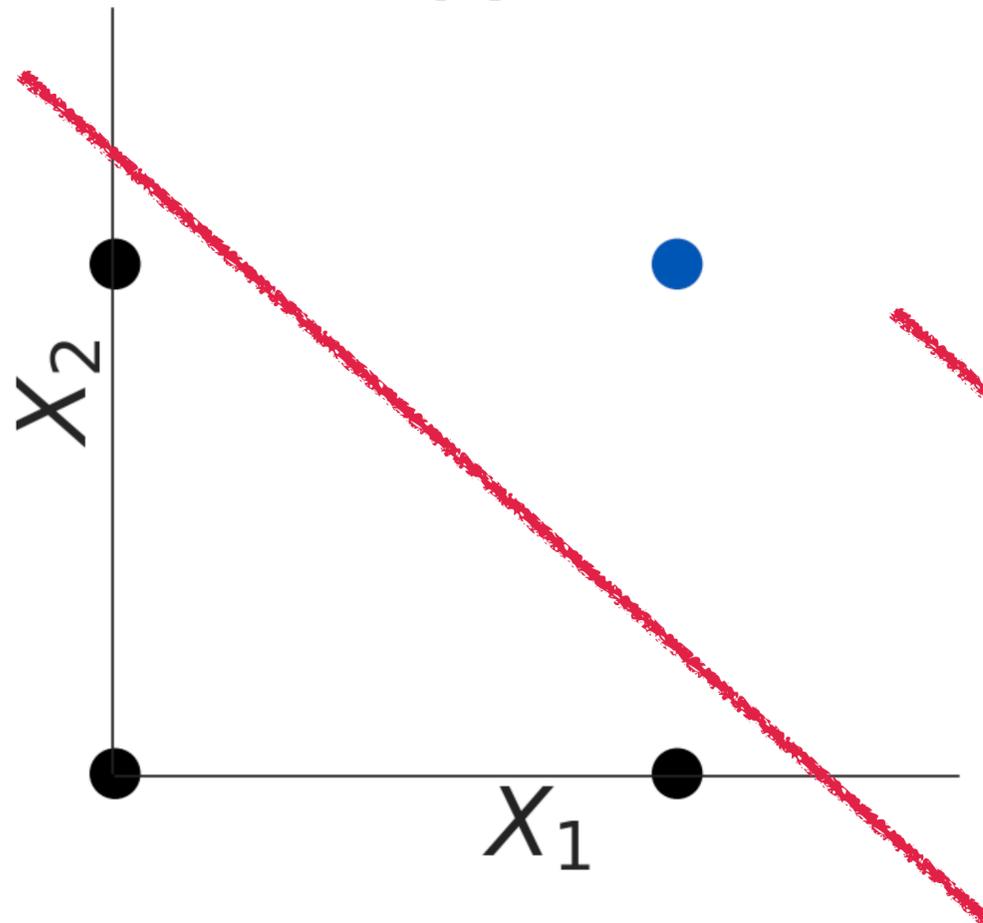


OR

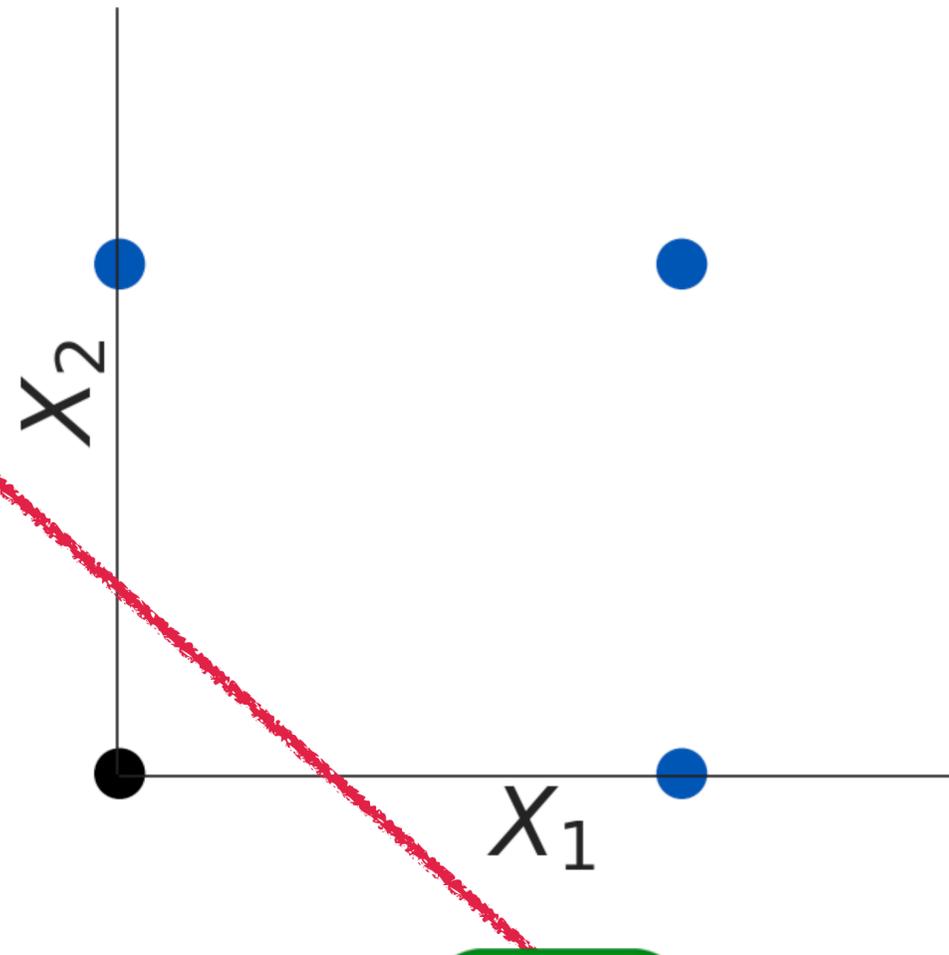


# Bellissimo... E lo XOR?

AND

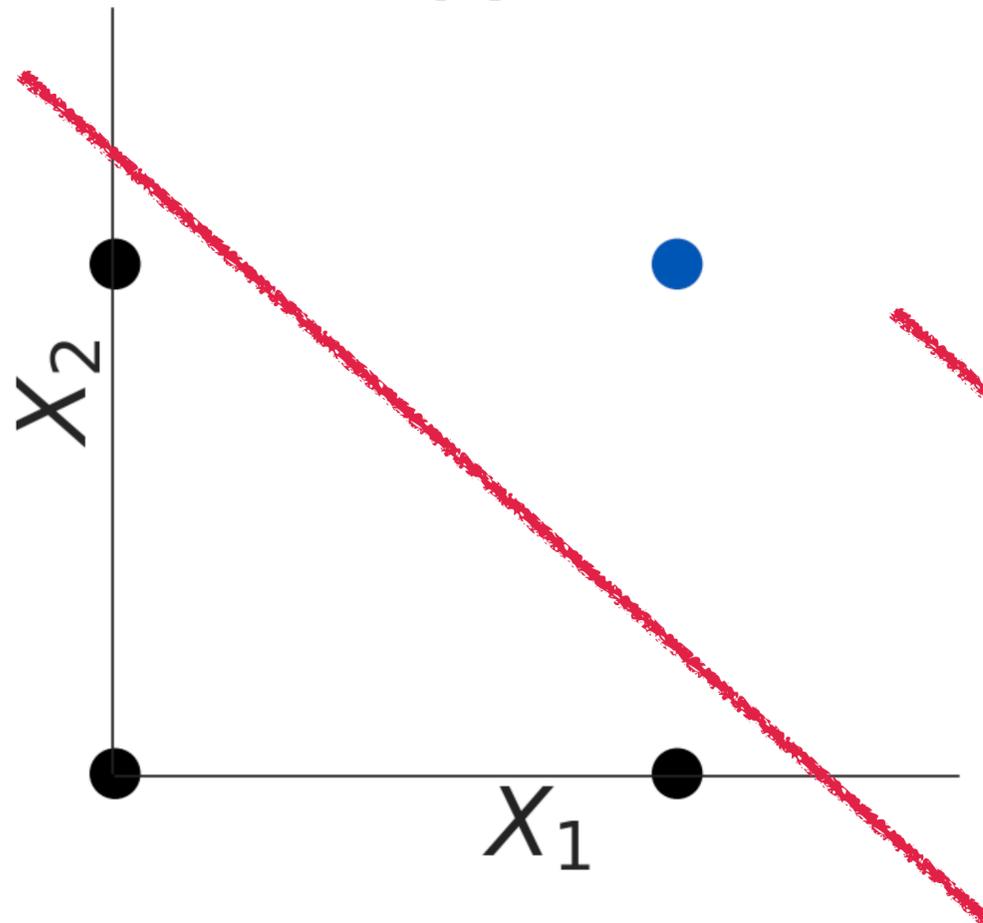


OR

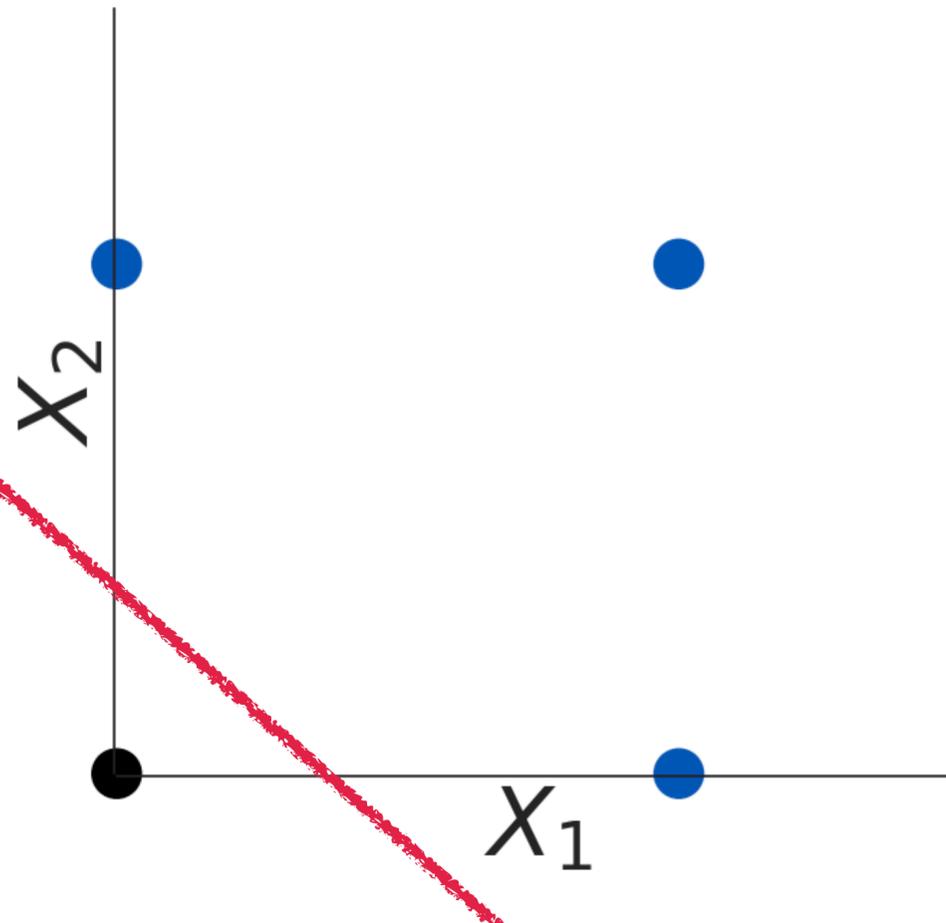


# Bellissimo... E lo XOR?

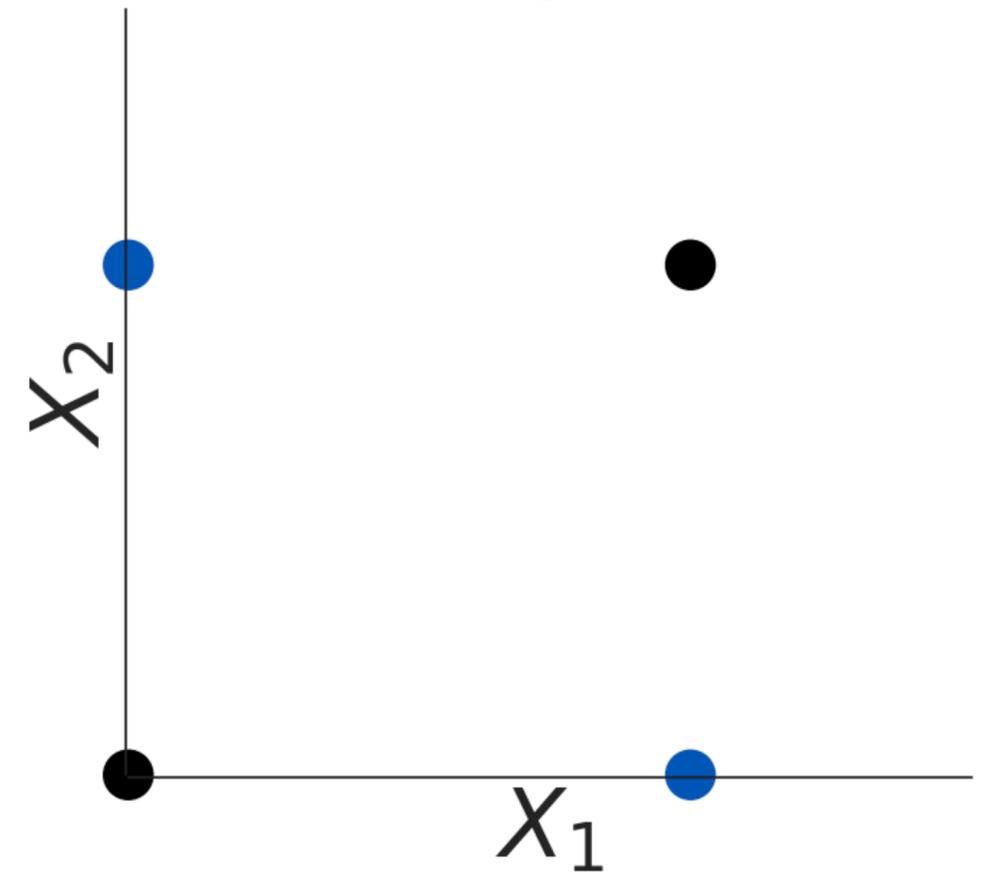
AND



OR

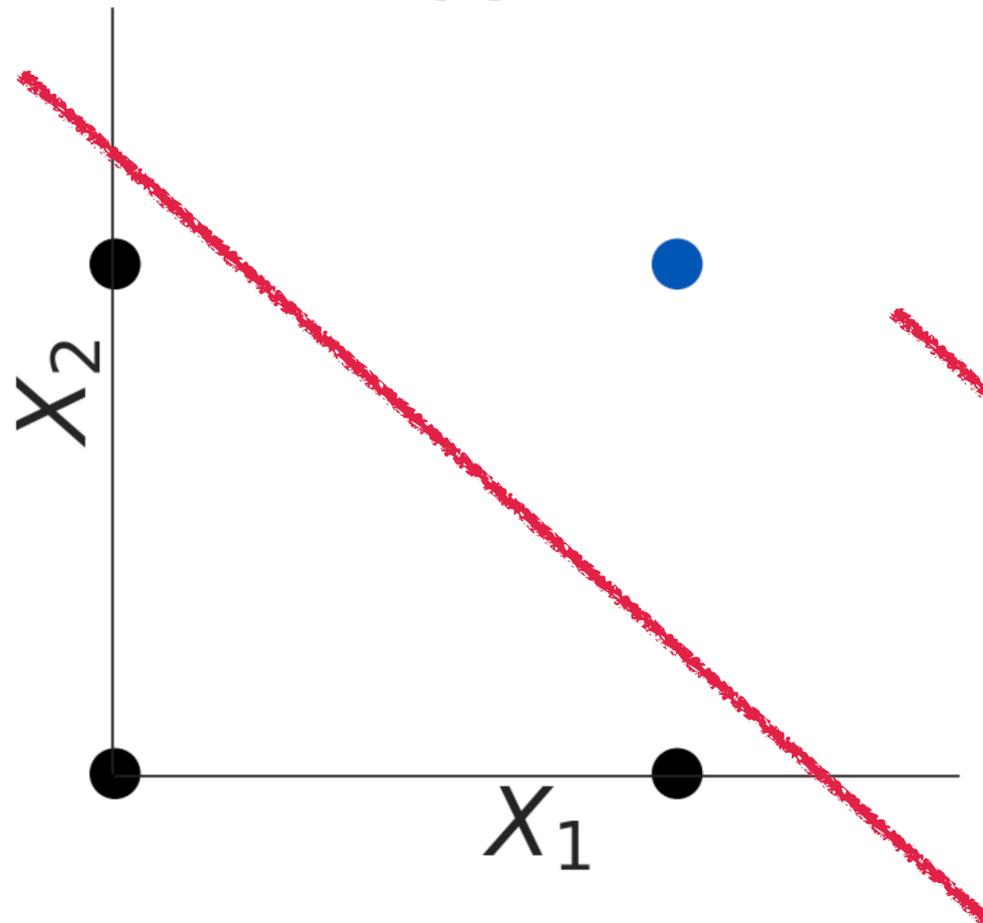


XOR

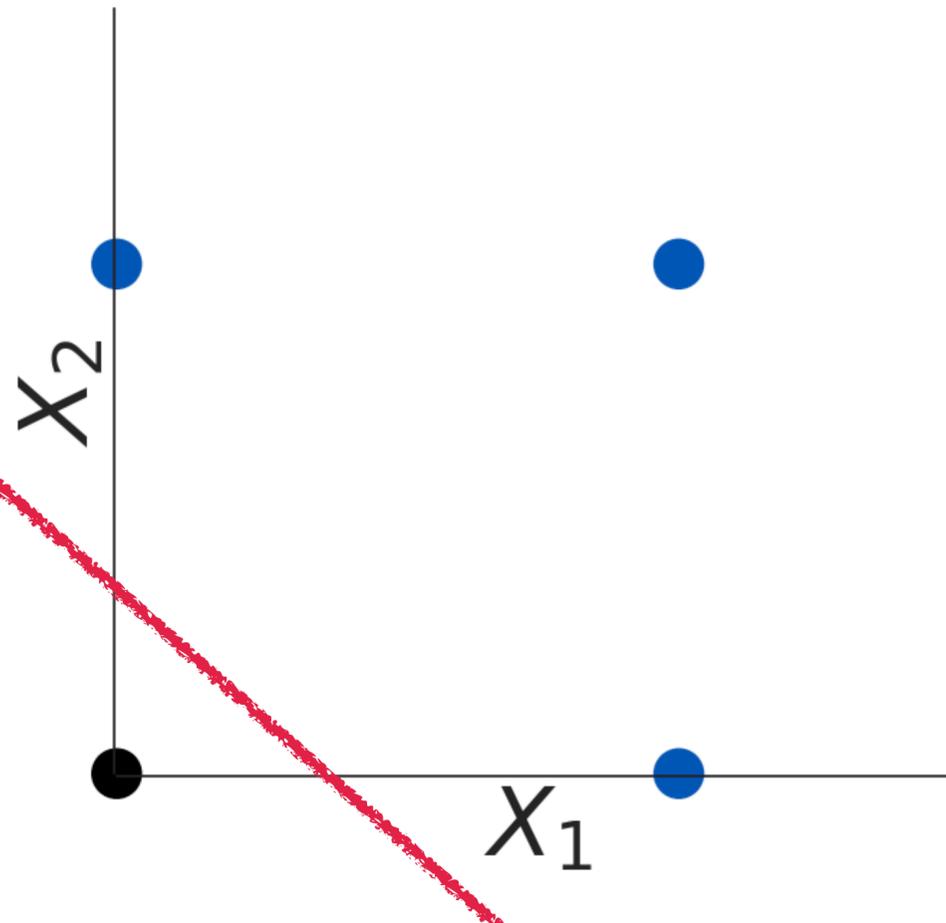


# Bellissimo... E lo XOR?

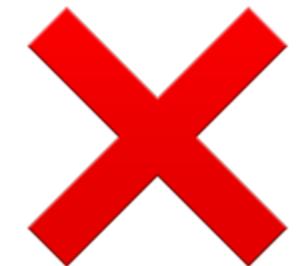
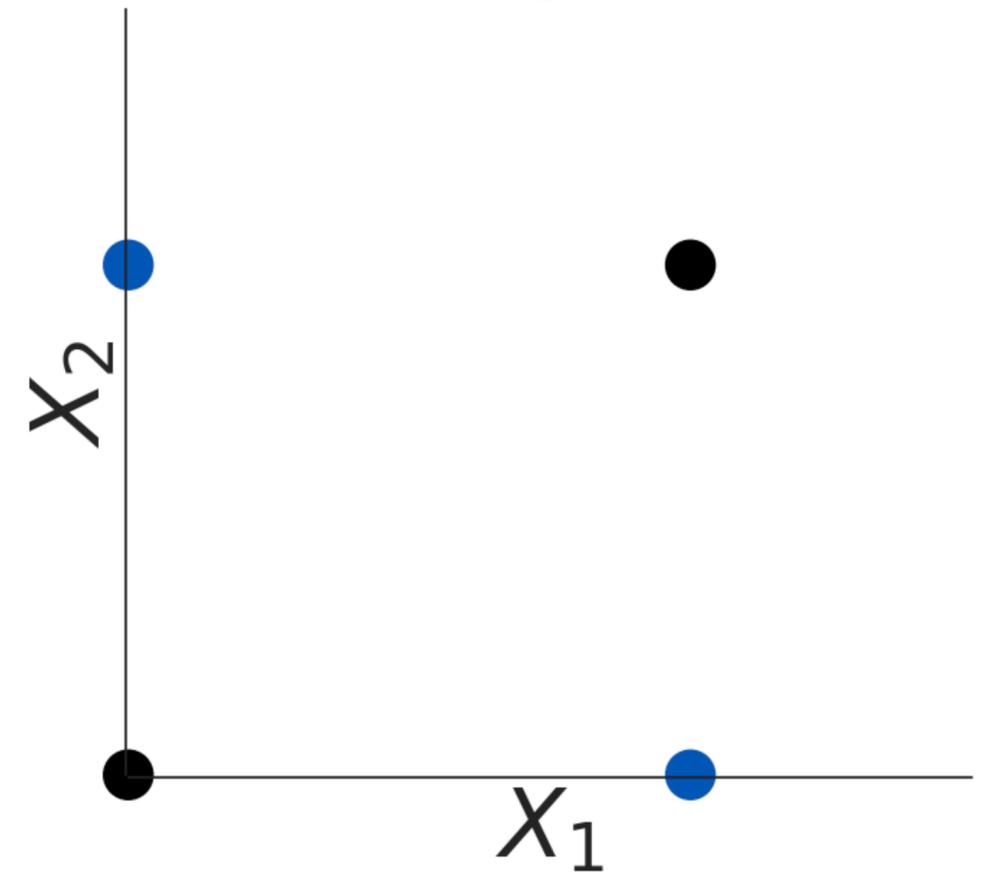
AND



OR

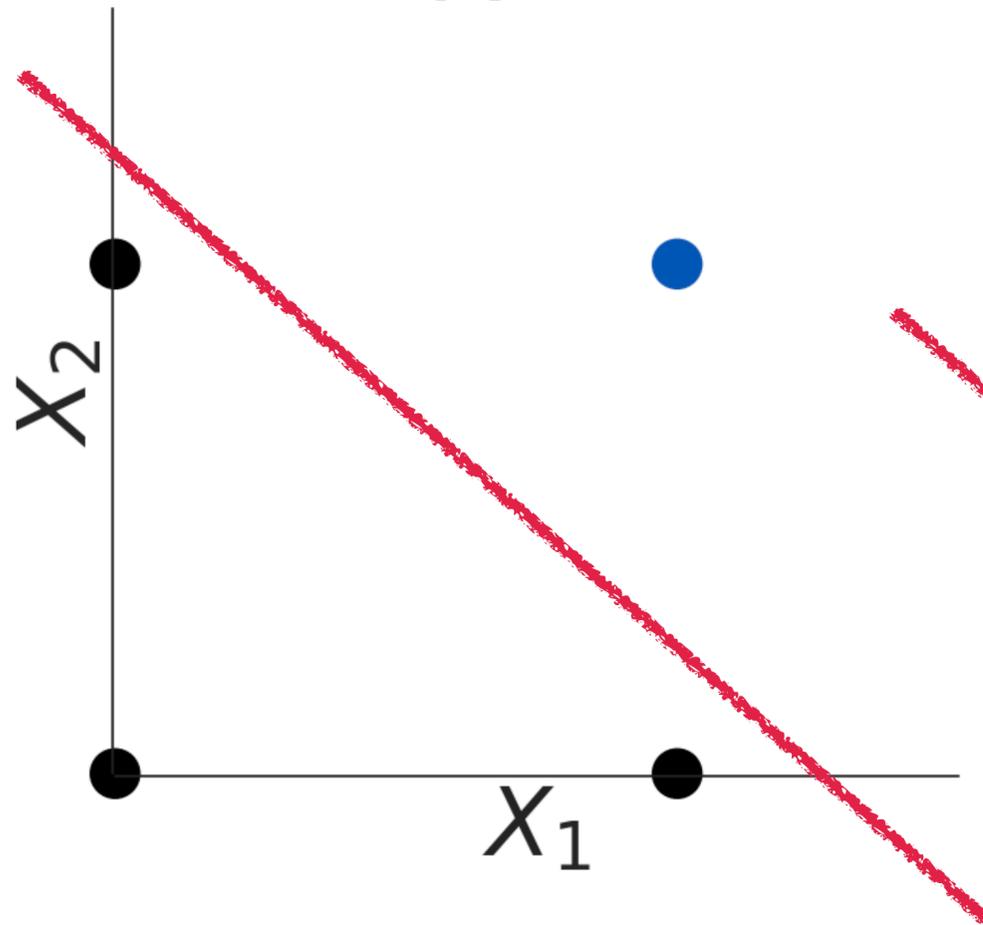


XOR

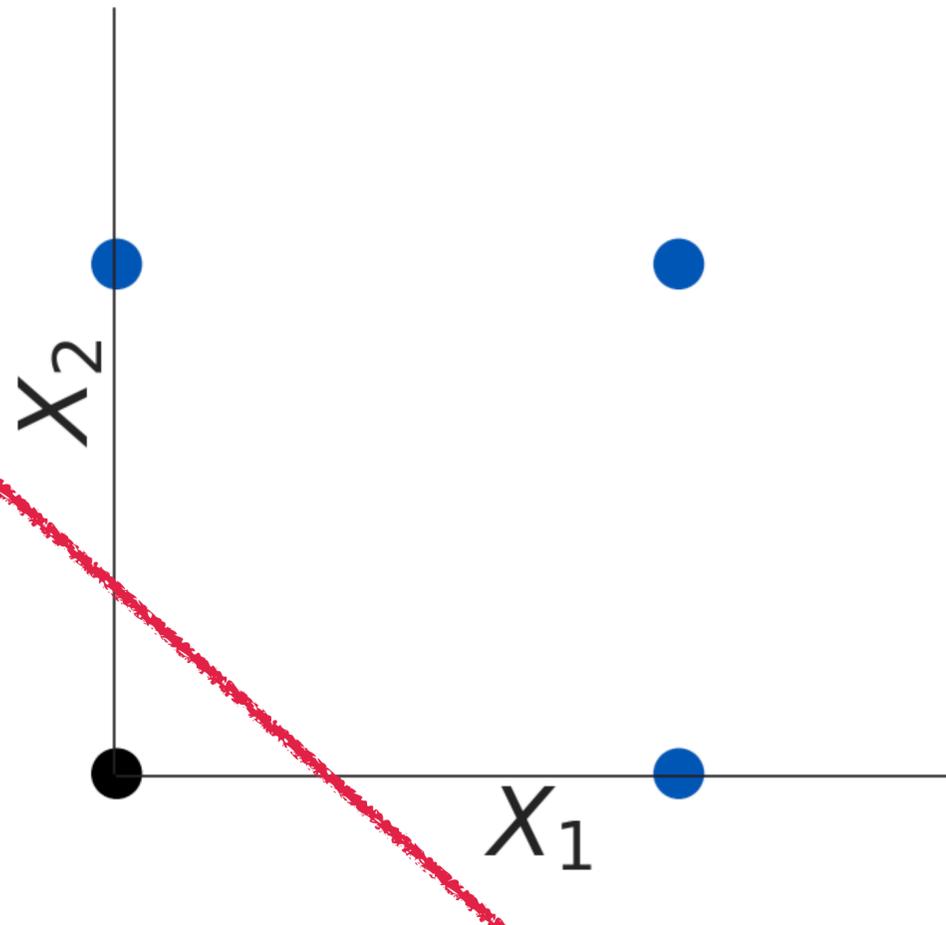


# Bellissimo... E lo XOR?

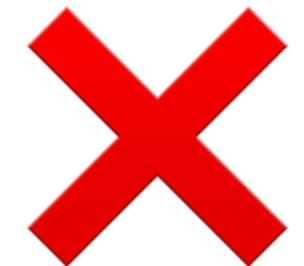
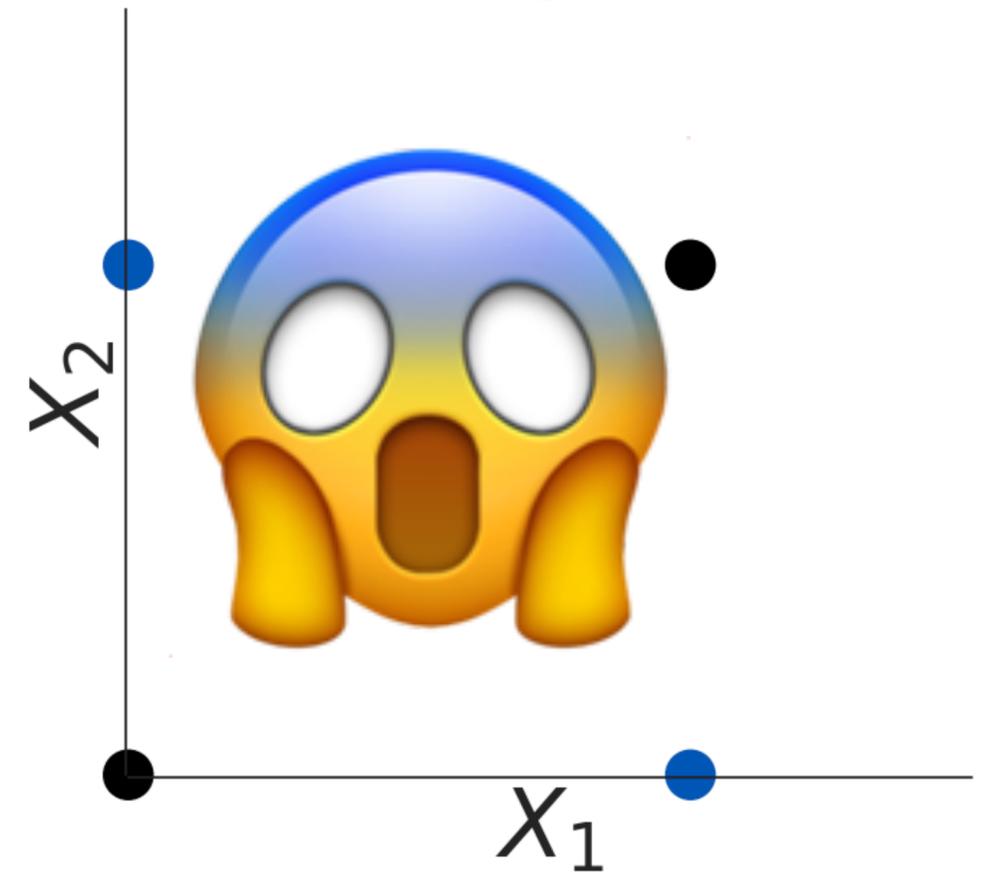
AND



OR

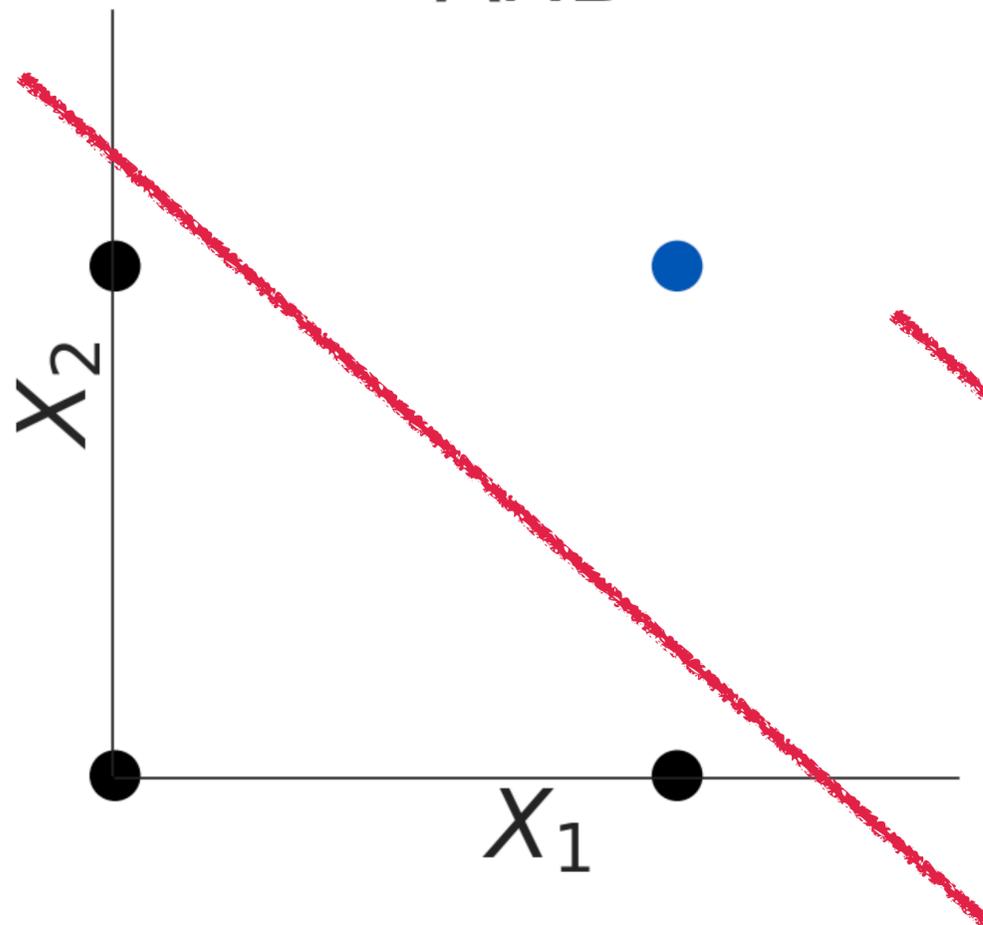


XOR

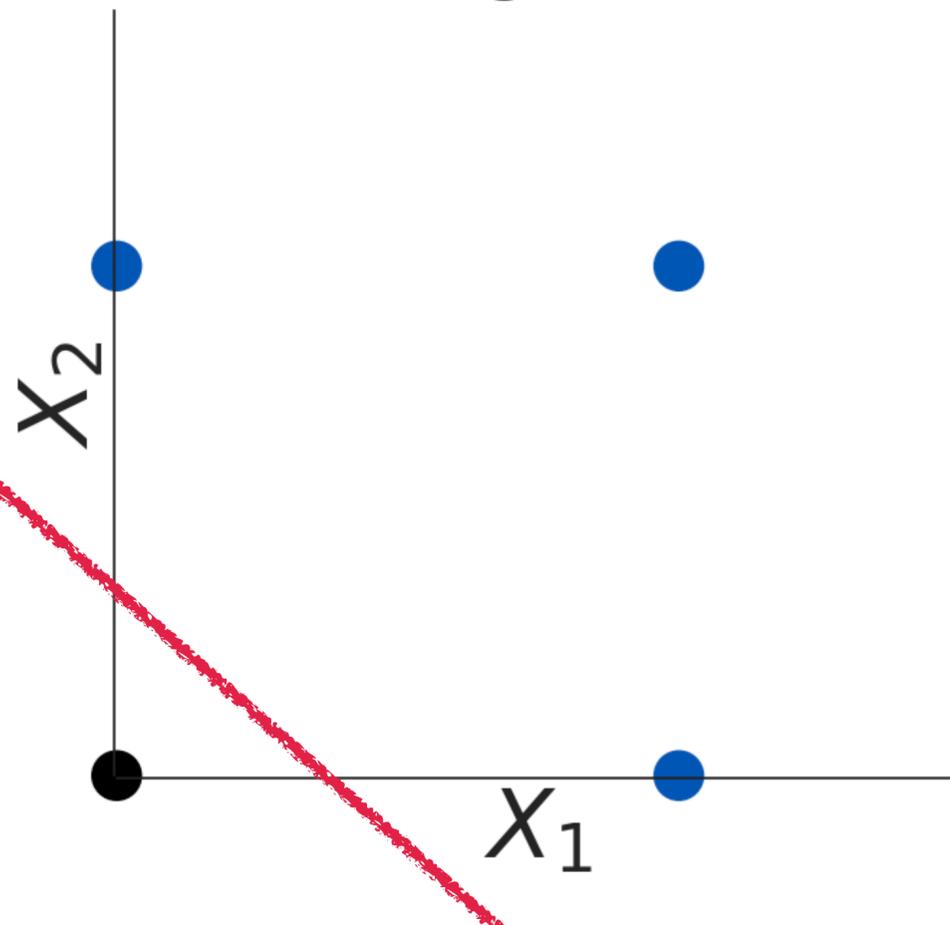


# Bellissimo... E lo XOR?

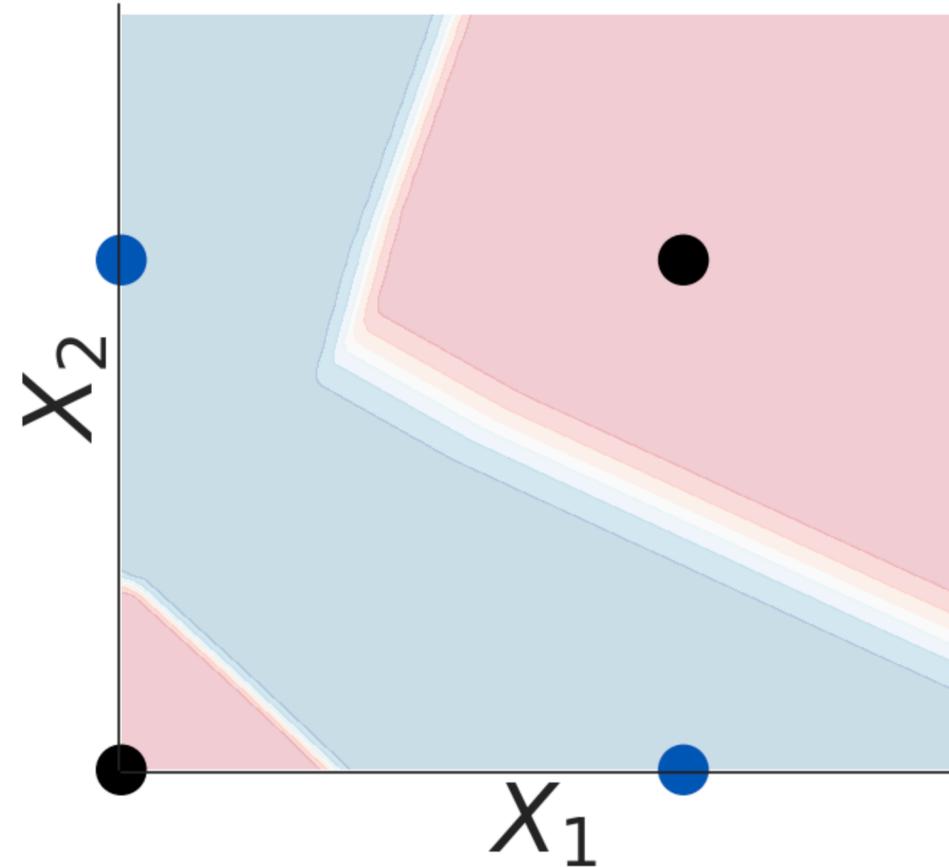
AND



OR



XOR



**Come possiamo fare?**

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$

# Come possiamo fare?

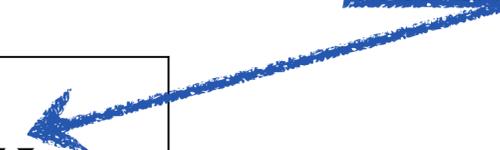
$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

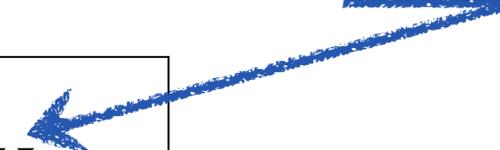
$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	



# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

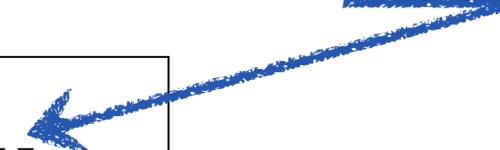
$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0



# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

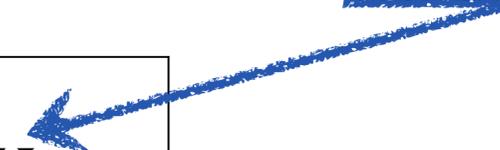
$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	



# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1



# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	0

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	0
1	1	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	0
1	1	1

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	0
1	1	1
1	1	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	0
1	1	1
1	1	1

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	0
1	1	1
1	1	1
1	0	

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

$X_1$	$X_2$	$Y_1$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$X_1$	$X_2$	$Y_2$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

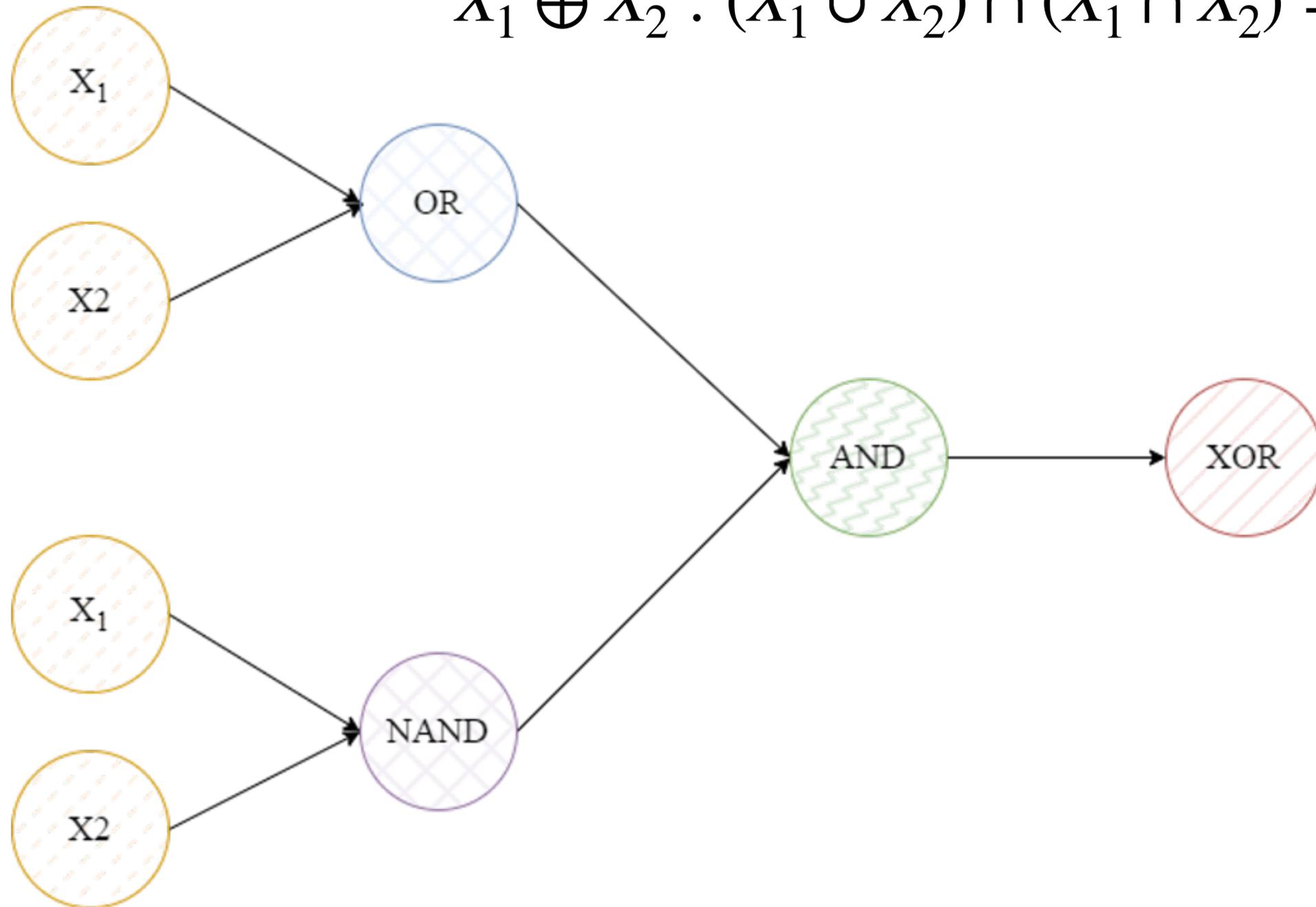
$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 \cap Y_2$
0	1	0
1	1	1
1	1	1
1	0	0

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

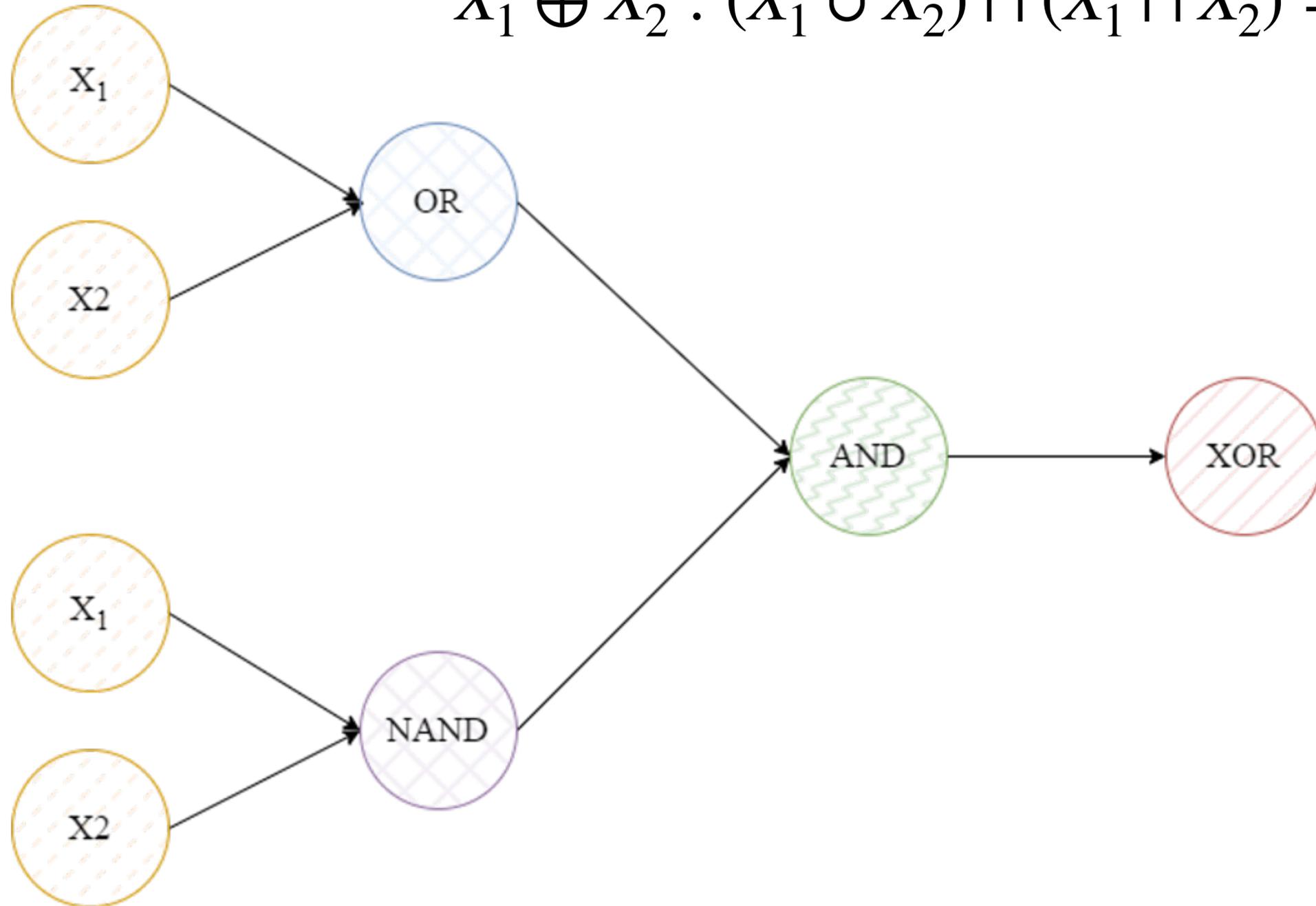
# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$



# Come possiamo fare?

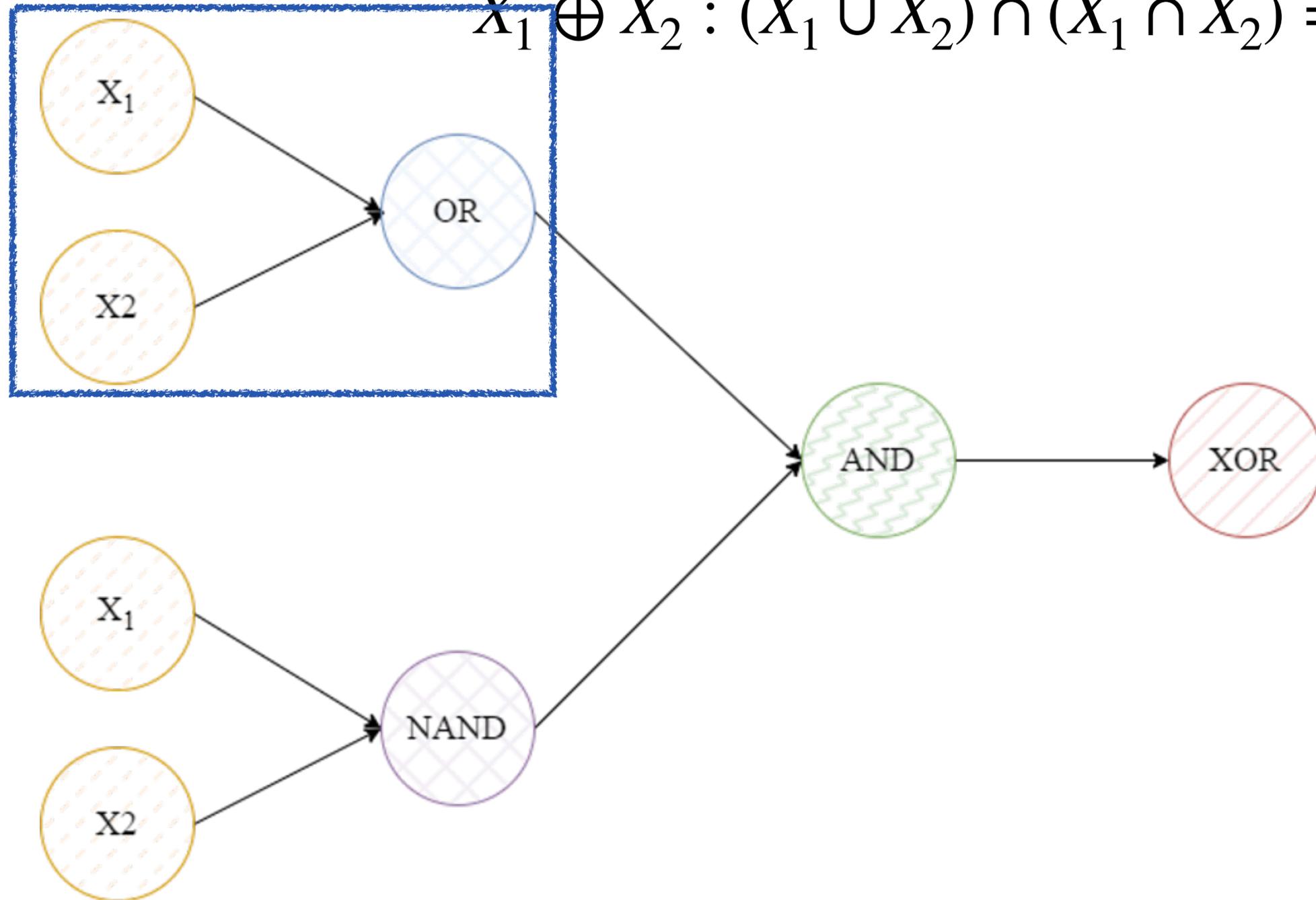
$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$



Tre percettroni

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

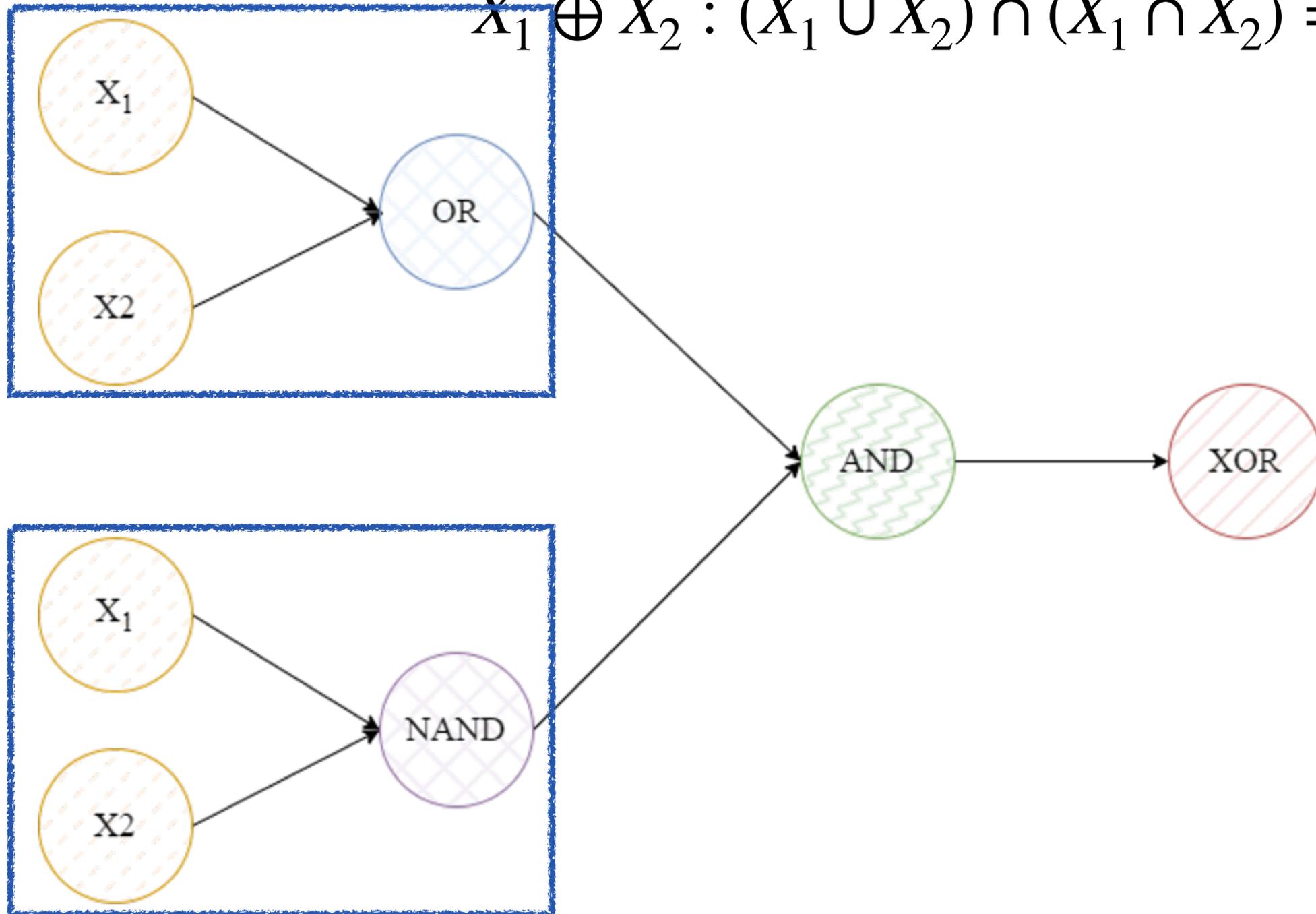


Tre percettroni

- Uno che impari l'OR

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$

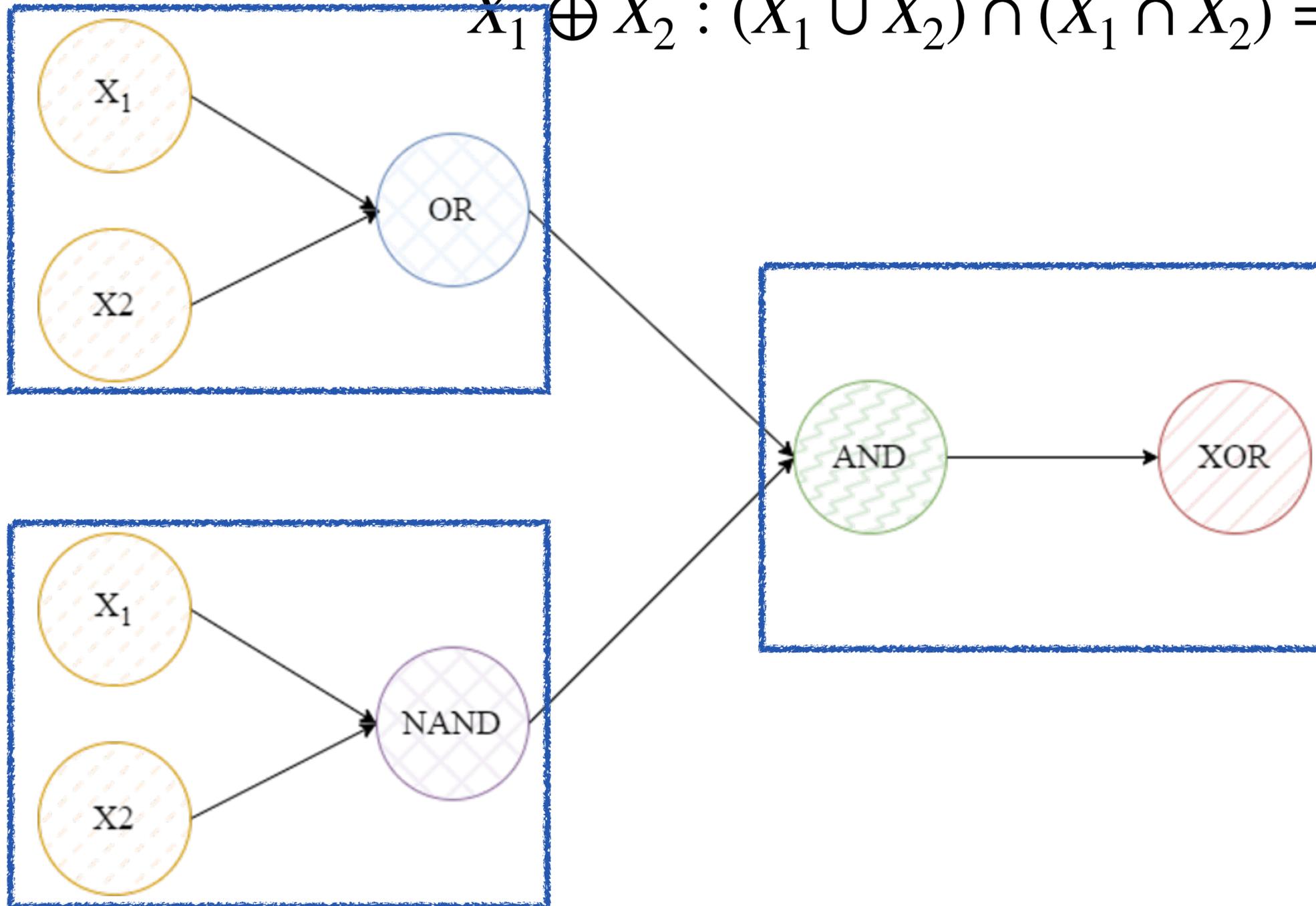


Tre percettroni

- Uno che impari l'OR
- Uno che impari il NAND

# Come possiamo fare?

$$X_1 \oplus X_2 : (X_1 \cup X_2) \cap \overline{(X_1 \cap X_2)} = (Y_1 \cap Y_2)$$



Tre percettroni

- Uno che impari l'OR
- Uno che impari il NAND
- Uno che impari l'AND

# Le famose reti neurali...

- Le **reti neurali** (*Neural Networks*) tentano di **imitare il cervello umano** attraverso una **combinazione di dati di *input*, pesi e *bias***
- I componenti principali di un **Percettrone Multistrato** (*Multi-layer Perceptron*, MLP) sono gli **stessi del singolo percettrone**
  - **Nodi di *input* e *output*, funzione di attivazione, pesi e *bias***

# Le famose reti neurali...

- Le **reti neurali** (*Neural Networks*) tentano di **imitare il cervello umano** attraverso una **combinazione di dati di *input*, pesi e *bias***
- I componenti principali di un **Percettrone Multistrato** (*Multi-layer Perceptron*, MLP) sono gli **stessi del singolo percettrone**
  - **Nodi di *input* e *output*, funzione di attivazione, pesi e *bias***

# Le famose reti neurali...

- Le **reti neurali** (*Neural Networks*) tentano di **imitare il cervello umano** attraverso una **combinazione di dati di *input*, pesi e *bias***
- I componenti principali di un **Percettrone Multistrato** (*Multi-layer Perceptron*, MLP) sono gli **stessi del singolo percettrone**
  - **Nodi di *input* e *output*, funzione di attivazione, pesi e *bias***
- Qual è la **differenza** più grande tra un **MLP e percettrone**?

# Le famose reti neurali...

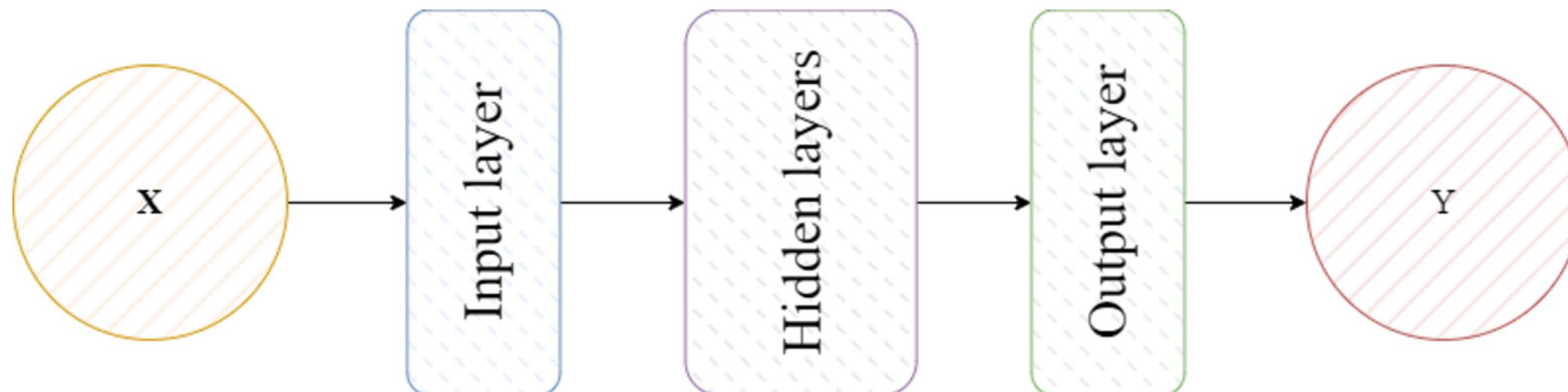
- Le **reti neurali** (*Neural Networks*) tentano di **imitare il cervello umano** attraverso una **combinazione di dati di *input*, pesi e *bias***
- I componenti principali di un **Percettrone Multistrato** (*Multi-layer Perceptron*, MLP) sono gli **stessi del singolo percettrone**
  - **Nodi di *input* e *output*, funzione di attivazione, pesi e *bias***
- Qual è la **differenza** più grande tra un **MLP e percettrone**?
  - Un **MLP** può avere dei **livelli nascosti** (*hidden layers*)

# Le famose reti neurali...

- Le **reti neurali** (*Neural Networks*) tentano di **imitare il cervello umano** attraverso una **combinazione di dati di *input*, pesi e *bias***
- I componenti principali di un **Percettrone Multistrato** (*Multi-layer Perceptron*, MLP) sono gli **stessi del singolo percettrone**
  - **Nodi di *input* e *output*, funzione di attivazione, pesi e *bias***
- Qual è la **differenza** più grande tra un **MLP e percettrone**?
  - Un **MLP** può avere dei **livelli nascosti** (*hidden layers*)
  - Un **MLP** è generalmente limitato a un **singolo livello nascosto**

# Le famose reti neurali...

- Gli **strati nascosti** consentono la **non linearità**
  - Un **nodo** in un **livello nascosto** è simile a un **nodo** di **output**
  - Un **nodo** è **connesso** ai **nodi** del **livello precedente**
- Le **connessioni** tra i **nodi non** formano **cicli** —> *Feedforward Neural Networks*
  - I **nodi** hanno i **propri pesi** e *bias*
  - Ogni **nodo** genera un **valore** calcolato utilizzando una **funzione di attivazione**



# Quattro storie sulle scienze computazionali

Artificial Intelligence,  
machine learning  
and the sciences

with **Marc Mezard**

# Quattro storie sulle scienze computazionali

Artificial Intelligence,  
machine learning  
and the sciences

with **Marc Mezard**

# Quattro storie sulle scienze computazionali

Natural Language  
Processing

with ***Dirk Hovy***

and ***Debora Nozza***

# Quattro storie sulle scienze computazionali

Natural Language  
Processing

with ***Dirk Hovy***

and ***Debora Nozza***

# Quattro storie sulle scienze computazionali

AI and bio-medicine

with **Francesca Buffa**

and **Andrea Tangherloni**

# Quattro storie sulle scienze computazionali

AI and bio-medicine

with **Francesca Buffa**

and **Andrea Tangherloni**

# Quattro storie sulle scienze computazionali

On the future  
of algorithms

with ***Luca Trevisan***

and ***Laura Sanità***

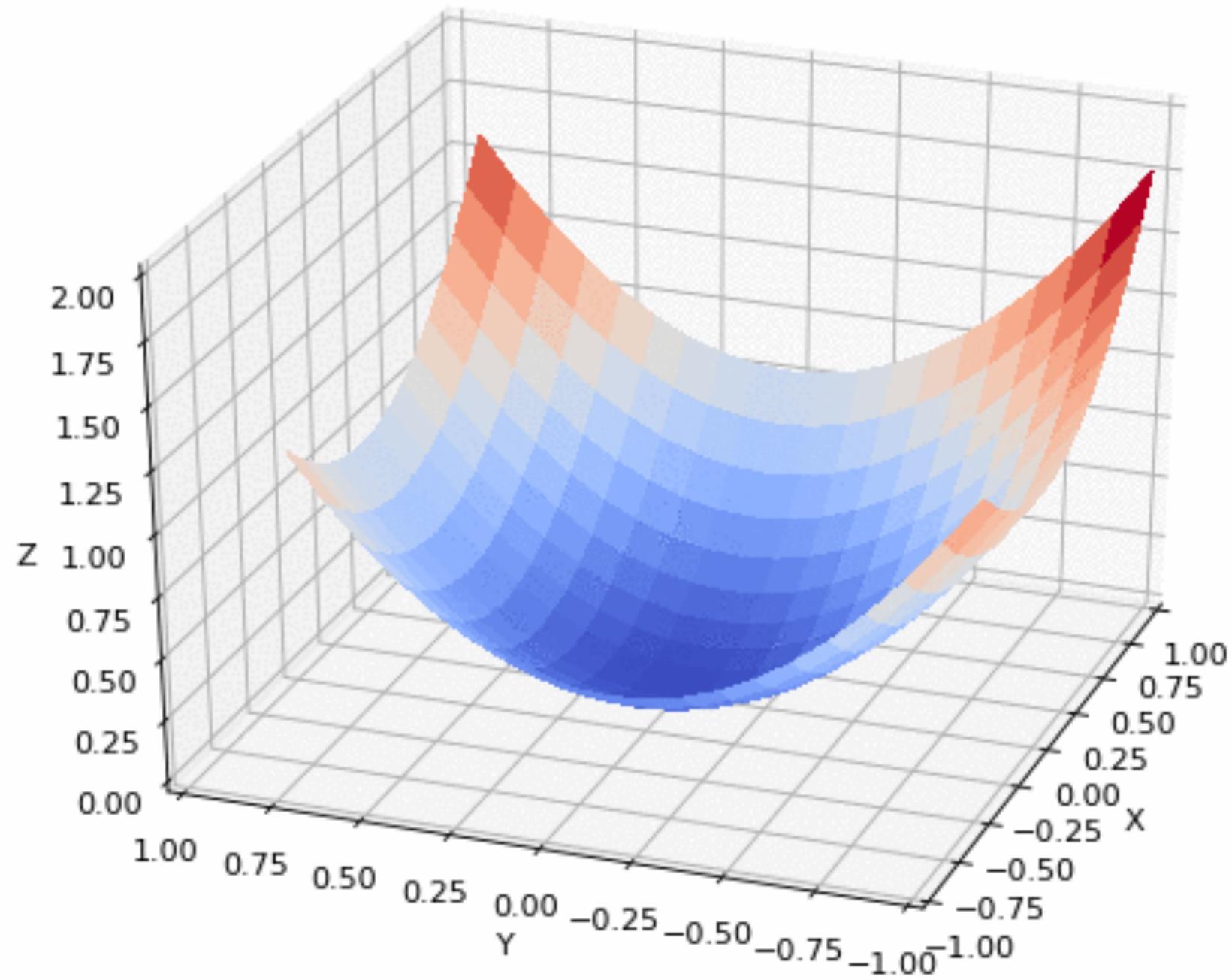
# Quattro storie sulle scienze computazionali

On the future  
of algorithms

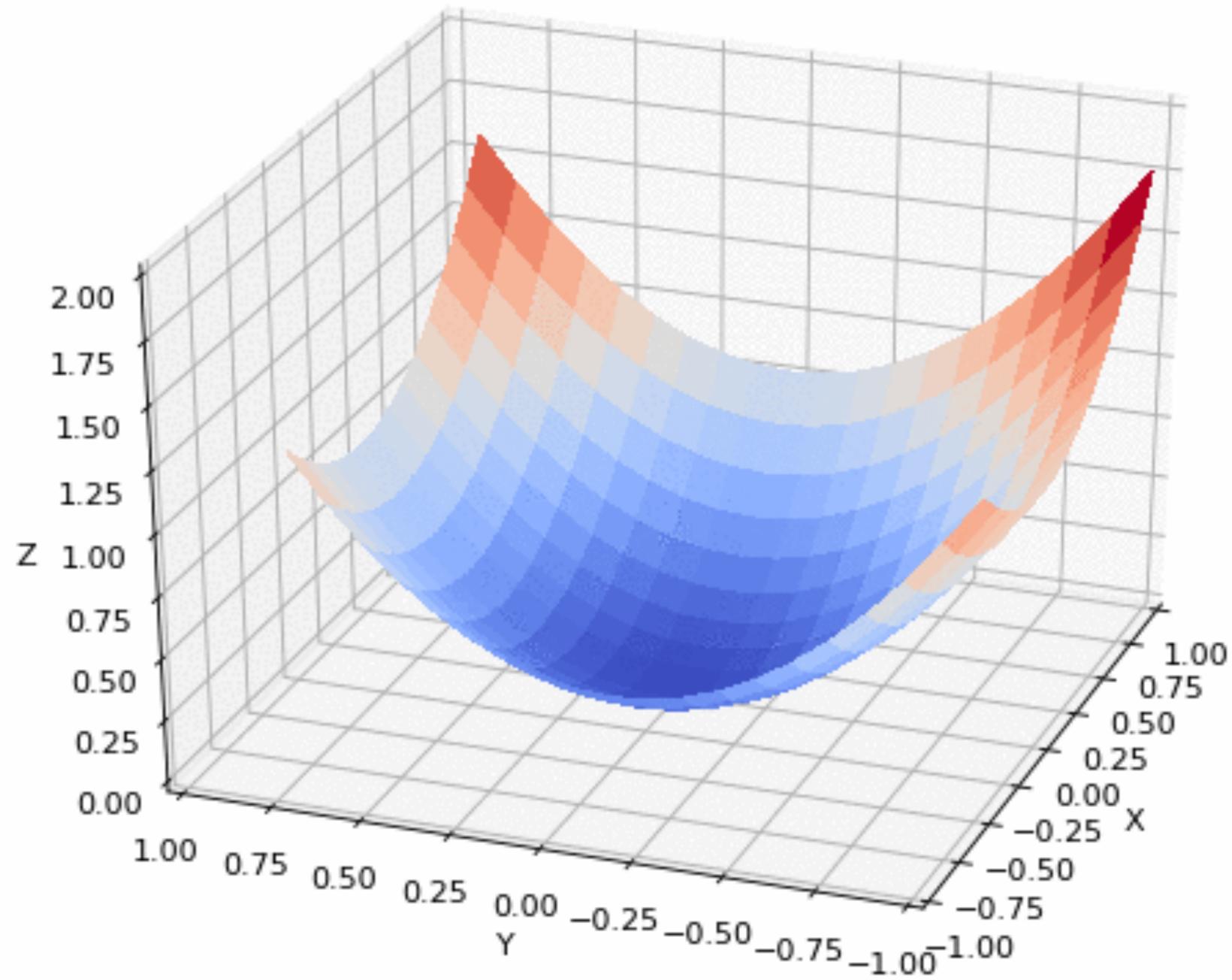
with ***Luca Trevisan***

and ***Laura Sanità***

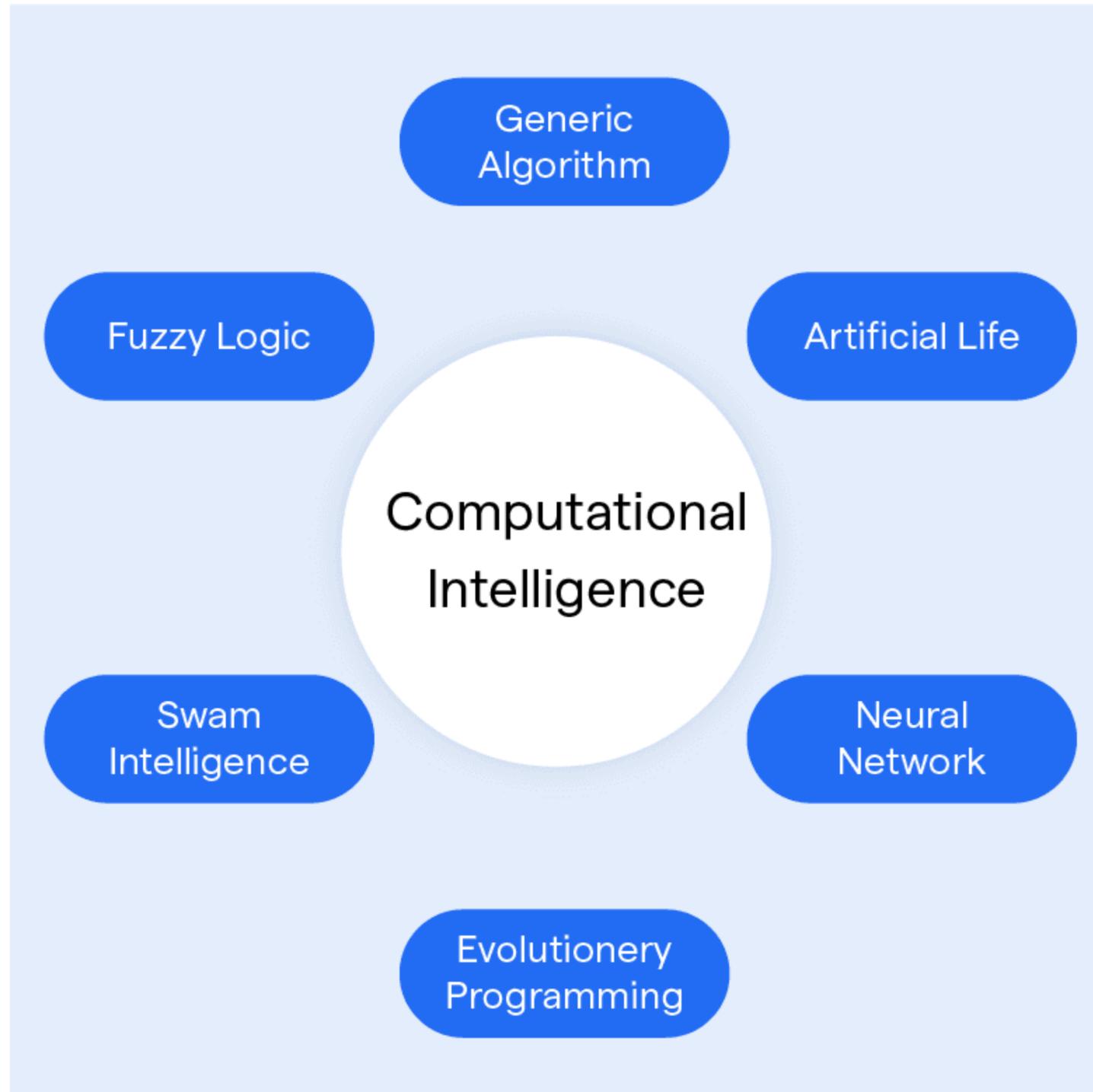
# Machine Learning... ma non solo



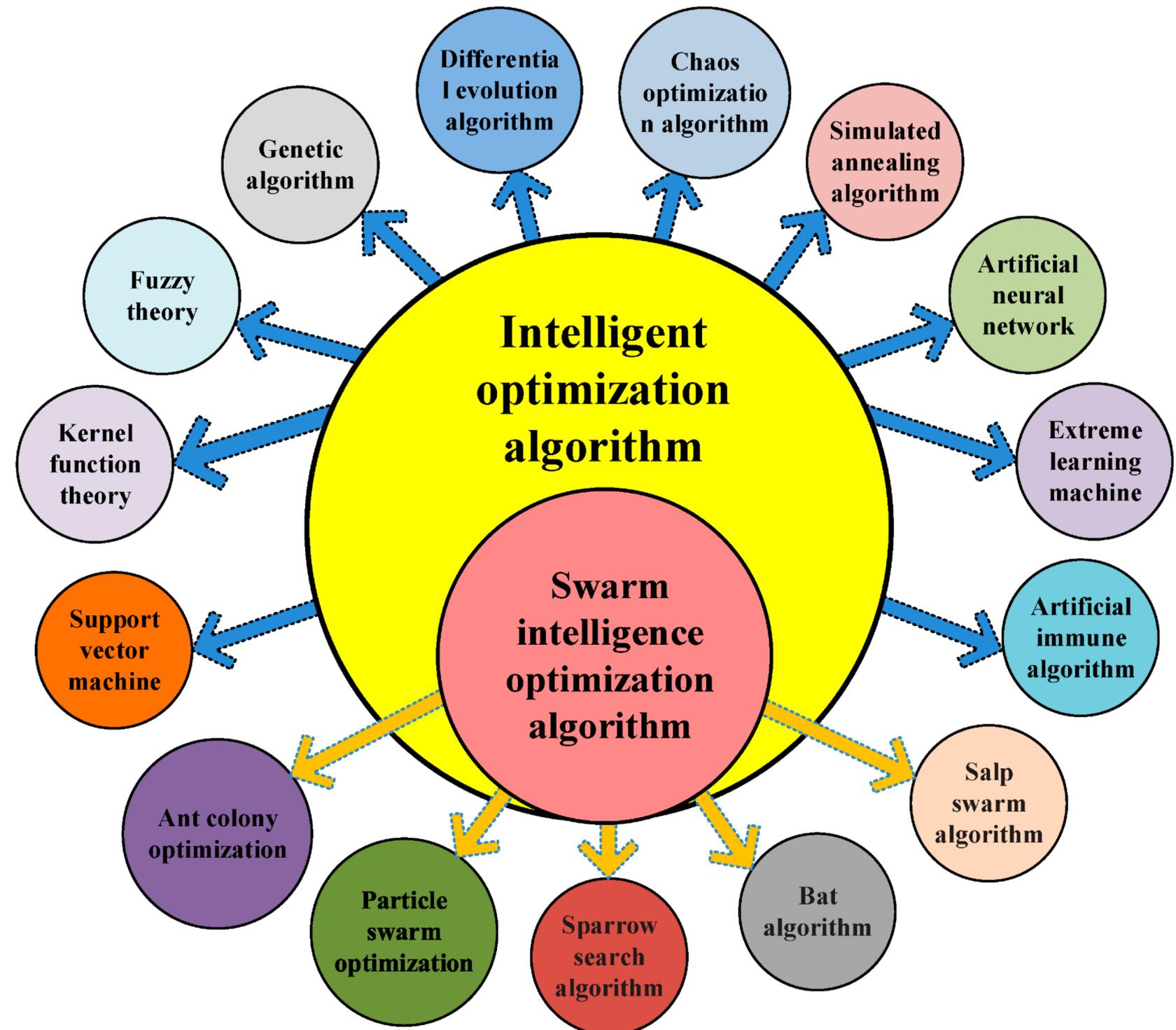
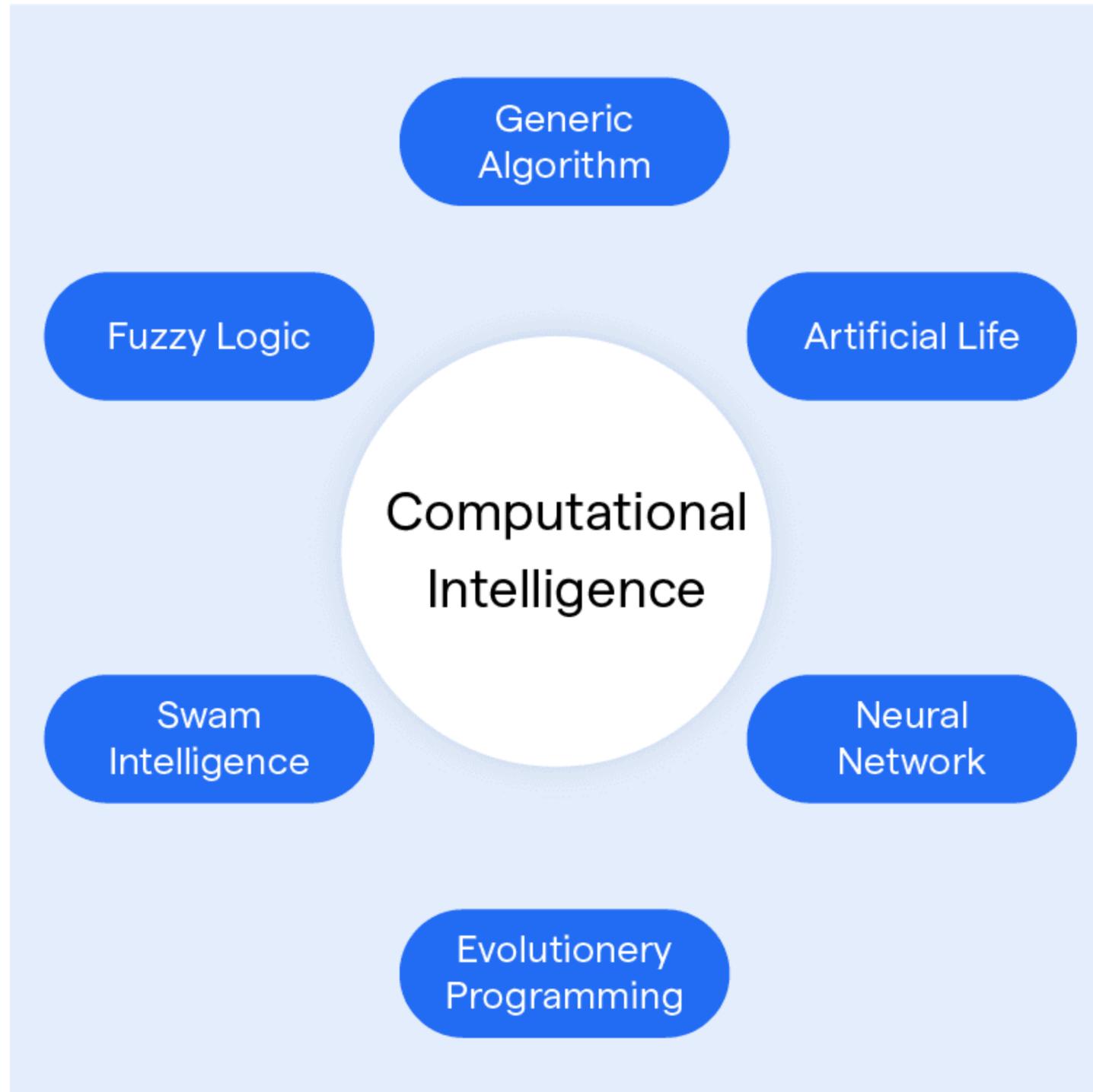
# Machine Learning... ma non solo



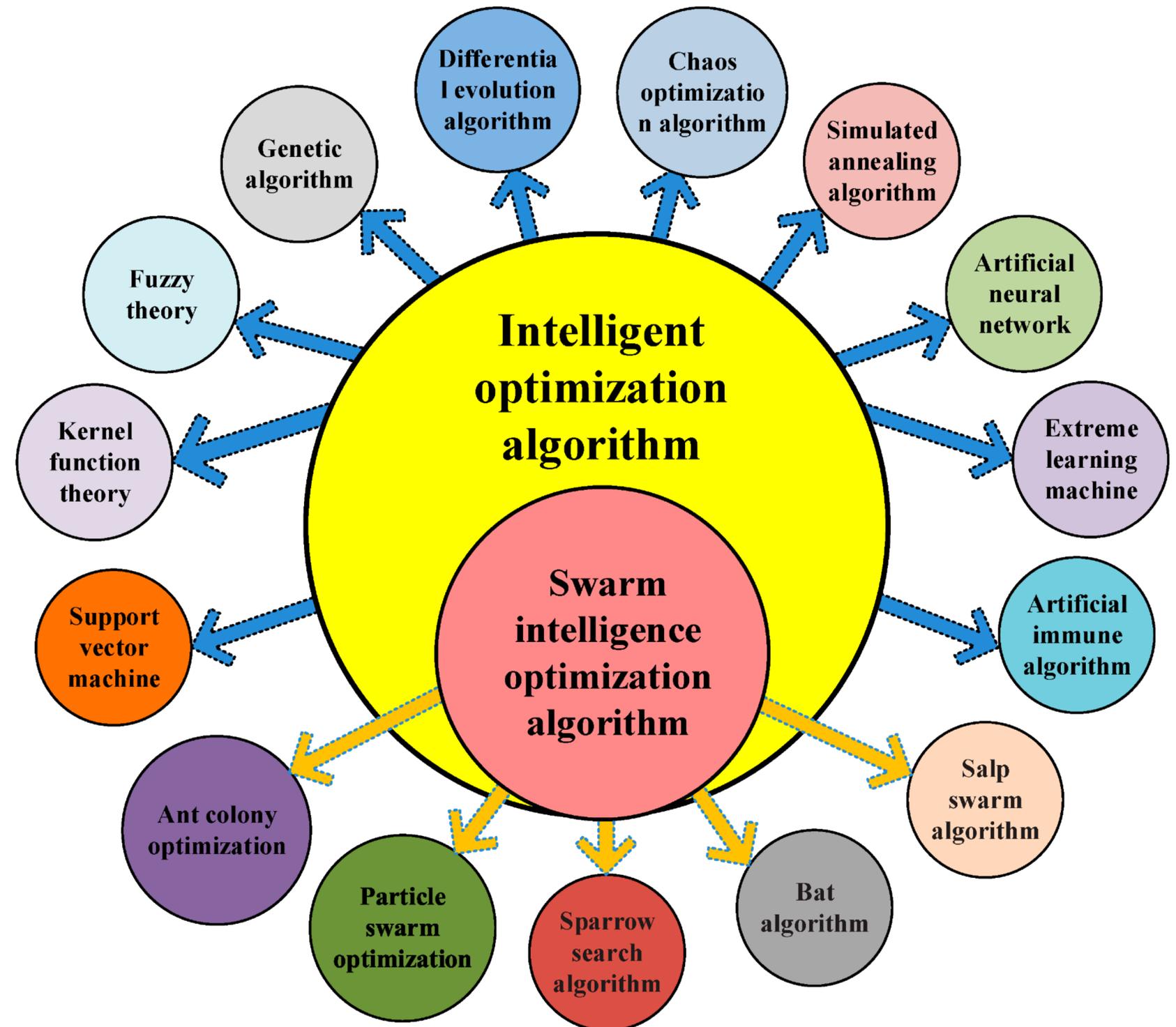
# Machine Learning... ma non solo



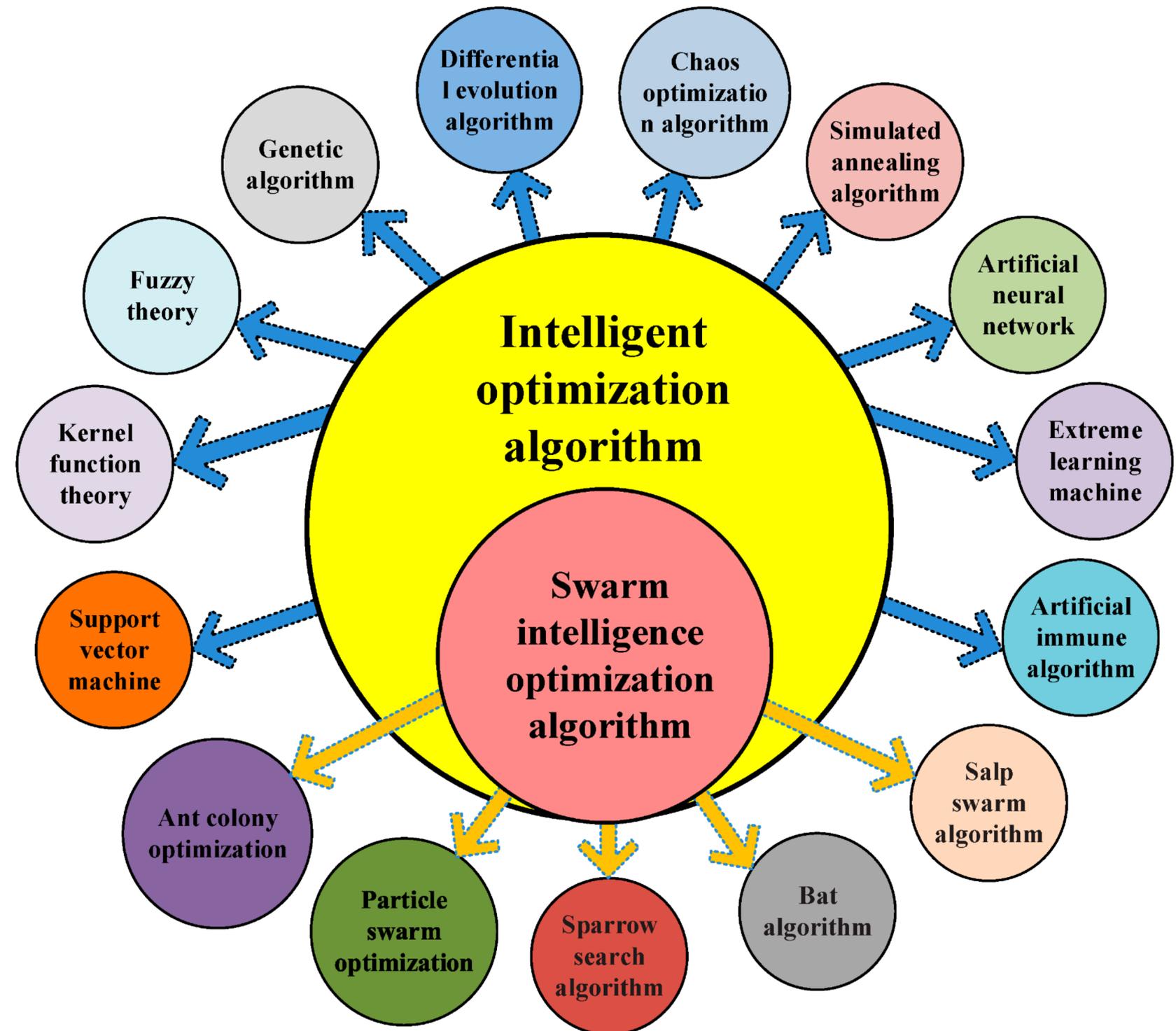
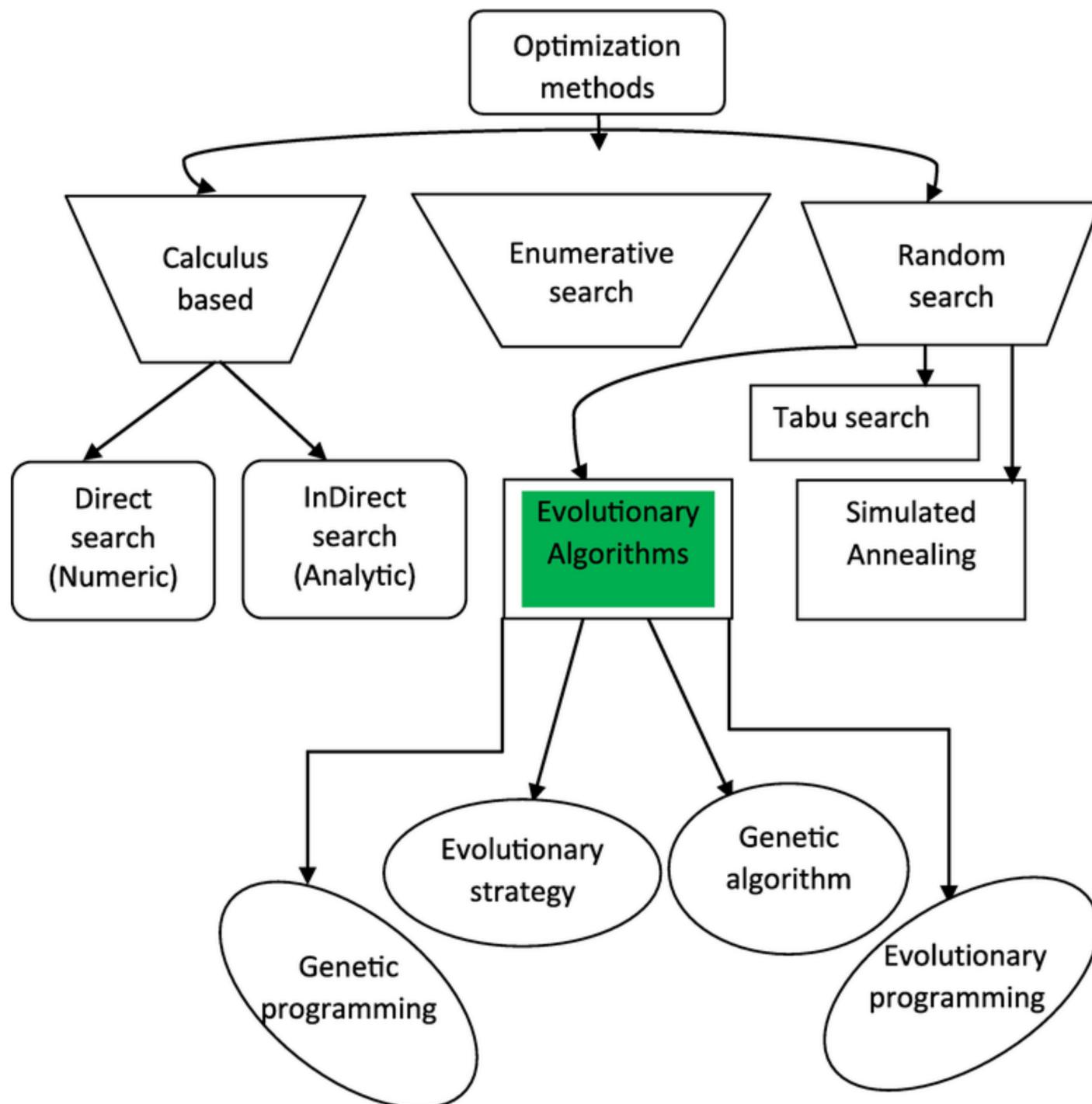
# Machine Learning... ma non solo



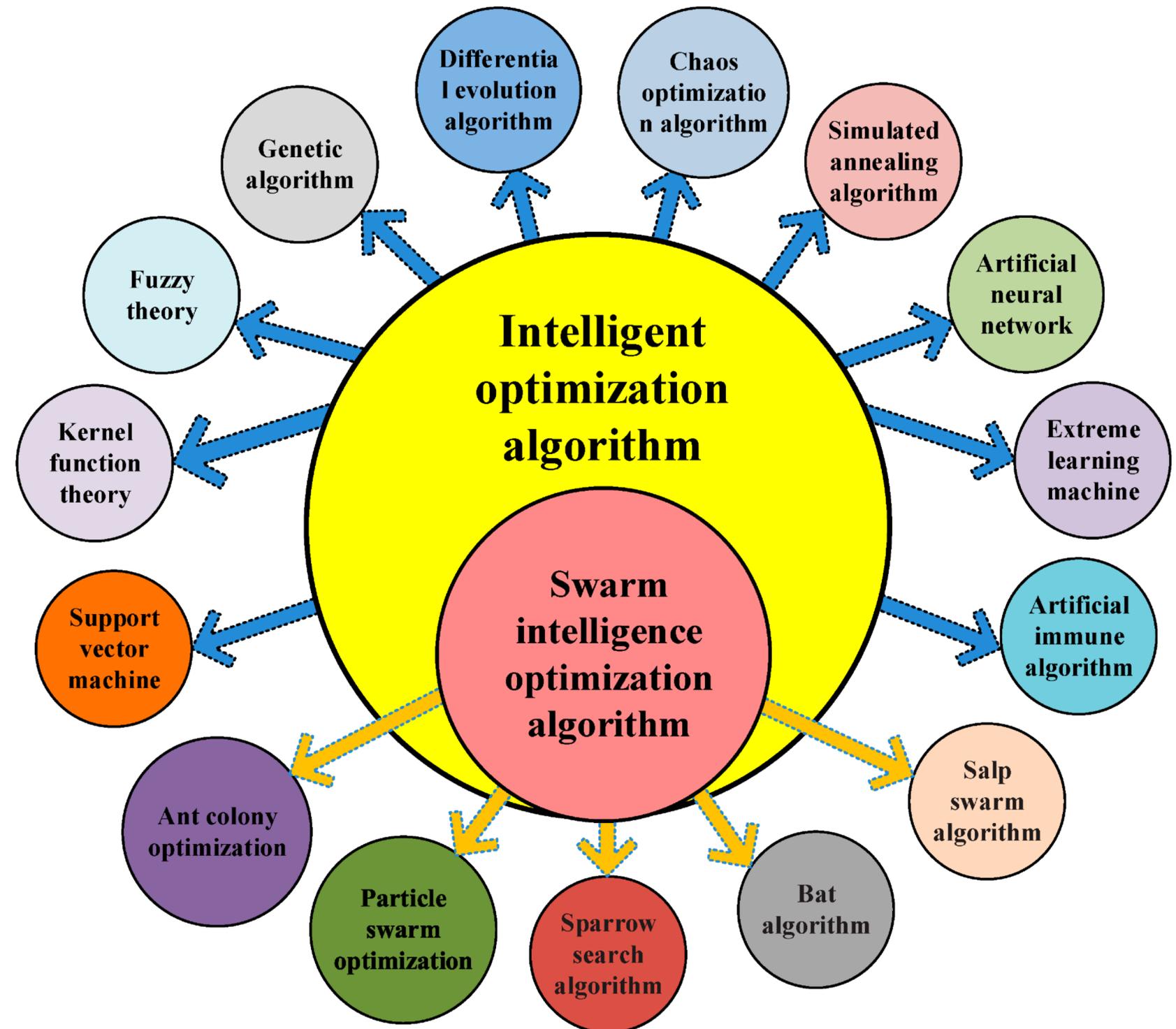
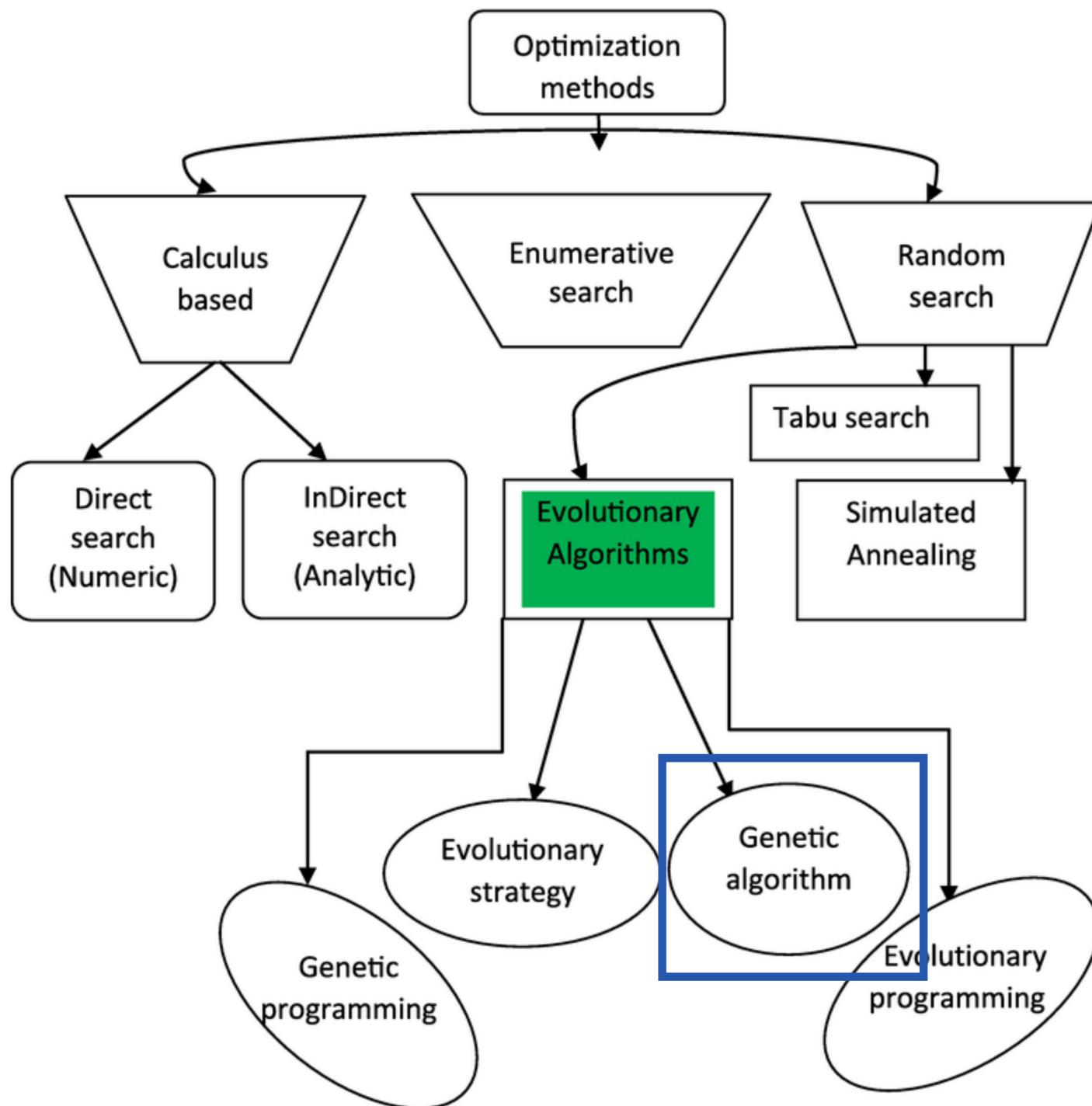
# Evolutionary Computation



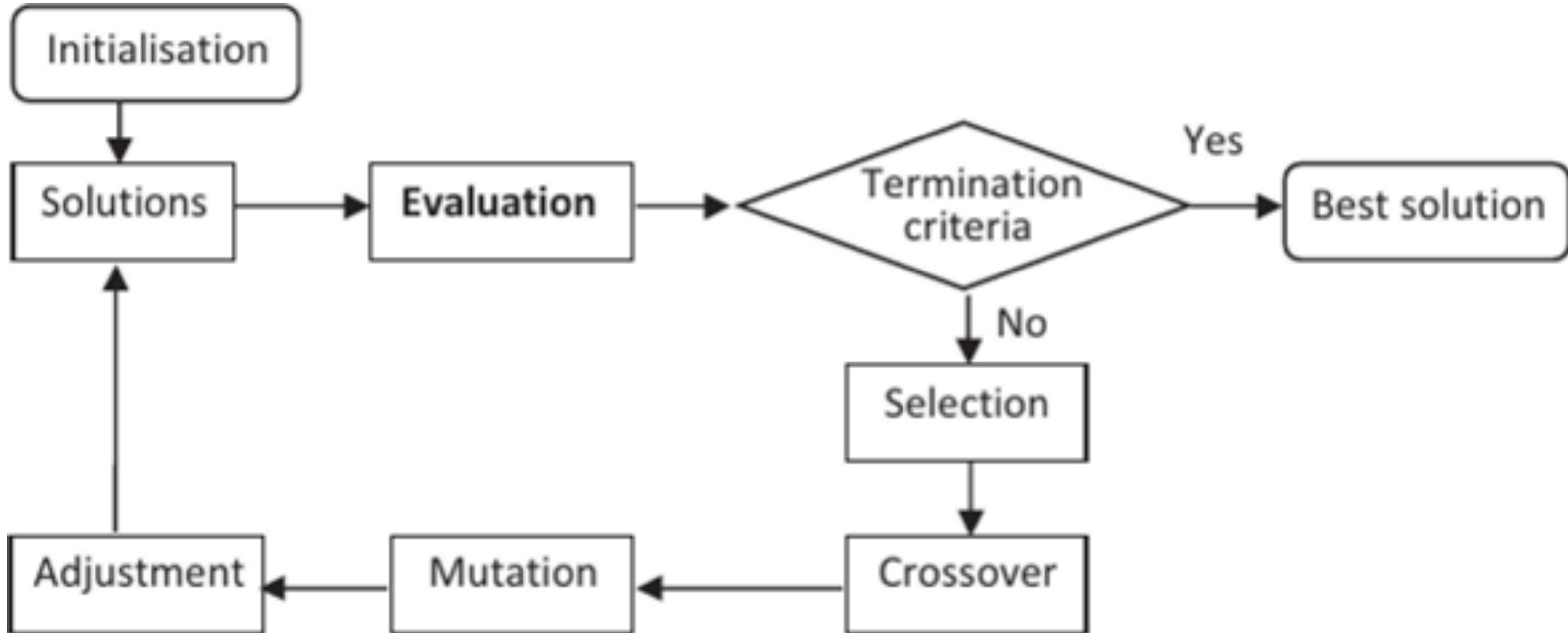
# Evolutionary Computation



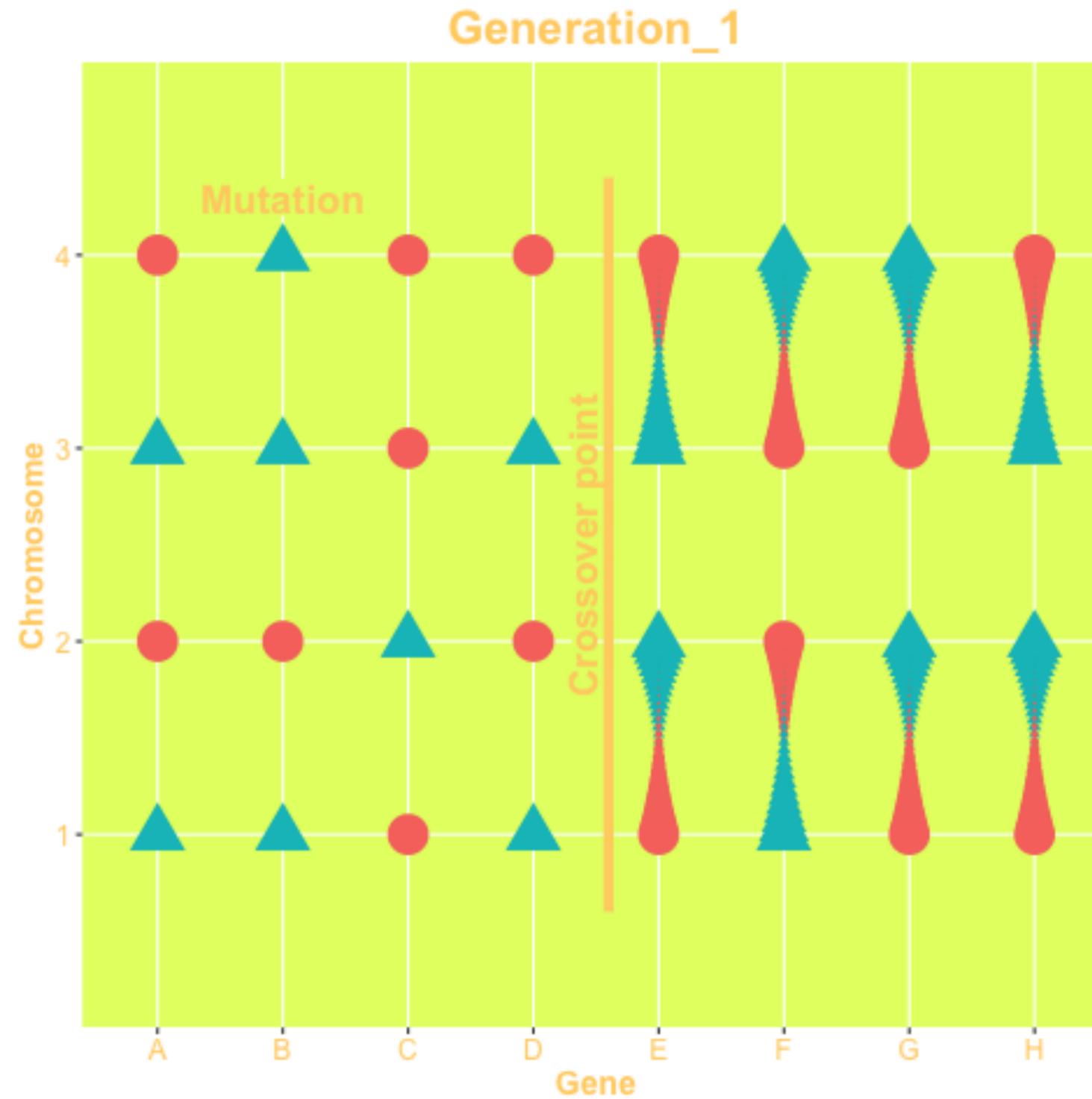
# Evolutionary Computation



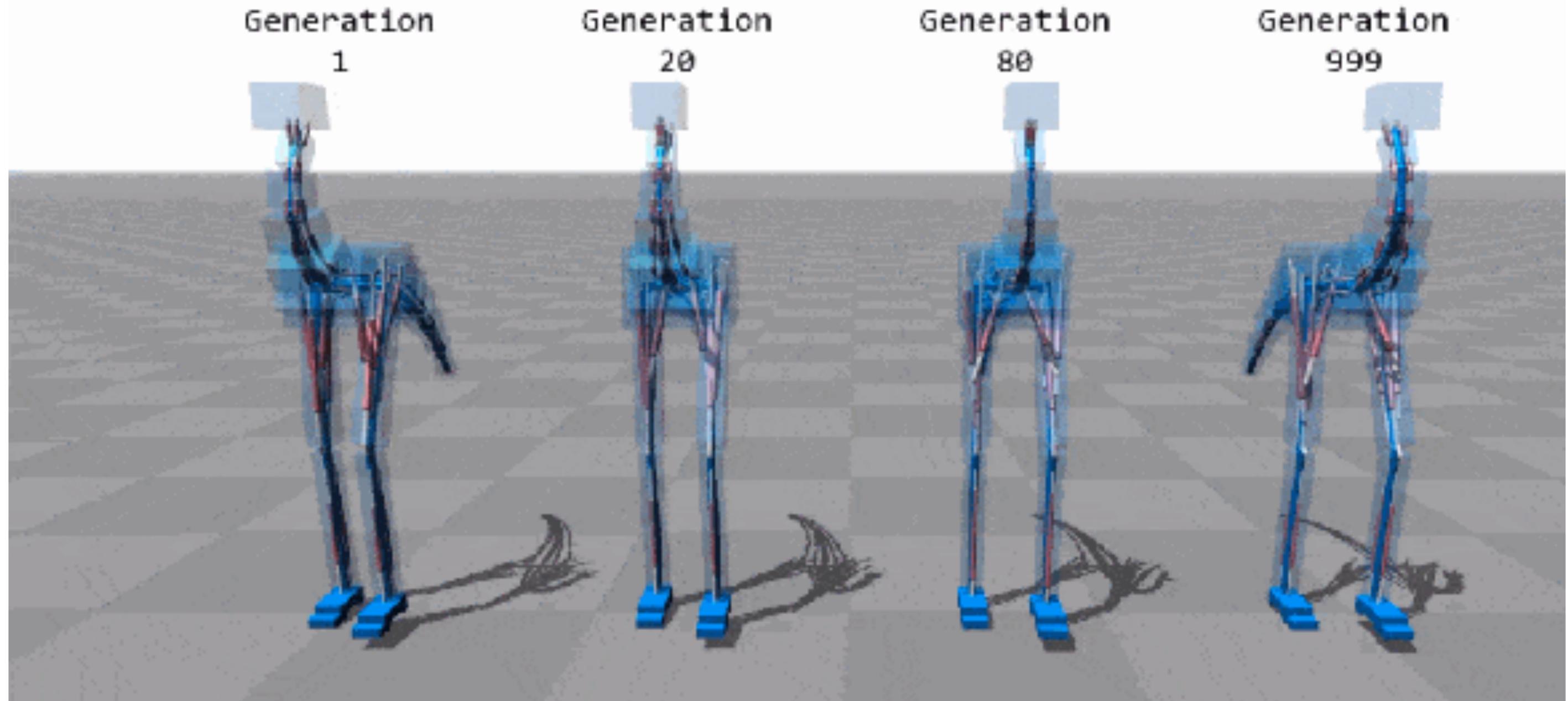
# Evolutionary Computation



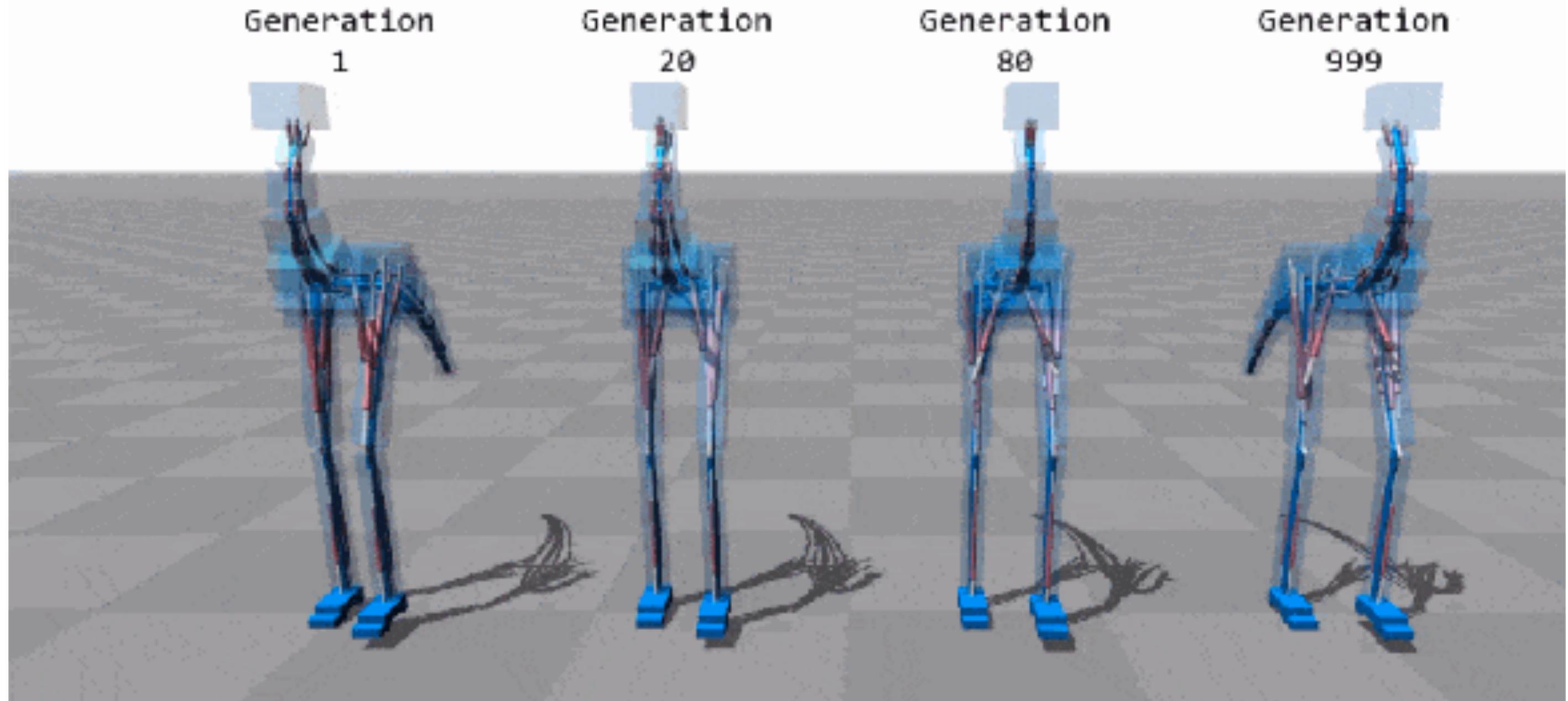
# Evolutionary Computation



# Evolutionary Computation



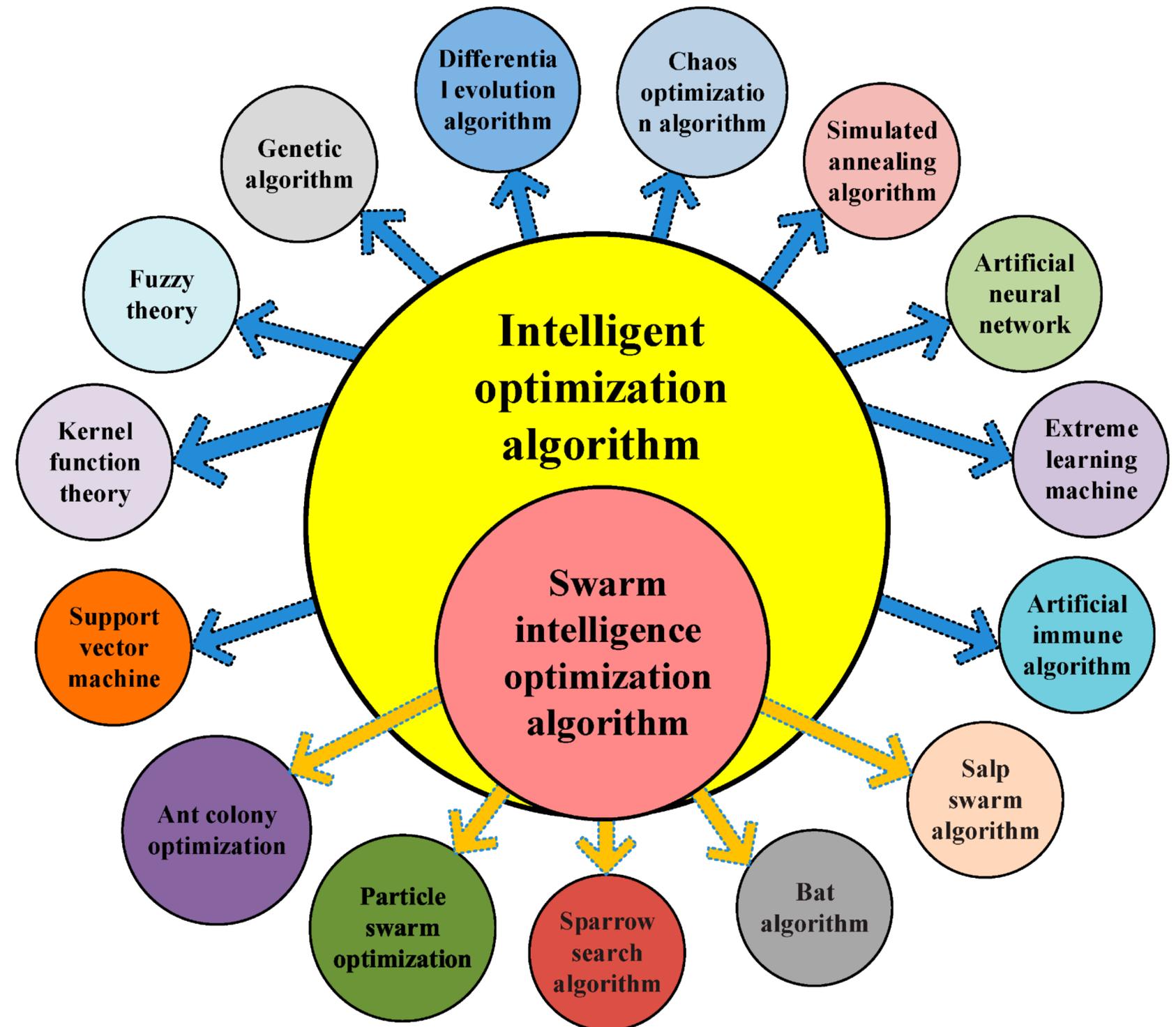
# Evolutionary Computation



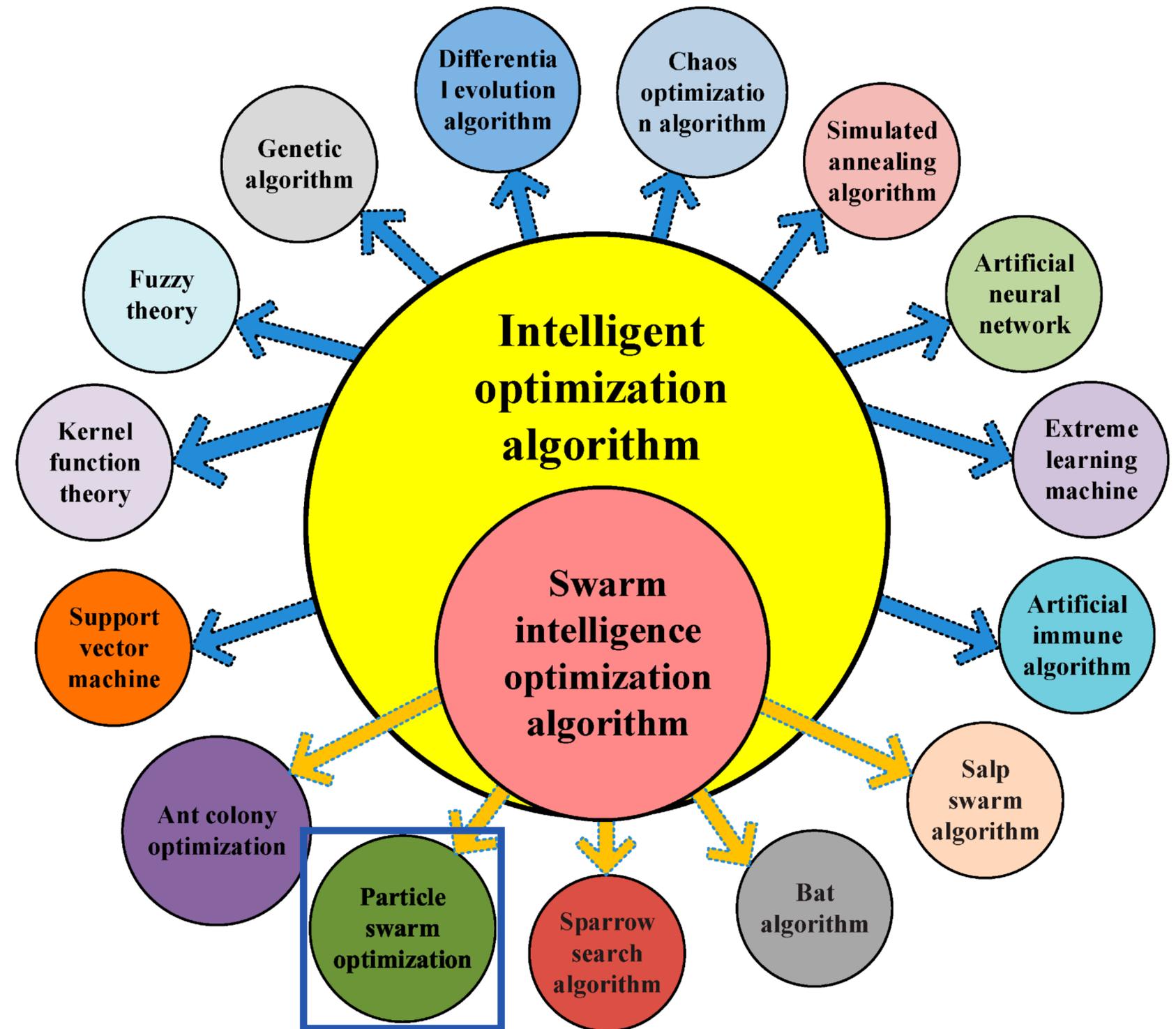




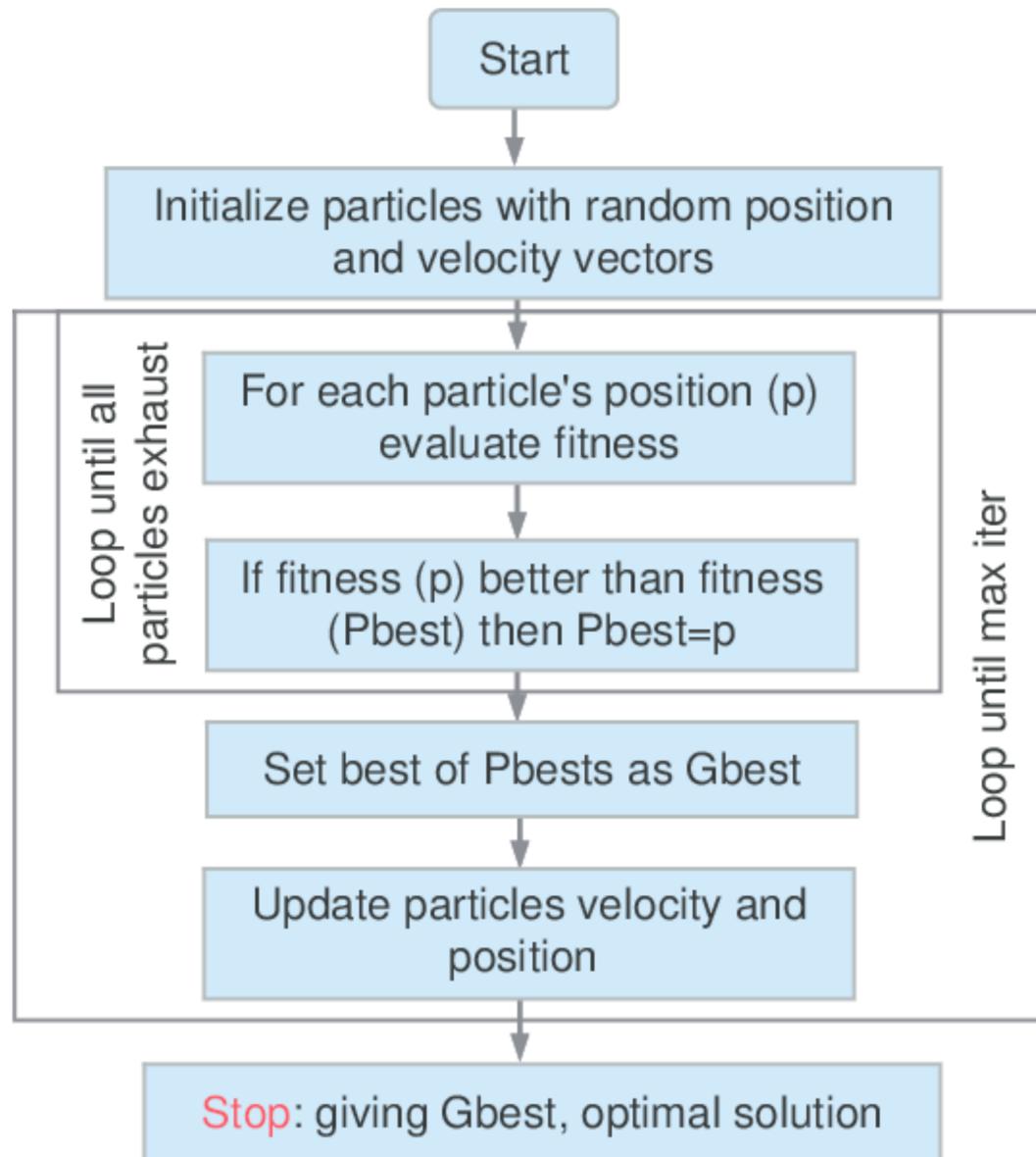
# Swarm Intelligence



# Swarm Intelligence



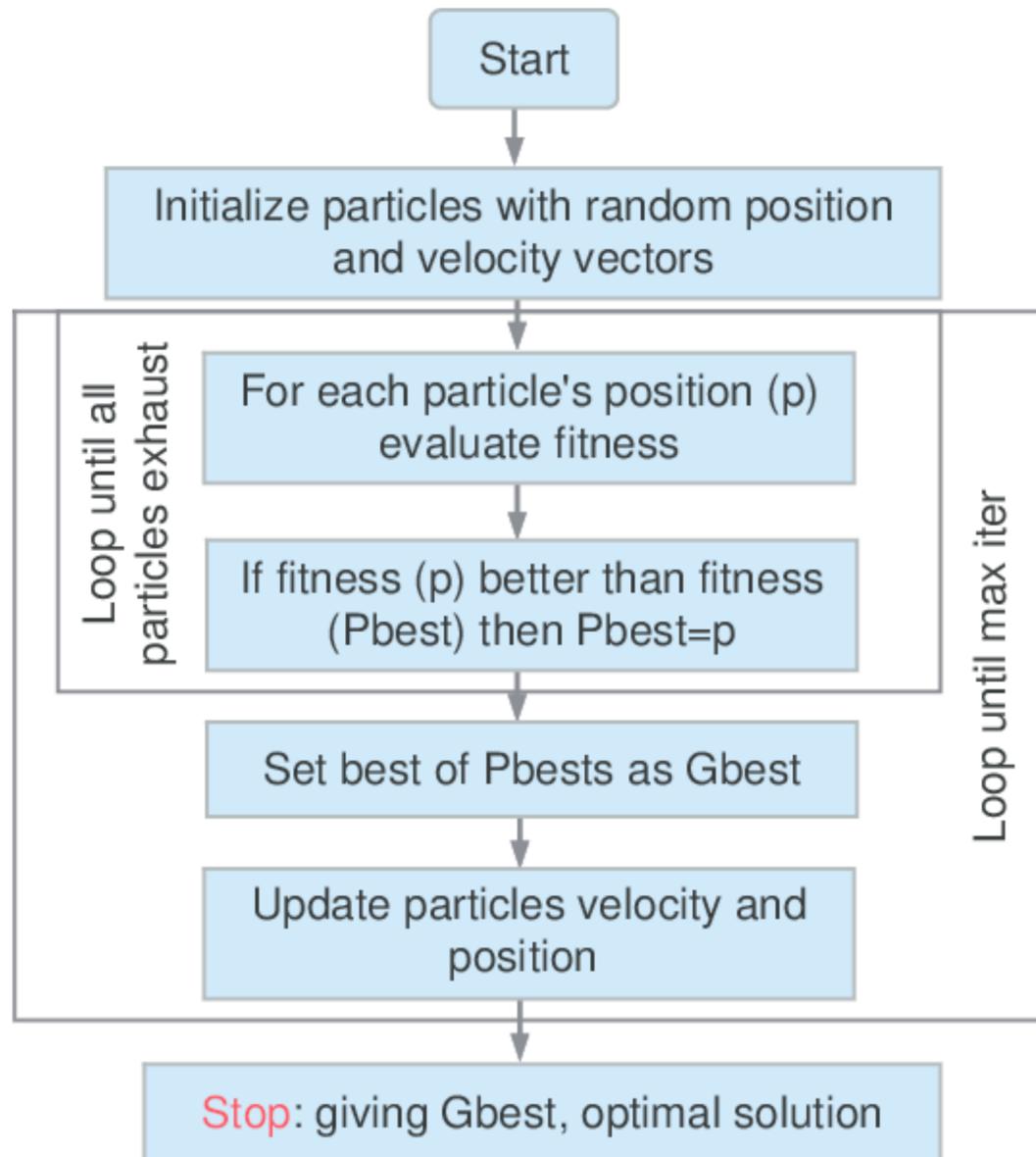
# Swarm Intelligence



$$P_i^{t+1} = P_i^t + V_i^{t+1}$$

$$V_i^{t+1} = \underbrace{wV_i^t}_{\text{Inertia}} + \underbrace{c_1r_1(P_{best(i)}^t - P_i^t)}_{\text{Cognitive (Personal)}} + \underbrace{c_2r_2(P_{bestglobal}^t - P_i^t)}_{\text{Social (Global)}}$$

# Swarm Intelligence



The parameter  $W$  is the inertia weight and it is a positive constant, This parameter is important for balancing the global search, also known as **exploration** (when higher values are set), and local search, known as **exploitation** (when lower values are set).

## Diversification:

searches new solutions, finds the regions with potentially the best solutions.

## Intensification:

explores the previous solutions, finds the best solution of a given region.

$$V_i^{t+1} = W \cdot V_i^t + c_1 U_1^t (P_{b_1}^t - P_i^t) + c_2 U_2^t (g_b^t - P_i^t)$$

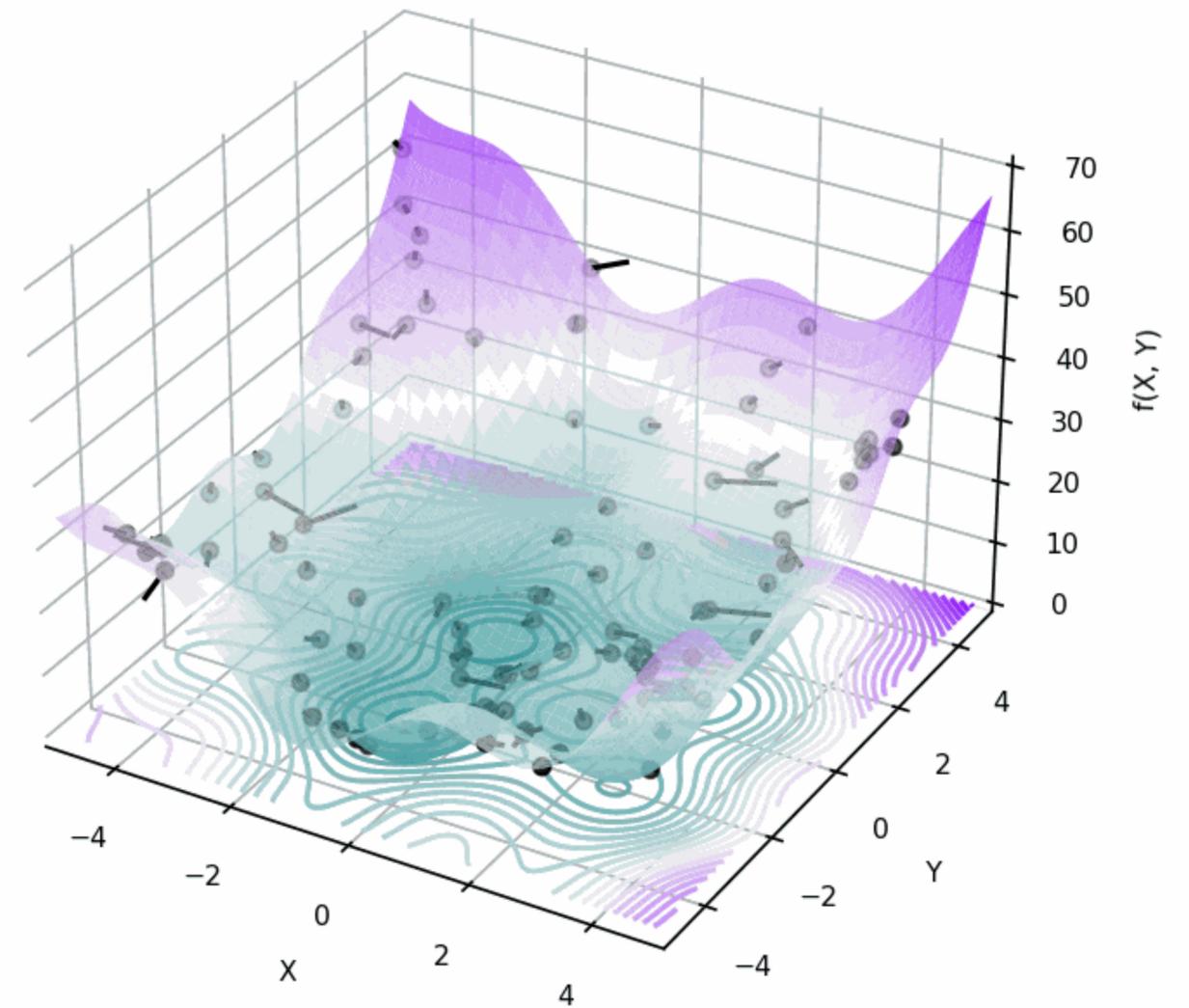
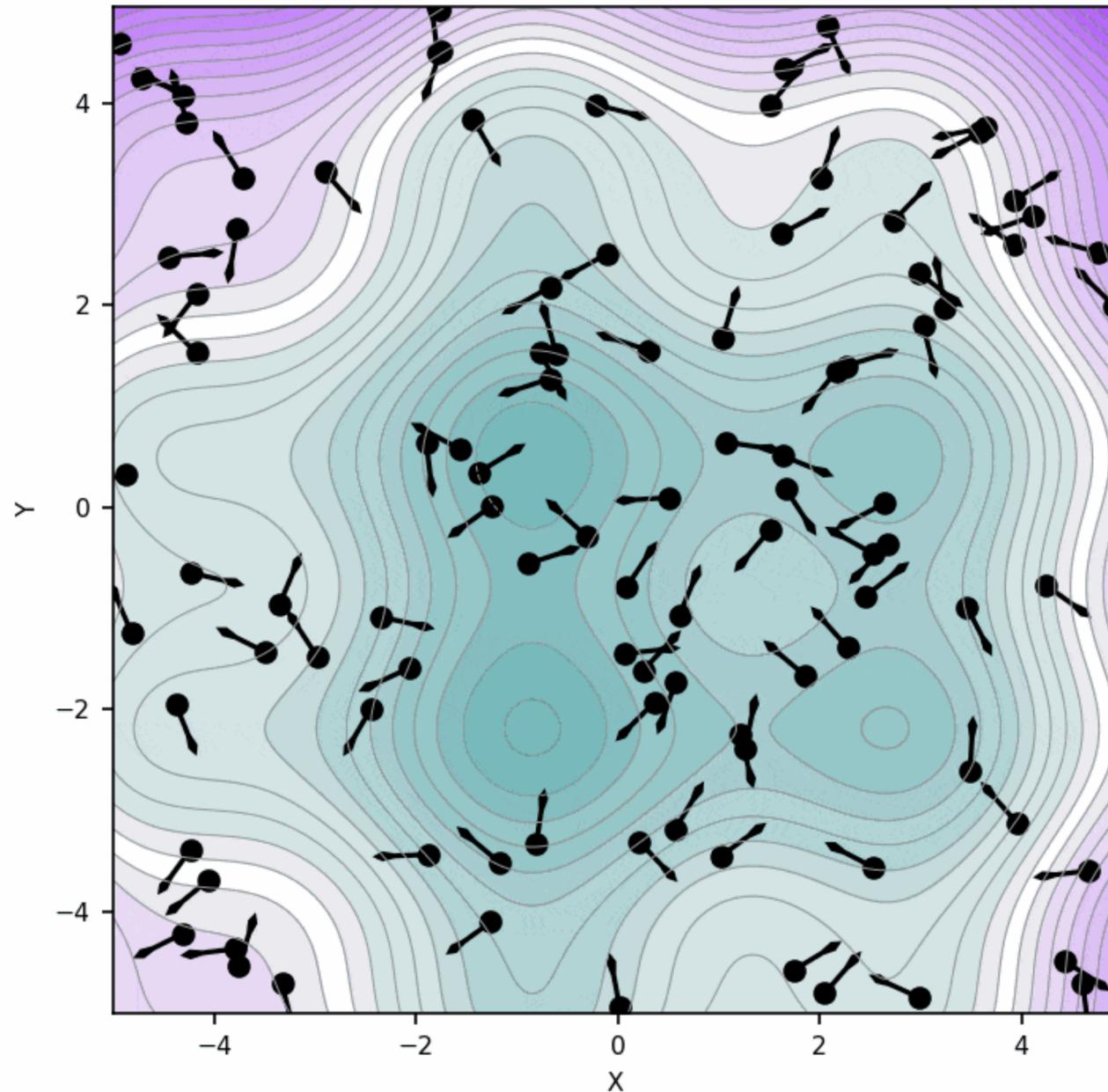
**Inertia :** Makes the particle move in the same direction and with the same velocity.

**Personal Influence :** Improves the individual. Makes the particle return to a previous position, better than the current.

**Social Influence :** Makes the particle follow the best neighbors direction.

# Swarm Intelligence

[1/100]  $w:0.800 - c_1:2.000 - c_2:2.000$



# Opportunità e rischi

- Quali sono le principali opportunità messe a disposizione dall'AI?
- Quali sono i principali rischi/pericoli/minacce nell'uso massiccio dell'AI?



# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- In **passato** abbiamo già assistito a **rivoluzioni tecnologiche** che hanno contribuito a **riscrivere** le **regole** delle **società**

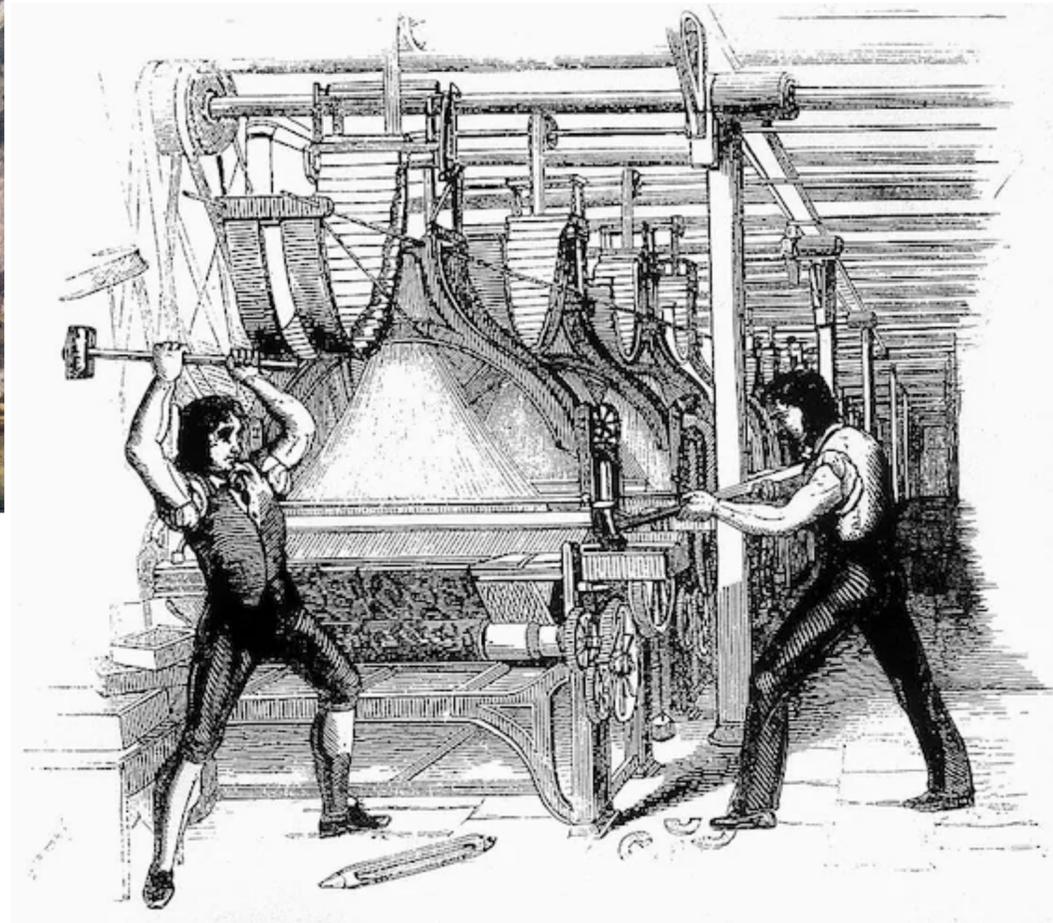
# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- In **passato** abbiamo già assistito a **rivoluzioni tecnologiche** che hanno contribuito a **riscrivere le regole delle società**



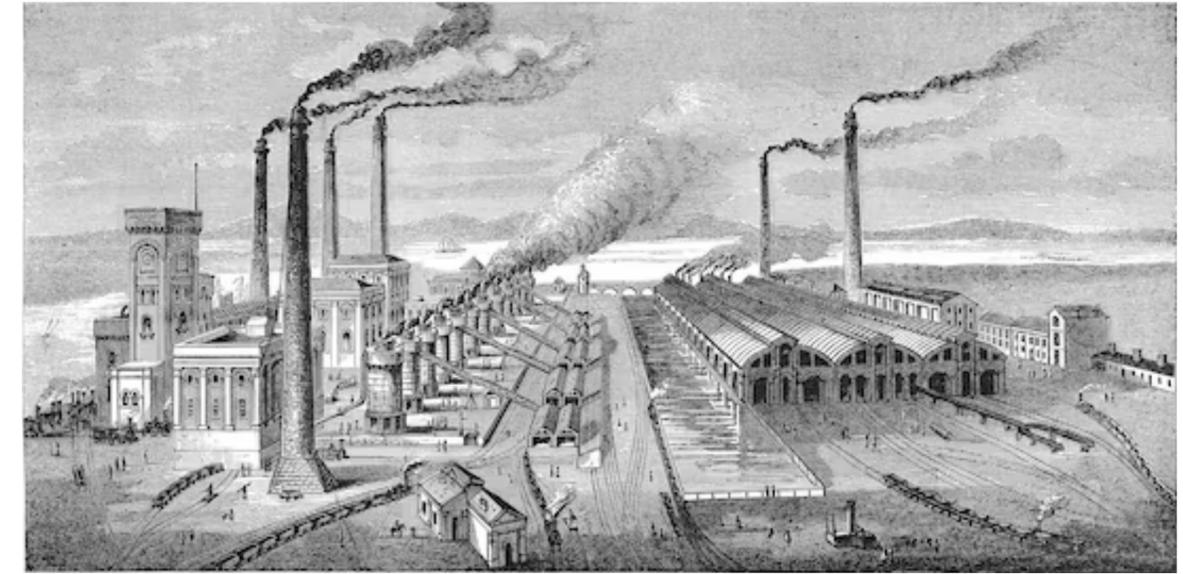
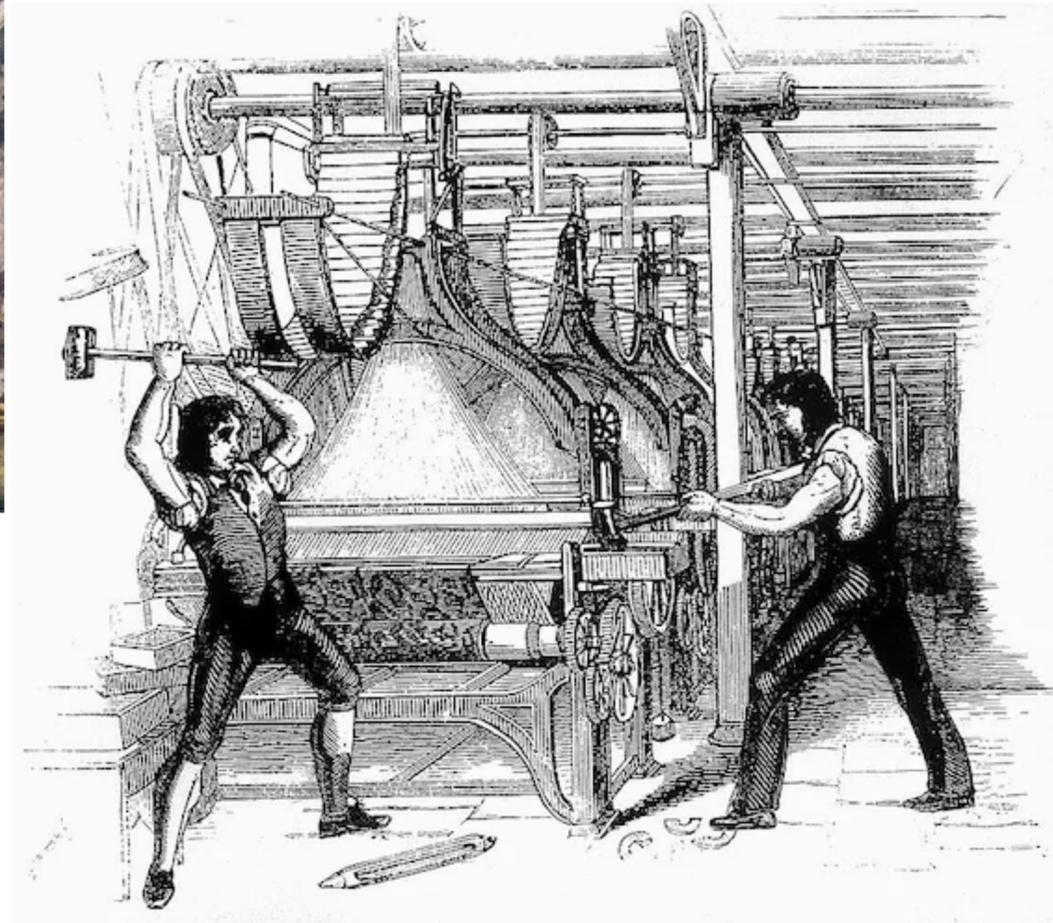
# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- In **passato** abbiamo già assistito a **rivoluzioni tecnologiche** che hanno contribuito a **riscrivere le regole delle società**



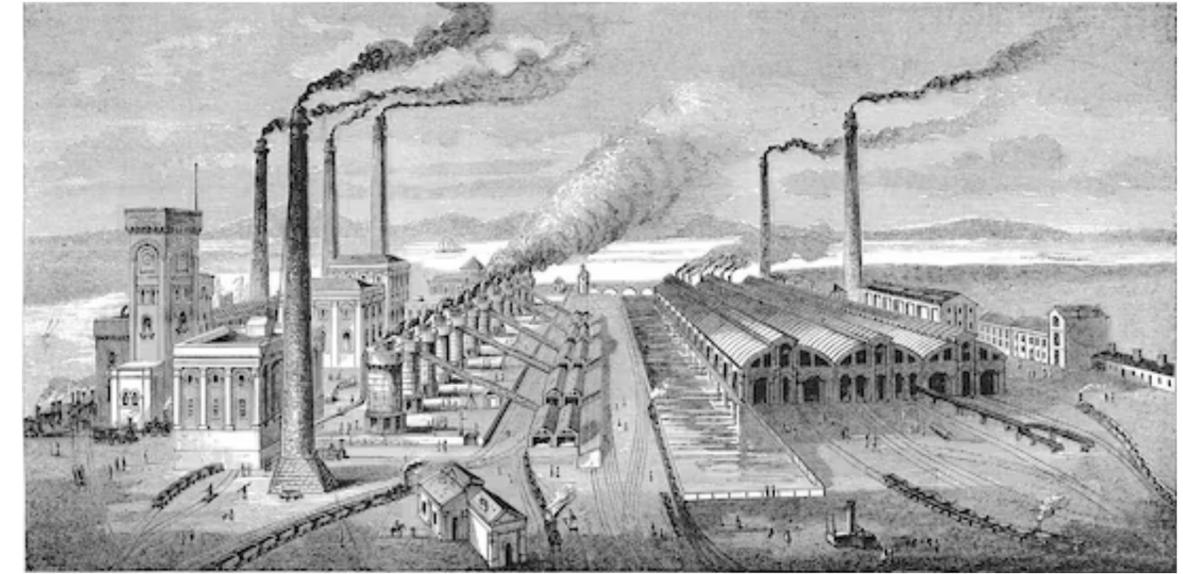
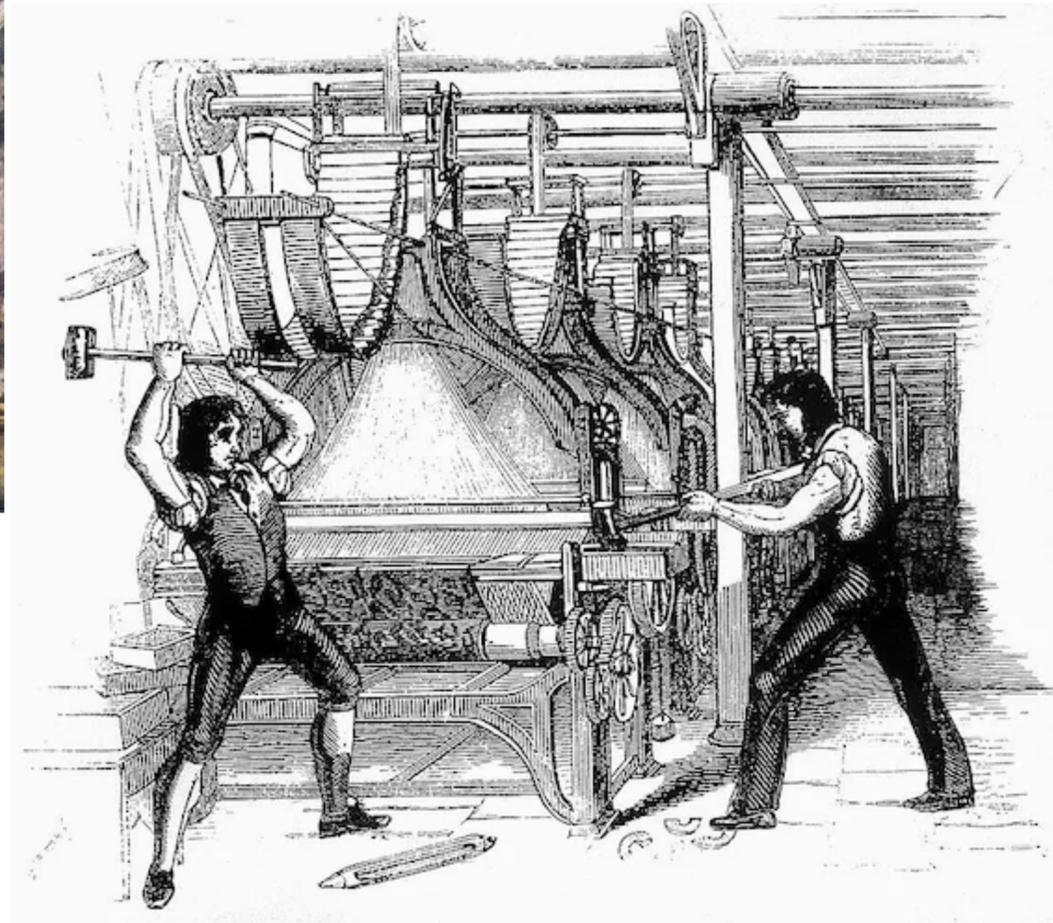
# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- In **passato** abbiamo già assistito a **rivoluzioni tecnologiche** che hanno contribuito a **riscrivere le regole delle società**



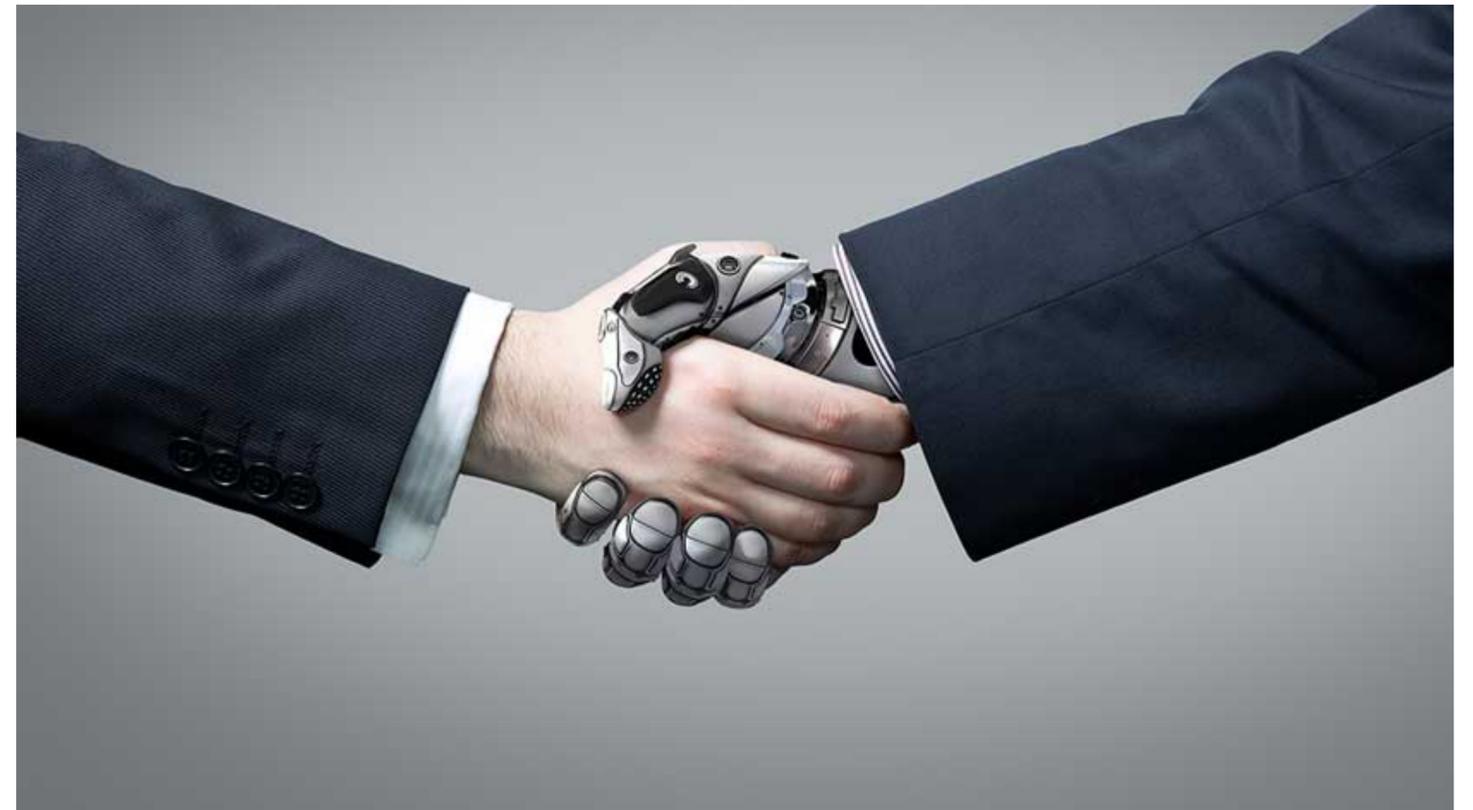
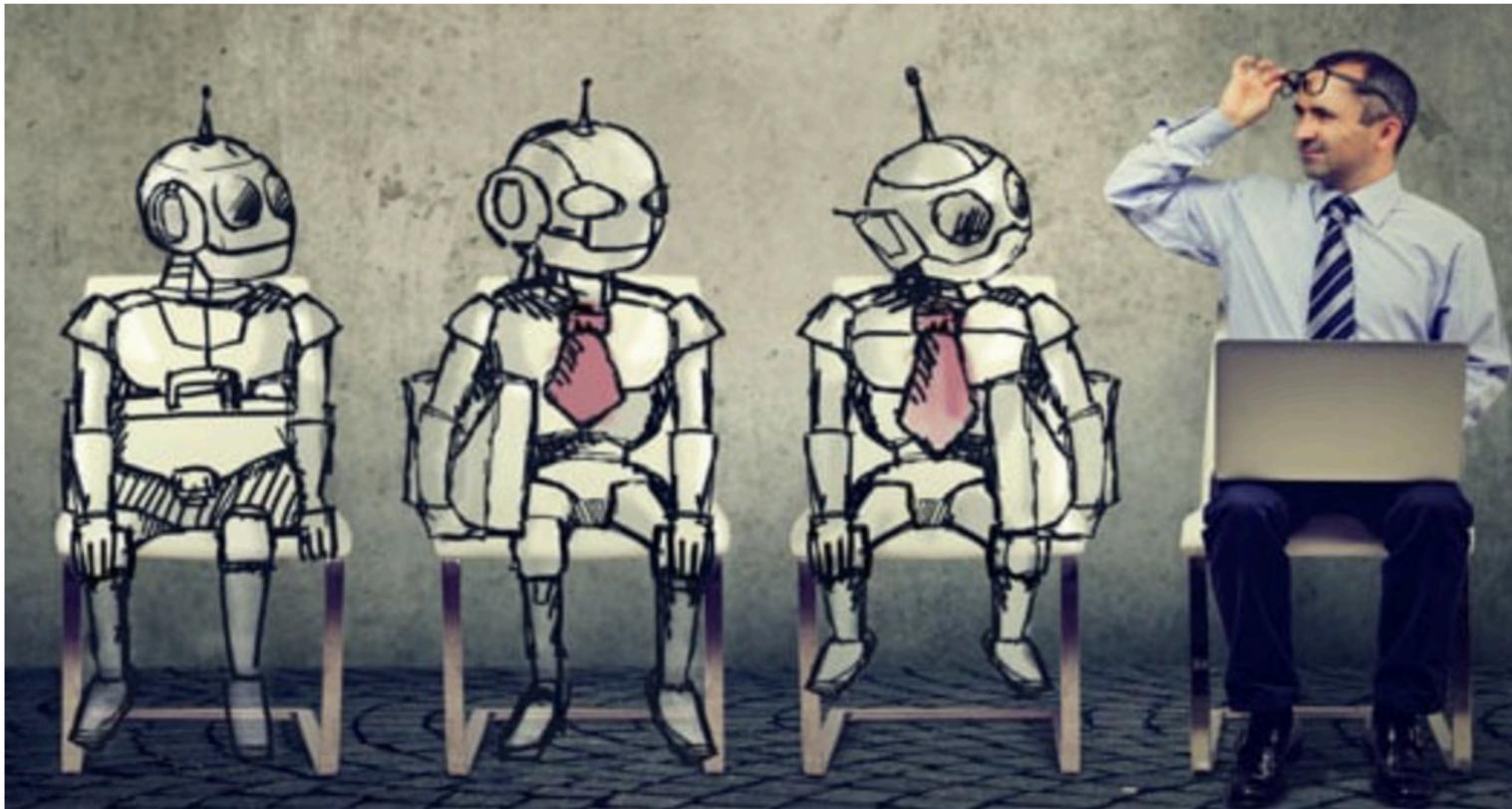
# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- In **passato** abbiamo già assistito a **rivoluzioni tecnologiche** che hanno contribuito a **riscrivere le regole delle società**



# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- L'innovazione è necessità!



# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- Il **progresso tecnico** rende **obsolete alcune mansioni**
- Rende possibile **alcune automazioni** che prima erano **inconcepibili**
  - Migliorano i **processi** e la **qualità** dei **servizi** che sfruttano queste tecnologie
- 30 anni fa le **diagnosi mediche** coinvolgeva un **maggior numero di figure**
  - Un maggior numero di posti di lavoro
  - Voi vorreste davvero trovare indietro?

# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- Alcune persone ritengono che l'**attuale rivoluzione tecnologica** metta in **discussione** sia le **abilità fisiche umane** ma anche quelle legate all'**intelletto**
- AI sta avendo un **notevole impatto** su (almeno) due **aree diverse**
  - **Bilancio occupazionale**
  - **Aspetti cognitivi, psicologici e sociali**



# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- Molti ritengono che l'**impatto** coinvolgerà **diverse figure professionali**
  - Mantenendo comunque un **saldo occupazionale positivo**
- I più pessimisti ritengono che diverse **professioni spariranno** e **molte persone perderanno il posto di lavoro**
  - Comprese quelle ritenute **inattaccabili** dalla diffusione delle automazioni



# AI e lavoro: minaccia o opportunità?

- La **domanda di lavoro è cresciuta** con l'avvento dell'**AI**
  - A beneficiare di questo fenomeno sono state soprattutto le **figure professionali più qualificate** in termini di **competenze ed esperienza**
- Le **soluzioni di AI** sono utilizzate principalmente per **migliorare l'efficienza esterna** (rispetto a quella interna)
  - Progetti relativi ad applicazioni destinate al servizio dei clienti
- Le **aziende** che si stanno avvicinando al mondo dell'**AI** stanno **selezionando accuratamente le iniziative** in cui **investire**, valutandone i **benefici** e tenendo in considerazione il **livello di accettazione** da parte dei **soggetti interni ed esterni all'azienda**

# Modello interpretativo dell'AI

- La trasformazione di un “**concetto di AI**” in un **modello di business** richiede di partire da un **quadro ben strutturato**, da un **framework interpretativo** completo
- **Come mettere in pratica il modello** e quali **competenze e professionalità** sono richieste per portare a termine un progetto di AI



# Modello interpretativo dell'AI: 1) soluzioni

- **Otto classi** di applicazione dell'AI, distinte in base alla finalità d'utilizzo
  - Intelligent Data Processing
  - Virtual Assistant/Chatbot
  - Recommendation System
  - Image Processing
  - Autonomous Vehicle
  - Intelligent Object
  - Language Processing
  - Autonomous Robot



# Modello interpretativo dell'AI: 2) capacità

- A questo livello è possibile **comprendere esattamente cosa fa e come si comporta una AI**
- Ogni soluzione di AI è dotata di capacità ispirate a quelle umane
- **Tre macroclassi**
  - Elaborazione del linguaggio naturale/immagini
  - Apprendimento/Ragionamento e classificazione
  - Interazione sociale/con l'ambiente



# Modello interpretativo dell'AI: 3) metodologie

- I sistemi di AI hanno delle **capacità** grazie a **specifiche metodologie**
  - Per ogni capacità realizzano funzionalità distintive
- Le **metodologie** sono **correlate** con **diverse discipline** e sono allineate con l'**elenco** delle **capacità** precedente



# Modello interpretativo dell'AI: 4) tecnologie

- Le **tecnologie** che concretizzano le **metodologie** (*Hardware e Software*)
  - Librerie software
  - Framework online/offline
  - Schede hardware/chip neurali
- **Trade-off** tra **design** e **flessibilità**
  - L'elemento chiave per supportare le aziende nella scelta di quale soluzione di AI sviluppare e/o adottare



# Dal modello... al progetto

- Il **modello** è una **rappresentazione sistematica** degli elementi necessari per lo **sviluppo** di un **progetto** di AI (strumento chiave per le aziende)
- Partendo da una **specificazione soluzione**, è possibile
  - Definire l'**insieme di capacità necessarie** per la soluzione
  - Identificare le **metodologie** che implementano tali **capacità**
  - Individuare le **tecnologie** che rendono operative tali **metodologie**
- **Non esiste una soluzione “universale”!** Spesso è necessario **modificare** gli applicativi o sviluppare algoritmi **dinamicamente** con il progetto

**Due attori...**

**Due attori...**



**Due attori...**



**Due attori...**



# I due attori coinvolti



Azienda

# I due attori coinvolti



Azienda



AI Engineer

# I due attori coinvolti: l'AI Engineer

- L'*AI Engineer* individua la **soluzione** più adatta al **problema applicativo**
- Si scelgono le **capacità** e le **metodologie** più adatte in base alle **esigenze applicative e funzionali** del **problema applicativo** e delle **caratteristiche operative** dell'**azienda**
- Si identificano le **tecnologie** più adeguate in base ai **vincoli tecnologici** imposti dall'**azienda**



AI Engineer

# I due attori coinvolti: l'azienda

- Deve **fornire i dati di *training*** che rappresentano (bene) il **problema** e che saranno impiegati durante la **procedura di addestramento** per trasformare un **modello generico** in un **modello specifico**
- Una **fase di validazione** in cui si valutano **quantitativamente** le **prestazioni** del sistema
- Non appena le **prestazioni** del sistema vengono considerate **adeguate**, si rende **operativo il sistema**



Azienda

# Training set, validation set, test set



# Training set, validation set, test set



Dati usati per addestrare il modello



Single Dataset



Single Dataset

# Training set, validation set, test set



Dati usati per addestrare il modello



Single Dataset



Sing

Dati usati per valutare il modello

# Training set, validation set, test set



Dati usati per addestrare il modello

Dati usati per testare il modello



Single Dataset



Sing

Dati usati per valutare il modello

# AI nel mercato italiano

- Una popolazione attiva di **23,3 milioni di lavoratori**
  - Una **domanda** di circa **300.000 posti di lavoro** (principalmente legati a competenze tecniche-scientifiche)
  - Un tasso di **disoccupazione** che raggiunge quasi **l'11% della popolazione attiva**
- Entro 15 anni si manifesterà **un calo dell'offerta**, raggiungendo un **deficit** di circa **4,7 milioni di posti di lavoro**
- È necessario che **l'Italia investa nell'AI** in quanto può contribuire **al recupero di produttività** —> **Processi di riconversione e formazione della forza lavoro non occupata**

# Aree dove viene maggiormente applicata

- Quali sono le principali **aree** dove viene **maggiormente applicata** l'AI?



# AI nel mercato italiano

- Il mercato dell'AI in Italia ha raggiunto i **500 milioni di euro** nel 2022
  - + 32% (la più alta crescita dal 2018)
- Investimenti
  - 34% per il *Intelligent Data Processing* (algoritmi per analizzare ed estrarre informazioni dai dati strutturati) —> Previsioni in ambiti come la **pianificazione aziendale**, la **gestione degli investimenti** e le **attività di budgeting**
  - 28% per **NLP** e **ChatBot** (interpretazione del linguaggio scritto o parlato) —> *Generative AI* per **estrarre ed elaborare** informazioni da **documenti** (es. atti giudiziari, contratti o polizze, comunicazioni interne o esterne)

# AI nel mercato italiano

- Investimenti (cont.)
  - 19% per *Recommendation System* —> **Suggerire** ai clienti **contenuti** in linea con le singole preferenze
  - 10% per *Computer Vision* —> **Analizzare** il **contenuto** di **immagine** in diversi contesti come la **sorveglianza** in luoghi pubblici o il **monitoraggio** di una linea di produzione
  - 9% per *Intelligent Robotic Process Automation* —> l'AI aiuta a **automatizzare** alcune **attività** di un **progetto** e ne governa le varie fasi
- I **maggiori investimenti** in soluzioni di AI avviene in **finanza, energia/utility, manifattura, telco/media e assicurazioni**

# AI nel mercato italiano

- Divario significativo in termini di **avvicinamento** alla **tecnologia** (progetti che coinvolgano l'AI) tra **grandi imprese** e **PMI**
  - Il 61% delle **grandi imprese** ha già avviato **almeno un progetto** (era il 51% nel 2018), di cui il 42% ne ha più di uno operativo
  - Il 15% delle **PMI** ha almeno **un** (spesso l'unico) **progetto** avviato (era il 6% nel 2021)
- Per il 38% delle grandi aziende l'**identificazione di *business case*** e la comprensione dei relativi benefici rimane l'**aspetto più complicato**

# AI nel mercato italiano

- Solo il 5-7% degli italiani non ha **mai sentito parlare** di AI
  - La conoscenza dei temi AI si attesta a un **livello piuttosto superficiale**. Solo il 55% dei **consumatori** ha infatti la capacità di **riconoscere la presenza di funzionalità basate su AI nei prodotti/servizi** usati nella **quotidianità**
- Il 79% degli intervistati ha un'opinione **abbastanza o molto positiva** sull'AI
  - Il 73% nutre **timori** legati **principalmente** al suo utilizzo nel **mondo del lavoro**
  - Solo il 19% della popolazione è **contrario** all'**ingresso dell'AI** nelle **attività professionali**
- Rimangono **perplessità** in merito agli aspetti che riguardano la **privacy**

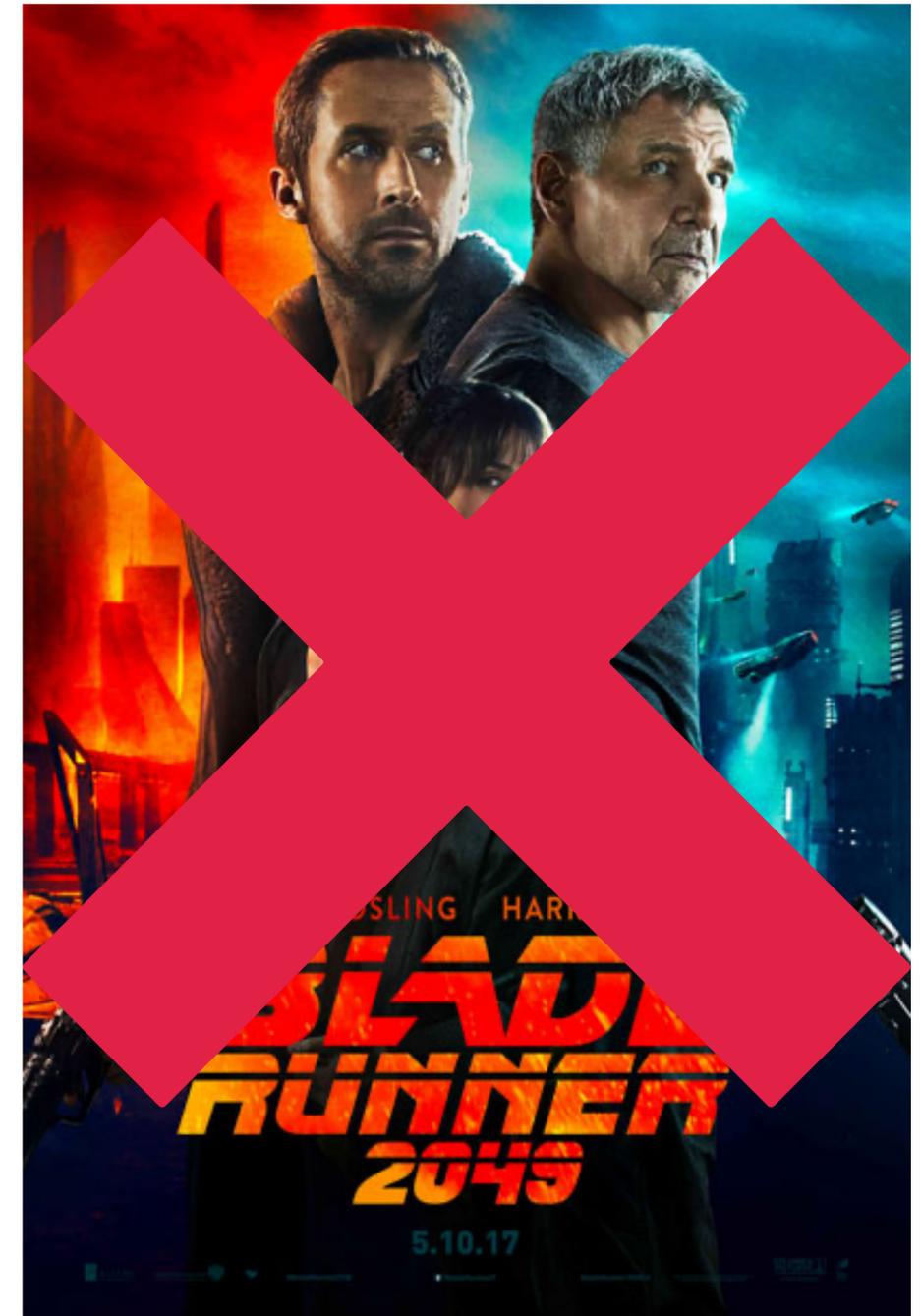
# Etica in ambito AI

- Da un'analisi condotta su 94 casi reali di **problematiche etiche** legate all'uso dell'AI, le **criticità più frequenti**
  - Nel 23% dei casi **distorsioni** nella fase di **progettazione** della soluzione AI (i.e., *bias*)
  - Nel 19% dei casi la **violazione delle libertà** (i.e., *freedom*)
  - Nel 17% dei casi **l'accentramento** di risorse **finanziarie/tecnologiche** o **culturali** da parte delle **Big tech** (i.e., *trust*)
  - Nel 11% dei casi **problemi di privacy**

# Etica in ambito AI.. Blade Runner



# Etica in ambito AI.. Blade Runner



# Etica (umana) in ambito AI

- Quale **etica** dovremmo assumere di fronte all'AI?
- Avere **comportamenti e impulsi privi di umanità** porta a dare **identità ed esistenza** all'AI anche se **non esiste**
  - Implica trovare uno **spazio** nelle **nostre vite** e creare un **mondo alternativo** dove **tutto potrebbe essere possibile...** anche **oltre ogni etica**
- Non dobbiamo **perdere mai di vista** la nostra **etica umana** per non perdere la **nostra umanità** che ci caratterizza

# Privacy in ambito AI

- L'attenzione verso i **temi di sicurezza e protezione dei dati**, anche tra le **imprese** che sviluppano soluzioni di AI è **fortemente cresciuta**
  - Si inizia ad affrontare il tema della **responsabilità civile**
- L'introduzione di **normative** come il **GDPR** fa emergere i **temi di *compliance***
  - **Sicurezza e protezione dei dati**. Questo ricade sulla **progettazione, l'acquisto e l'implementazione** in azienda di **sistemi** dotati di AI
- Attività tipiche dei sistemi di AI come la **profilazione, il monitoraggio** e la **combinazione** dei dati possono avere un **impatto significativo** sulle **scelte** dei soggetti interessati

# Privacy in ambito AI

- Fin dalla fase di **progettazione** di sistemi che trattano i **dati personali** devono rispettare i principi di *privacy by design* e *privacy by default*
  - Garantire la **minimizzazione** del trattamento. Possono essere **raccolti** e **trattati** solo i **dati necessari** per le **finalità perseguite** e **dichiarate** agli interessati
- Difficoltà in termini di **coerenza** tra il **funzionamento** della **tecnologia** e l'**aderenza** alla **normativa**
  - Il **Machine Learning** richiede una **grande quantità** di **dati**
  - Garantire alle **persone fisiche** i cui **dati** vengono **trattati** il **diritto a non essere sottoposti** a **decisioni** basate **unicamente** sul **trattamento automatizzato**
  - Il sistema non deve **avvalersi** di **dati particolari** (dati che rivelino l'etnia, la religione, etc) per **fornire** al **quesito stesso** una **soluzione discriminatoria**

# Privacy in ambito AI

- **Le aziende che usano sistemi basati su AI devono**
  - **Informare gli individui sull'utilizzo dell'AI, le finalità e le modalità del trattamento**
  - **Garantire la minimizzazione del trattamento** coerentemente con le finalità dichiarate
  - **Valutare gli impatti del ricorso all'AI sui diritti e sulle libertà degli individui**
  - **Garantire l'intervento umano** in casi di **errori o violazioni** da parte dell'AI
- **Non esiste ancora una normativa specifica universale per regolare le conseguenze giuridiche dell'utilizzo di sistemi intelligenti**
  - **Esiste un quadro legislativo applicabile ai sistemi di AI considerati come "prodotti"**
  - **Il sistema di AI agisce come un "agente" quando si ha una componente di imprevedibilità che rende difficile stabilire un nesso di causalità tra condotta del produttore e/o dell'utilizzatore e l'evento dannoso stesso**

# Il Programma Strategico italiano per l'AI

- *“[...] l'Italia ha lanciato il nuovo **Programma Strategico**, che grazie al lavoro congiunto di tre Ministeri ha prodotto 24 raccomandazioni di azione, con un approccio collaborativo e inclusivo [...]”*
- *“Ora è necessario compiere il passo successivo, la creazione di un **piano esecutivo** che dovrà prevedere meccanismi di governance e monitoraggio, con l'articolazione temporale degli interventi, bilanciare tra velocità con cui distribuire le risorse e presidio dei risultati, bilanciare tra le direzioni di intervento stabilite dal programma (top-down) e quelle proposte dall'ecosistema industriale e accademico (bottom-up), per orientare le priorità di azione”*

# Corso di laurea triennale

- “Mathematical and Computing Sciences for Artificial Intelligence” (aka BAI)
- Insegnato interamente in **lingua inglese**
- **Diversi ambiti scientifici:** matematica, computer science, fisica ed economia
- Fondamentali per analizzare i **fenomeni delle scienze naturali, biomediche e sociali**. In particolare per **sviluppare strumenti** basati su AI



Università  
Bocconi  
DEPARTMENT  
OF COMPUTING  
SCIENCES

# Corso di laurea magistrale

- *“Artificial Intelligence”* (aka AI)
- Insegnato interamente in **lingua inglese**
- **Metodi e tecniche** per sviluppare **sistemi** di **AI** e **ML** di **nuova generazione**
- Approfondisce i **fondamenti** di matematica, Deep learning, NLP, image processing, Software Engineering



**Università  
Bocconi**

DEPARTMENT  
OF COMPUTING  
SCIENCES

# Dottorato (PhD)

- “PhD in Statistics and Computer Science”
- Programma di dottorato (4 anni) in lingua inglese
- Corsi avanzati di statistica e computer science; ricerca teorica e applicata in diverse aree di ricerca (fisica, fisica statistica, algoritmi, complessità computazionale, teoria delle decisioni, biomedicina, etc)
- Sviluppare nuovi filoni di ricerca



Università  
Bocconi

DEPARTMENT  
OF COMPUTING  
SCIENCES

# Il nuovo dipartimento di Computing Sciences

**Bocconi**

## Department of Computing Sciences

The Department aims at addressing fundamental problems in computation, artificial intelligence and their applications in computational neuroscience, bio-medicine, socio-economics and complex systems modelling. This goal is supported by a diverse and ambitious faculty that mobilizes expertise in several disciplines of computer science, mathematics and physics. The Department is founded on the values of inclusion, diversity and openness.

[Home](#)

[Research](#)

[Events](#)

[News](#)

[People](#)

[About](#)





**Grazie per la  
vostra attenzione!**

**Orientamatica 2023-2024  
“Modelli matematici nella realtà”**

**Andrea Tangherloni**