

Introduzione alle Reti Neurali

PCTO Addestramento di Reti Neurali con Linguaggio Python

Laura Nenzi, Gloria Pietropolli, Gaia Saveri

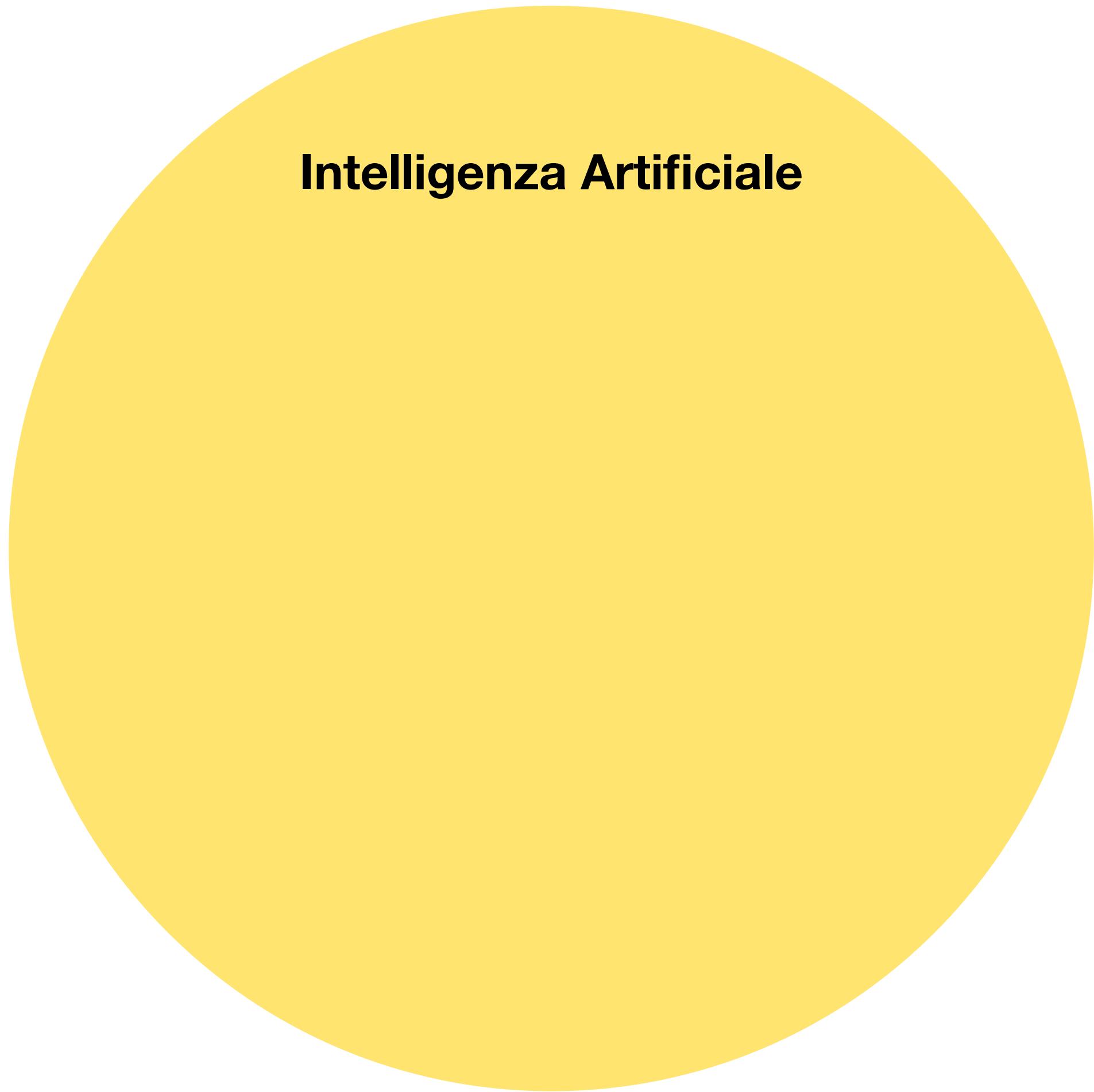


LICEO SCIENTIFICO
GALILEO GALILEI



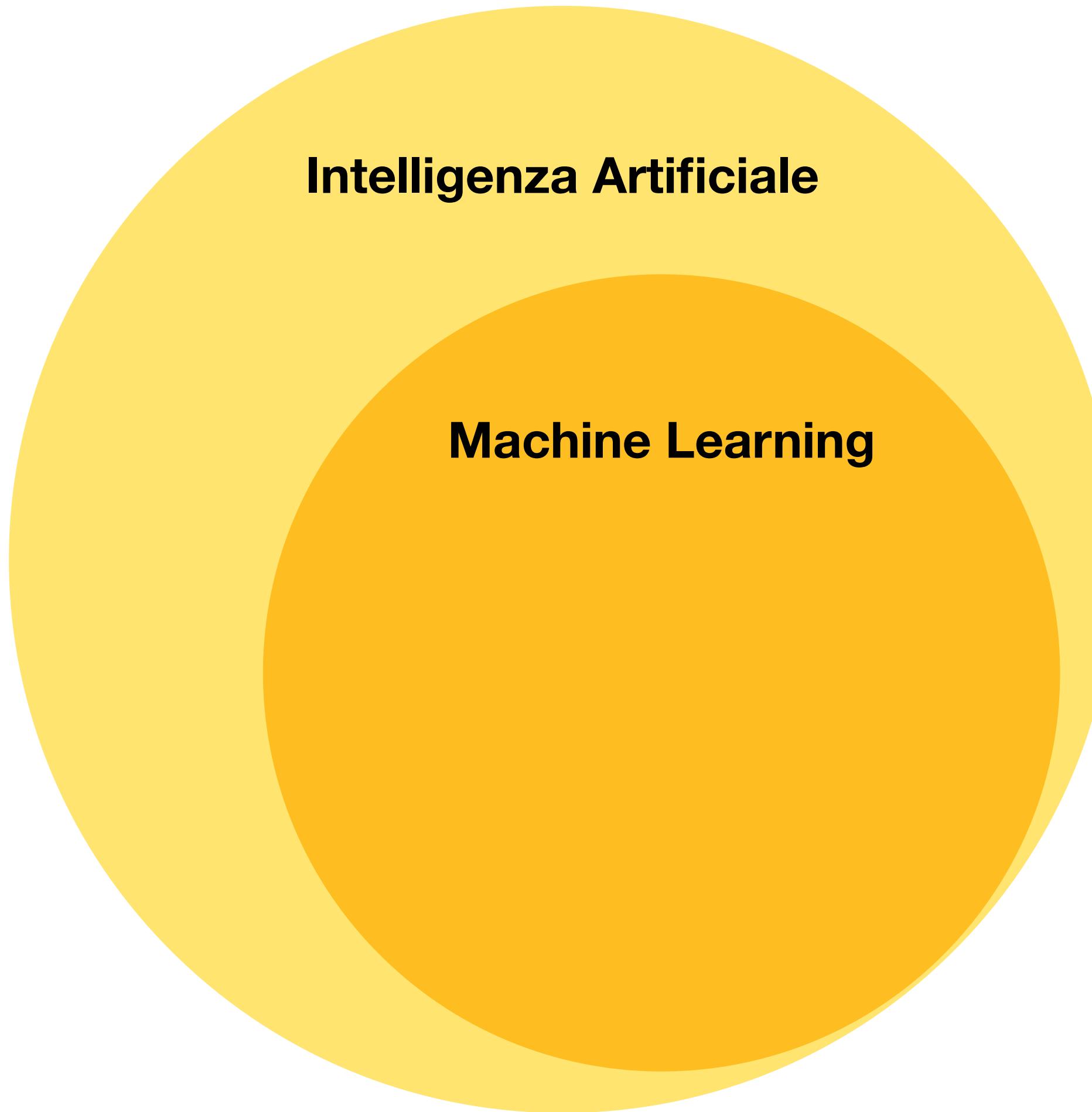
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Cos'è l'Intelligenza Artificiale?



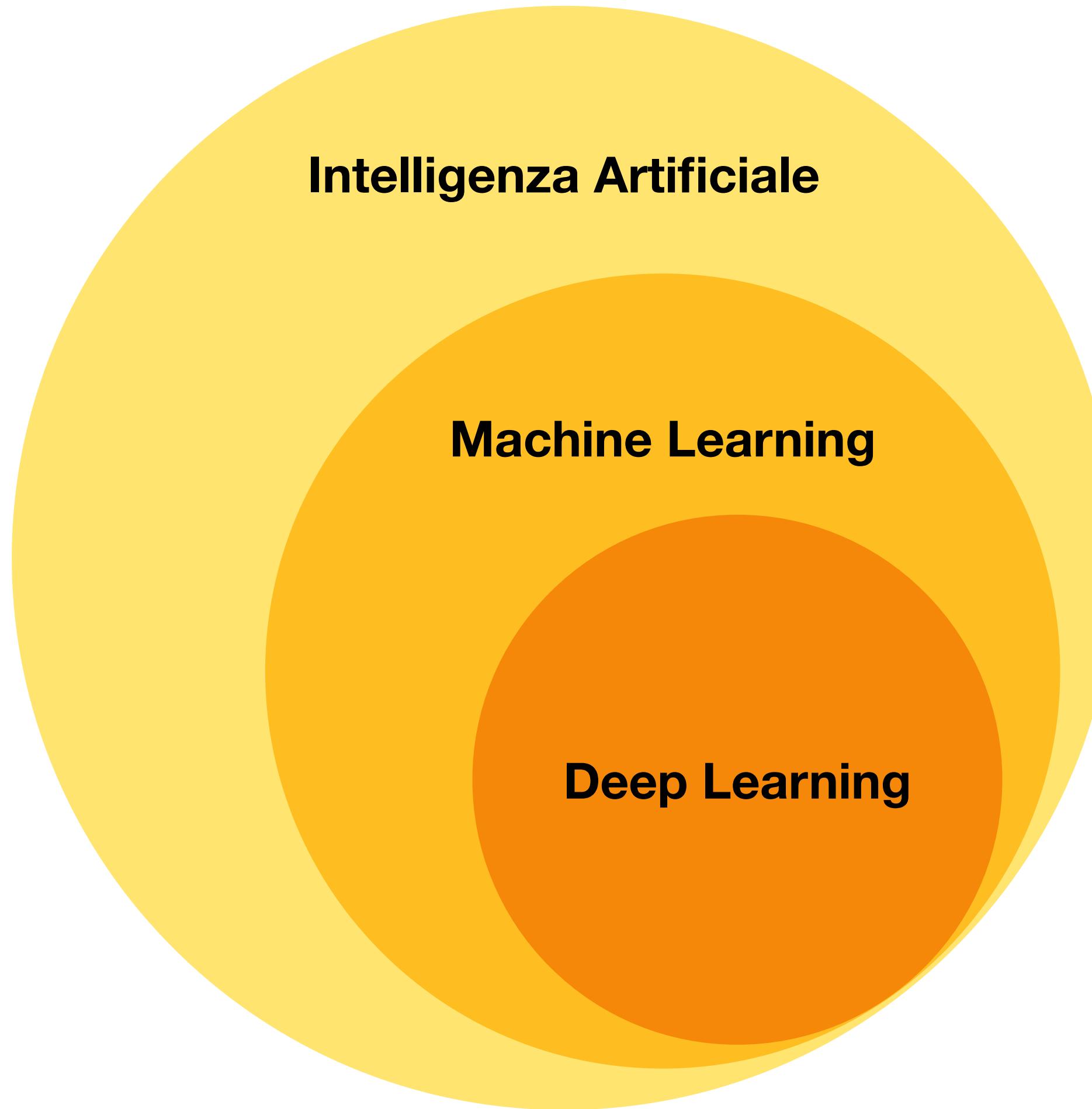
Disciplina scientifica che si occupa di costruire computer e macchine che possono **ragionare**, **imparare** ed **agire** che imitino l'intelligenza umana

Cos'è l'Intelligenza Artificiale?



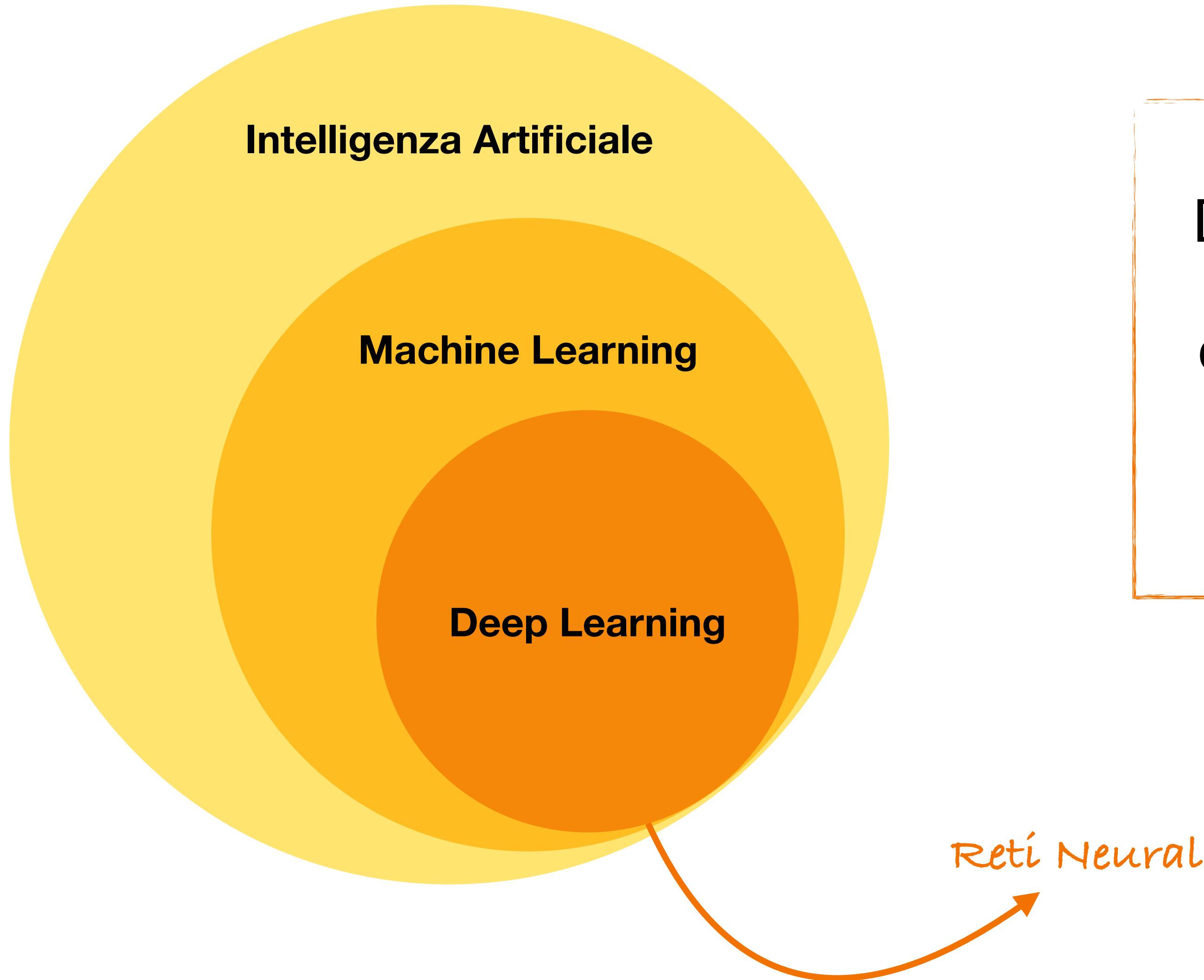
Disciplina scientifica che si occupa di costruire computer e macchine che possono **ragionare, imparare ed agire** che imitino l'intelligenza umana

Cos'è l'Intelligenza Artificiale?



Disciplina scientifica che si occupa di costruire computer e macchine che possono **ragionare, imparare ed agire** che imitino l'intelligenza umana

Cos'è l'Intelligenza Artificiale?



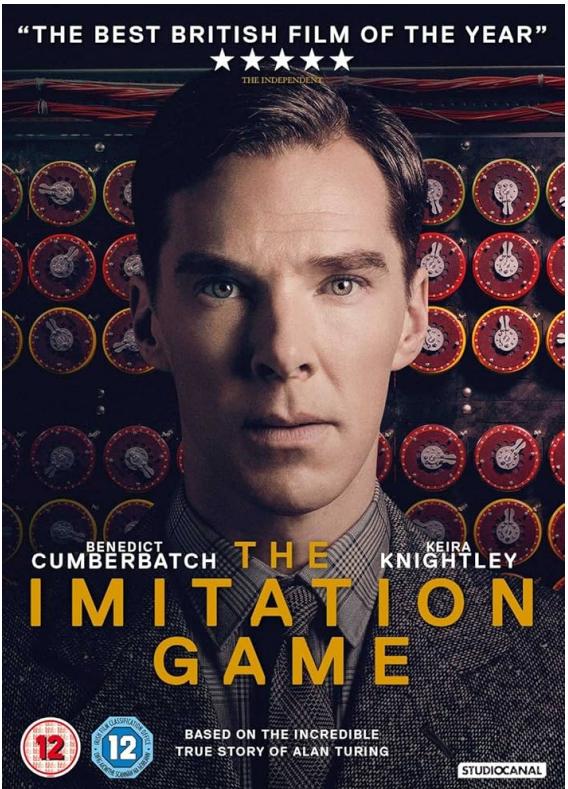
Disciplina scientifica che si occupa di costruire computer e macchine che possono **ragionare**, **imparare** ed **agire** che imitino l'intelligenza umana

Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



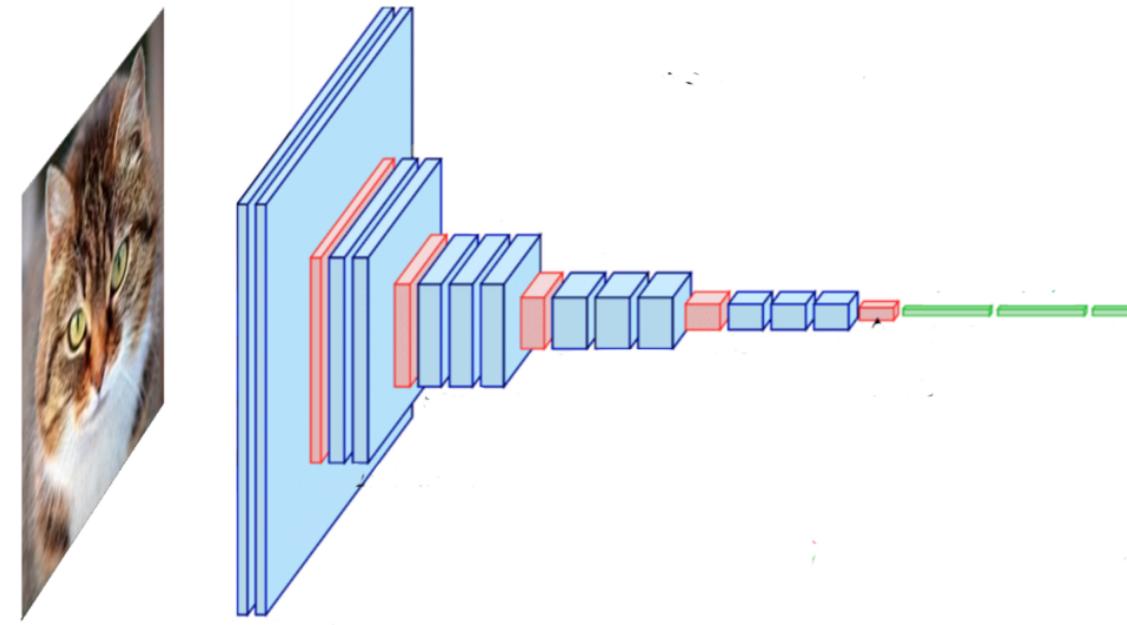
1950

Test di Turing



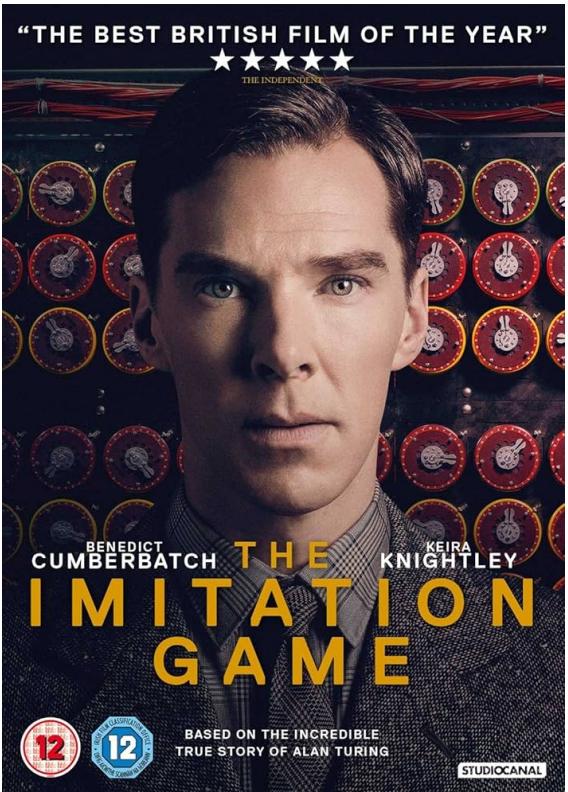
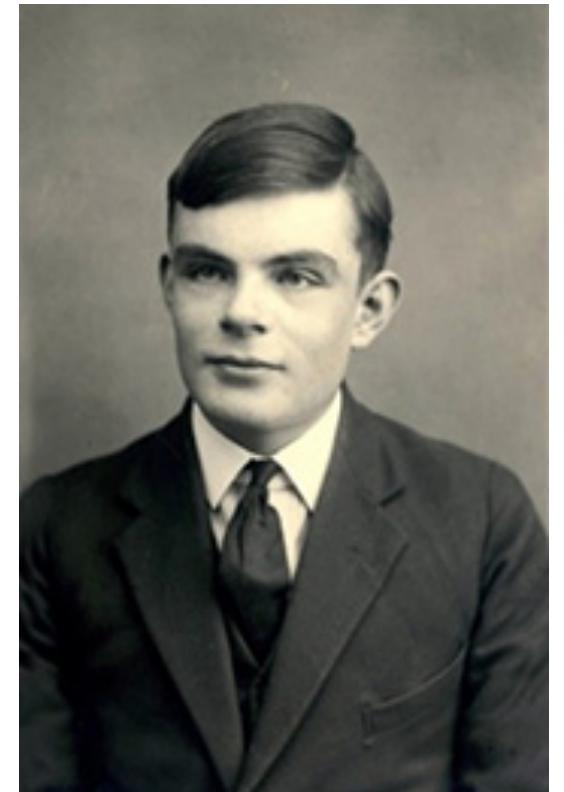
Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale

Reti Neurali
Convoluzionali
1989



1950

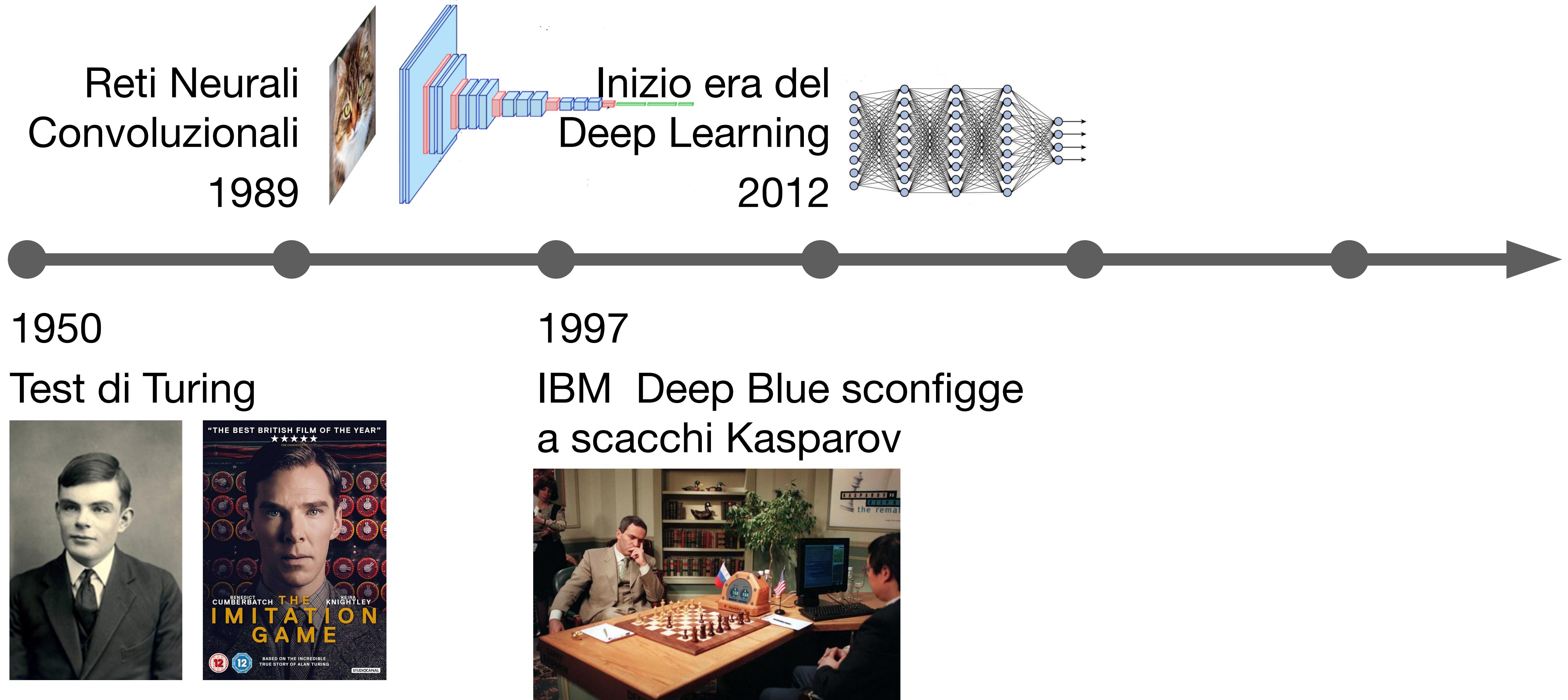
Test di Turing



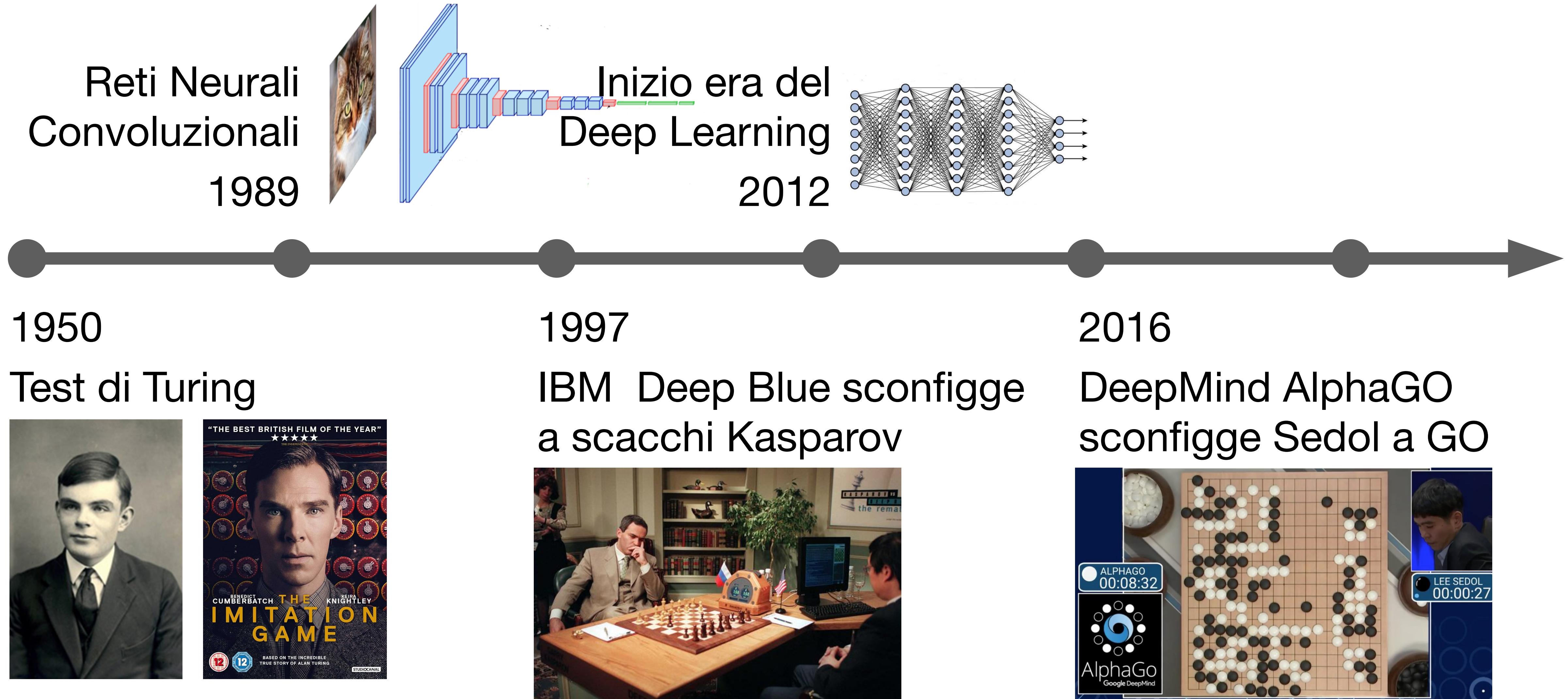
Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



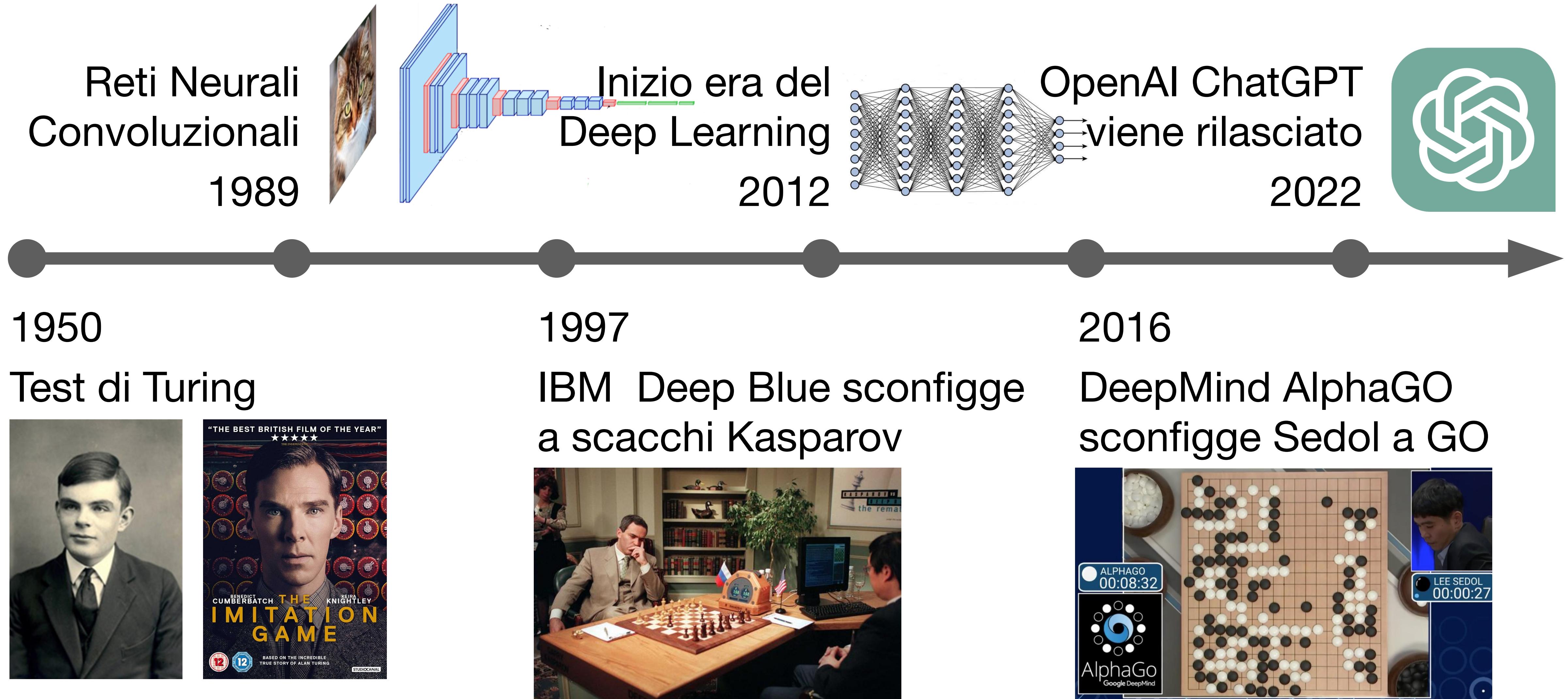
Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



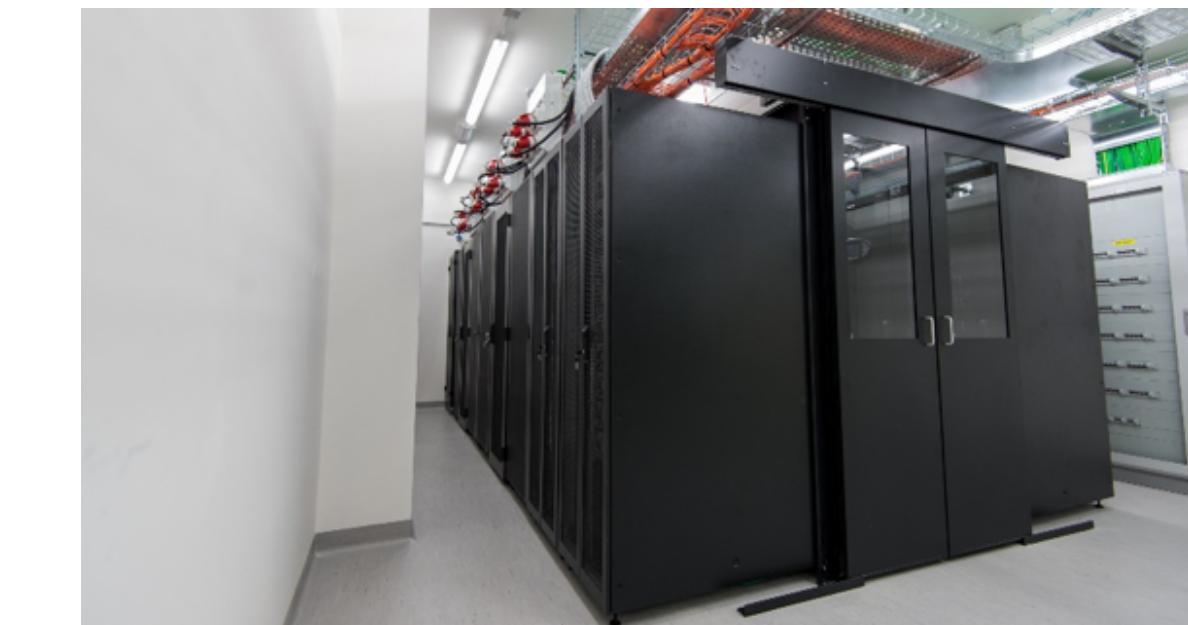
Breve Storia dell'Intelligenza Artificiale



Big Data

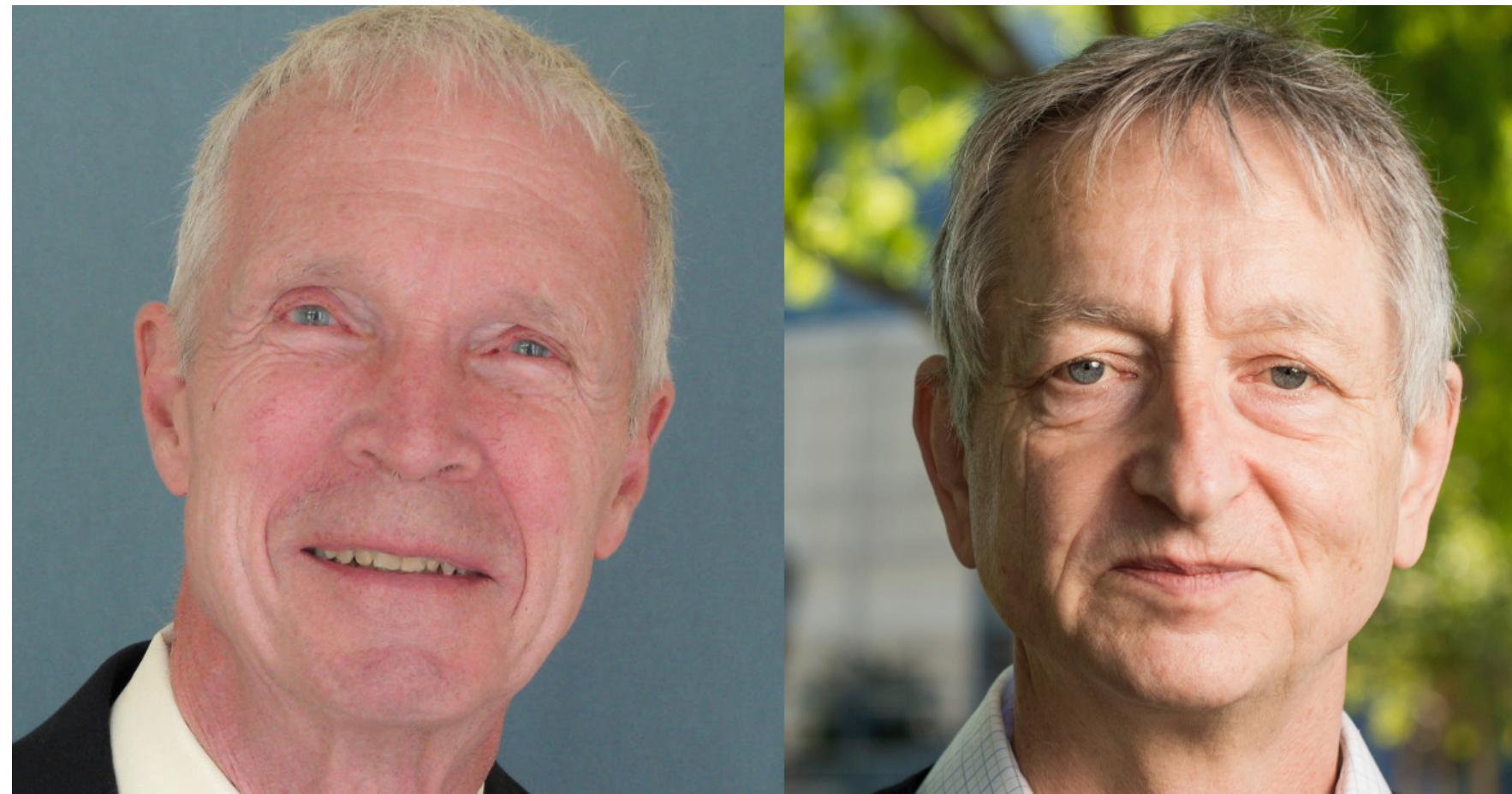


Big Computers



Il 2024 è l'anno dei Premi Nobel “alle reti neurali”

Premio Nobel per la Fisica



John Hopfield

Geoffrey Hinton

Premio Nobel per la Chimica



David Baker

Demis Hassabis

John Jumper

Uso di strumenti della fisica per sviluppare sistemi di apprendimento automatico, a partire da dati

Sviluppo di un modello di AI (AlphaFold) per predire la struttura delle proteine a partire da una sequenza di amminoacidi

Il 2024 è l'anno dei Premi Nobel “alle reti neurali”

Premio Nobel per la Fisica

Uso di strumenti della fisica per sviluppare sistemi di apprendimento automatico, a partire da dati

Premio Nobel per la Chimica

Sviluppo di un modello di AI (AlphaFold) per predire la struttura delle proteine a partire da una sequenza di amminoacidi



1982

John Hopfield discovers the Hopfield network, an associative memory structure that can store and recreate patterns⁵



1985

Geoffrey Hinton uses the Hopfield network to build the Boltzmann machine, which resembles modern day artificial neural networks⁶



1988

Scientists begin to use artificial neural networks in protein structure prediction^{41,42}



2010

Demis Hassabis co-founds DeepMind, an AI-focused company later sold to Google in 2014⁴³



2018

Hassabis develops AlphaFold, which achieves a protein prediction accuracy of ~60%, an improvement on the ~40% accuracy that scientists previously achieved⁴⁴



2020

John Jumper refines AlphaFold to develop AlphaFold2 using deep learning, achieving a protein structure prediction accuracy of ~90%, effectively solving the 50-year protein prediction challenge¹⁵

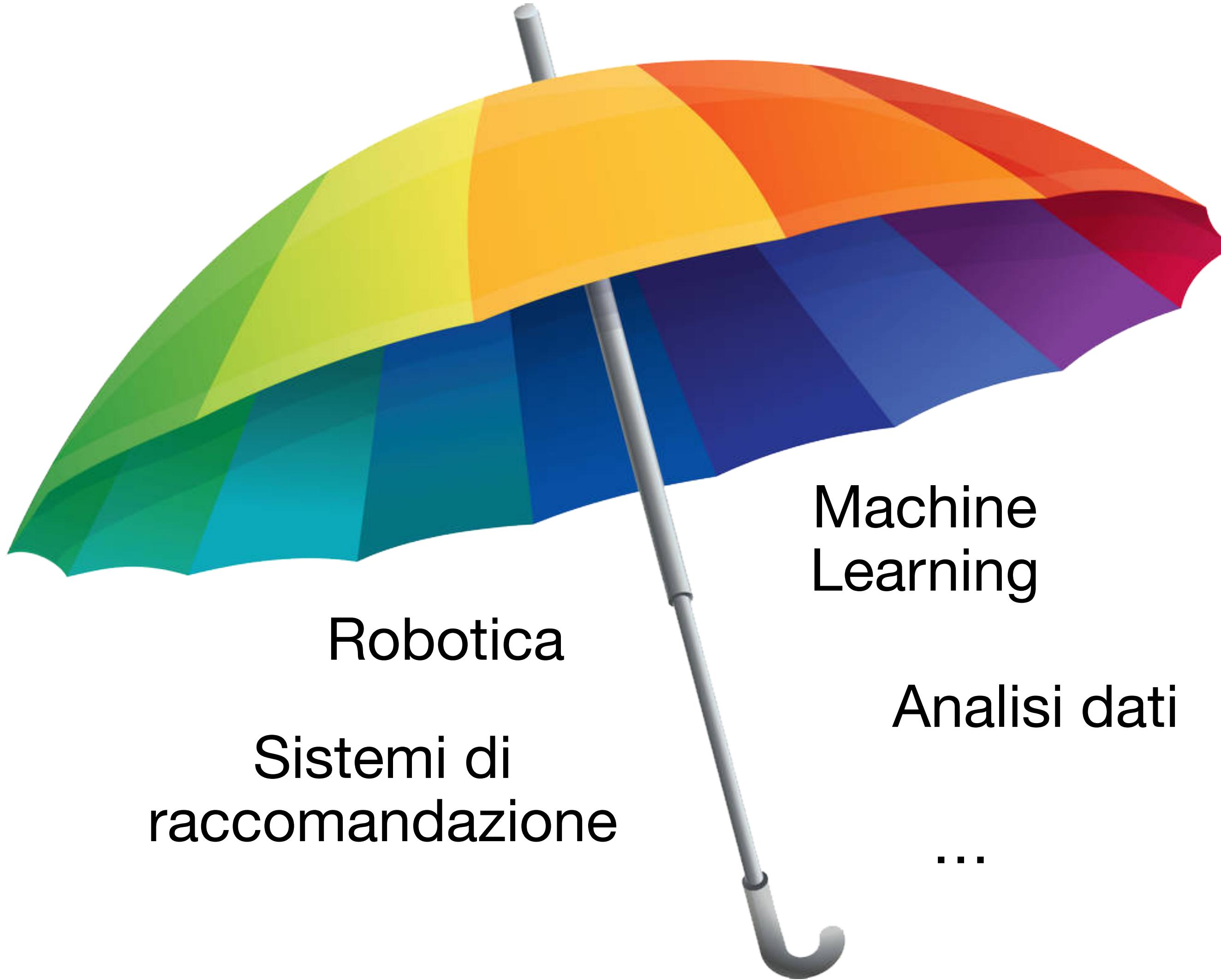


2024

The publicly available AlphaFold2 model has been used by more than 2 million people across 190 countries²

Intelligenza Artificiale è un termine ombrello

Per riferirsi a macchine che mimano l'intelligenza umana



Discipline collegate all'IA:

- Matematica
- Informatica
- Neuroscienze
- Economia
- Linguistica
- Filosofia
- ...

Cos'è il Machine Learning?

Il Machine Learning (apprendimento automatico) è una branca dell’Intelligenza Artificiale il cui scopo è **insegnare ad una macchina** uno specifico compito, **senza che sia esplicitamente programmata, a partire dai dati.**

Cos'è il Machine Learning?

Il Machine Learning (apprendimento automatico) è una branca dell’Intelligenza Artificiale il cui scopo è **insegnare ad una macchina** uno specifico compito, **senza che sia esplicitamente programmata, a partire dai dati.**

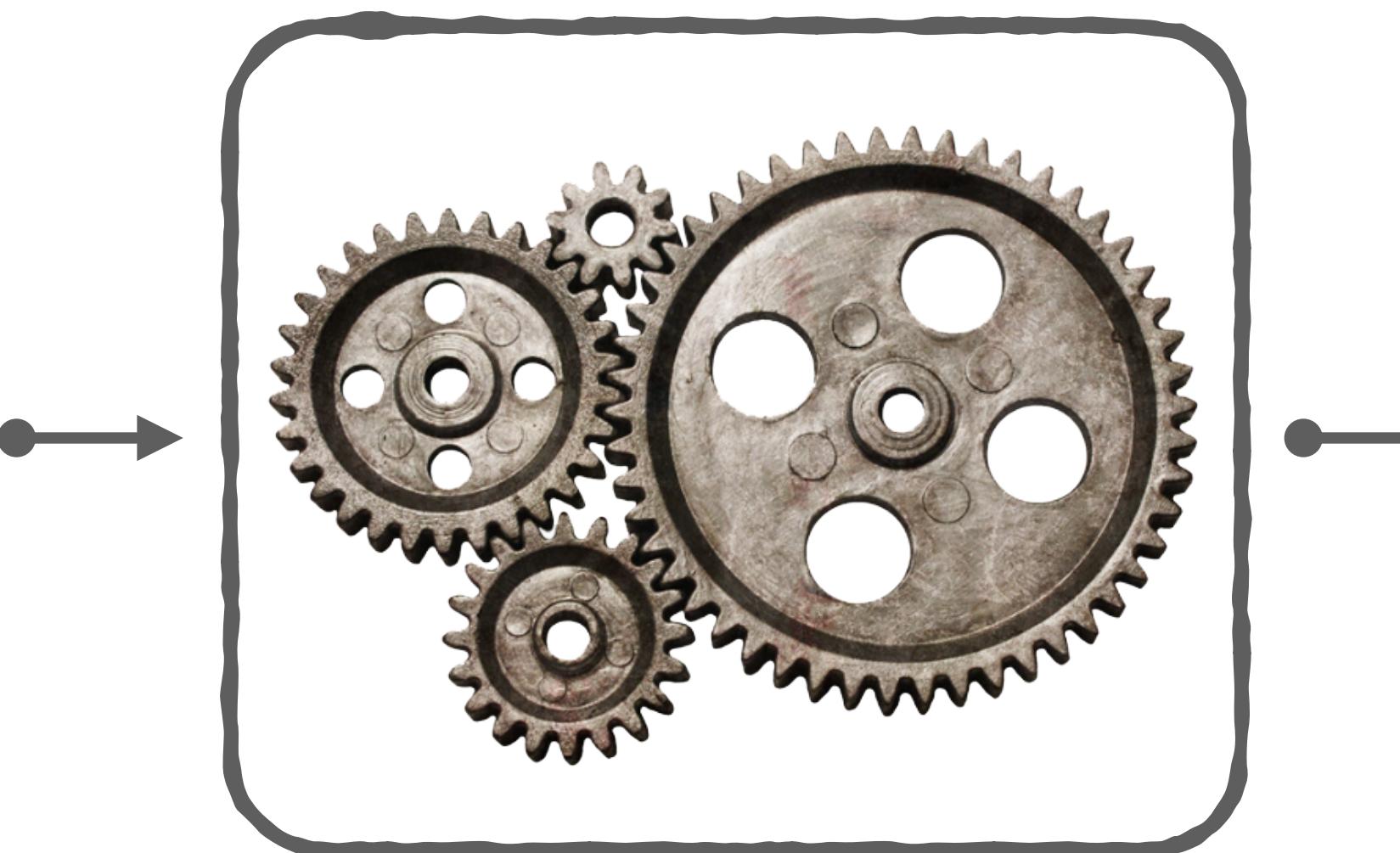
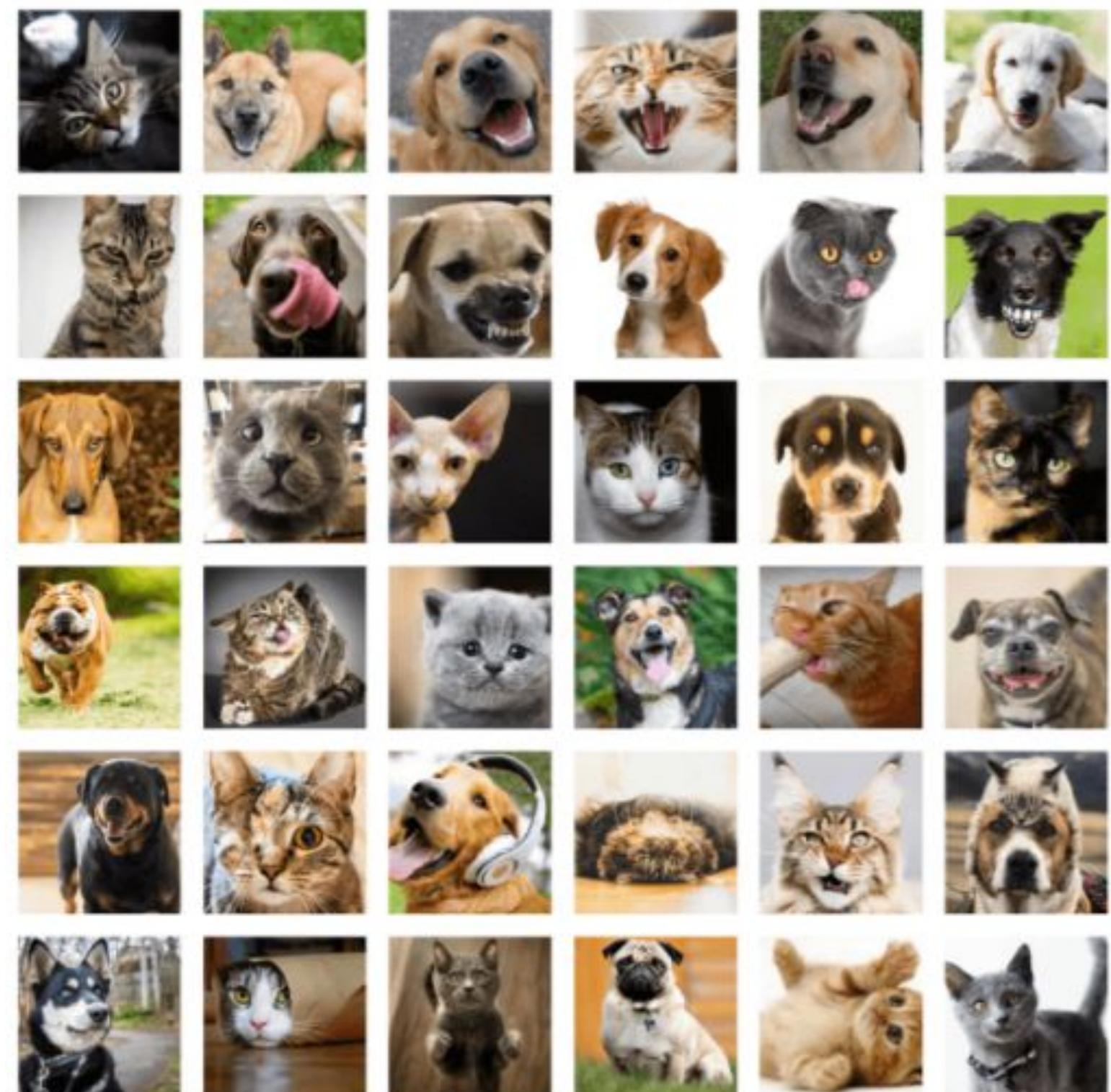
$$2 ? 2 = 4$$

Cos'è il Machine Learning?

Il Machine Learning (apprendimento automatico) è una branca dell’Intelligenza Artificiale il cui scopo è **insegnare ad una macchina** uno specifico compito, **senza che sia esplicitamente programmata, a partire dai dati.**

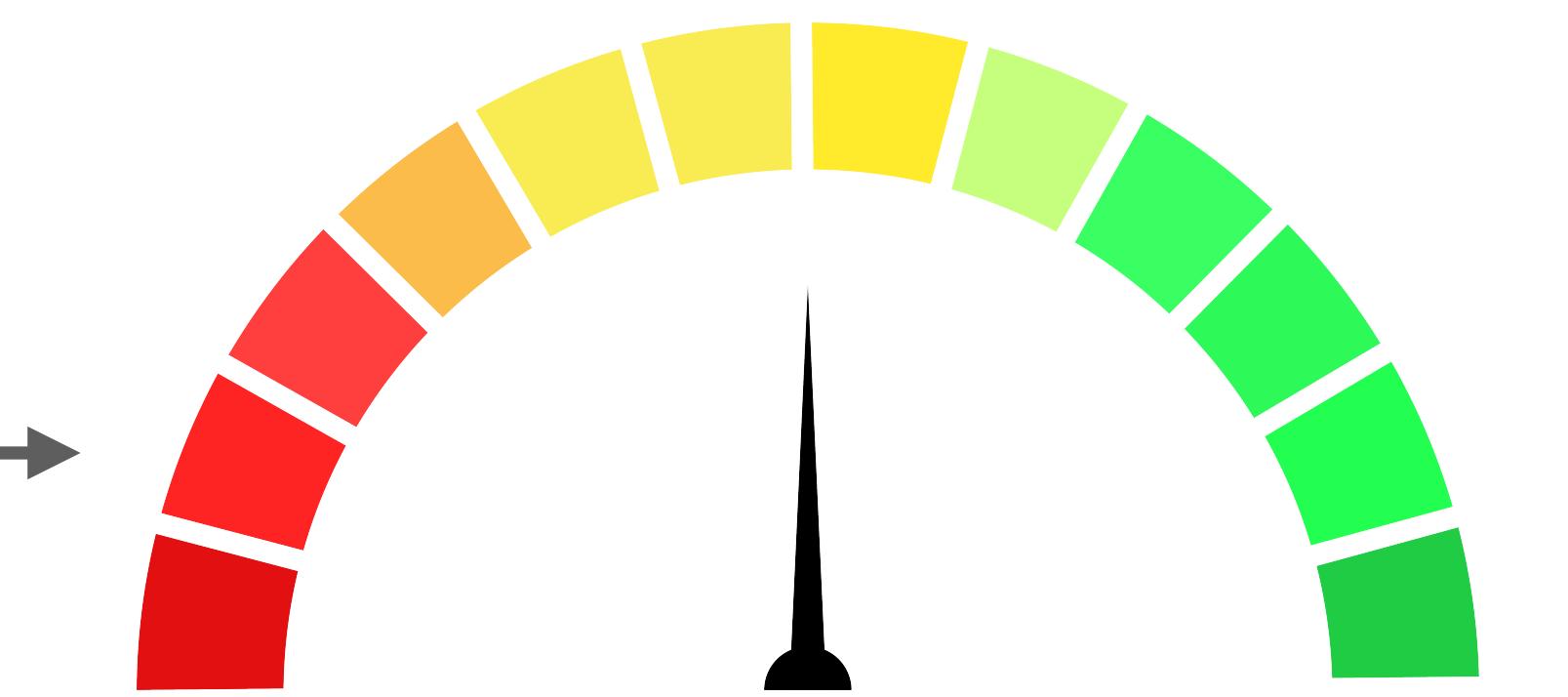
$$\begin{array}{l} 2 ? 2 = 4 \\ 5 ? 5 = 10 \\ 3 ? 6 = 9 \\ 1 ? 3 = 4 \\ 2 ? 6 = 8 \end{array}$$

Il Machine Learning impara dai dati...



Modello

Dati

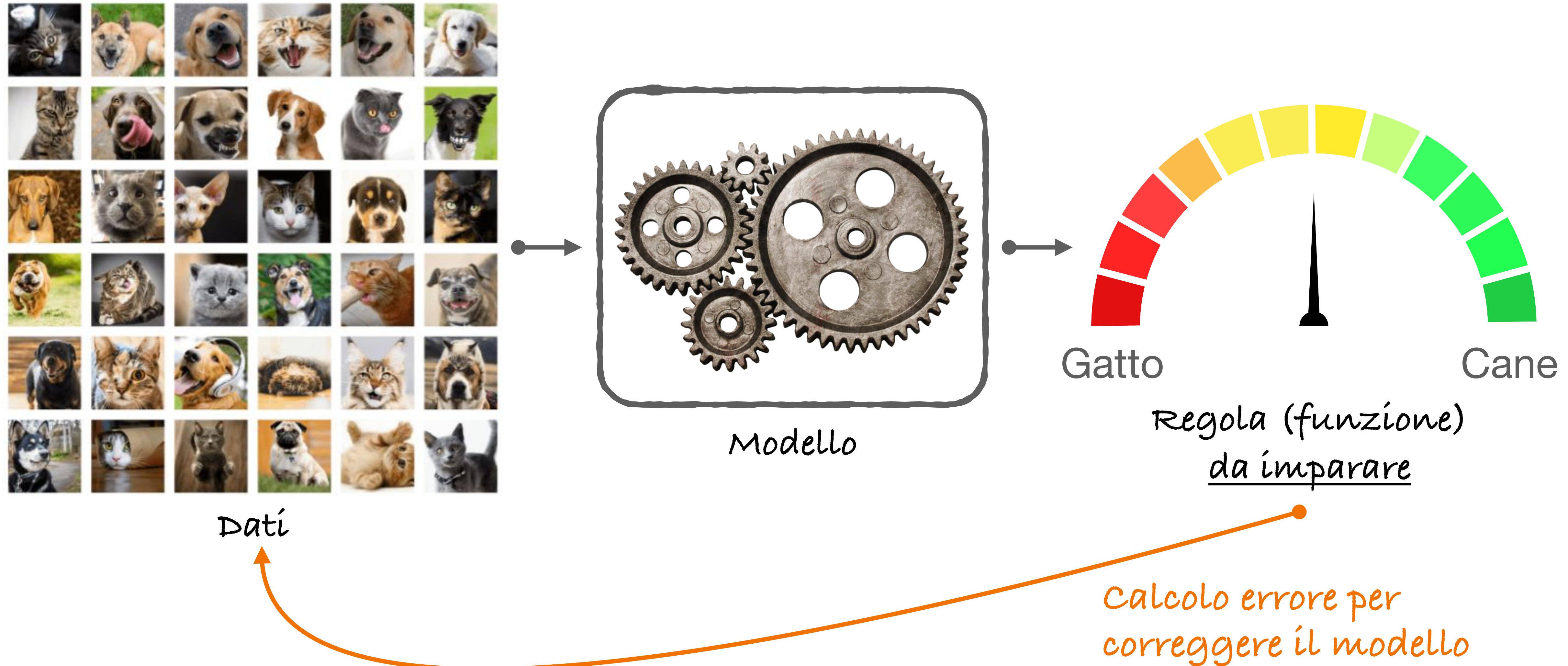


Gatto

Cane

Regola (funzione)
da imparare

Il Machine Learning impara dai dati...



... per fare previsioni su nuovi dati

il modello deve essere
in grado di
generalizzare



Nuovi Dati



“Gatto”
output

Modello Allenato

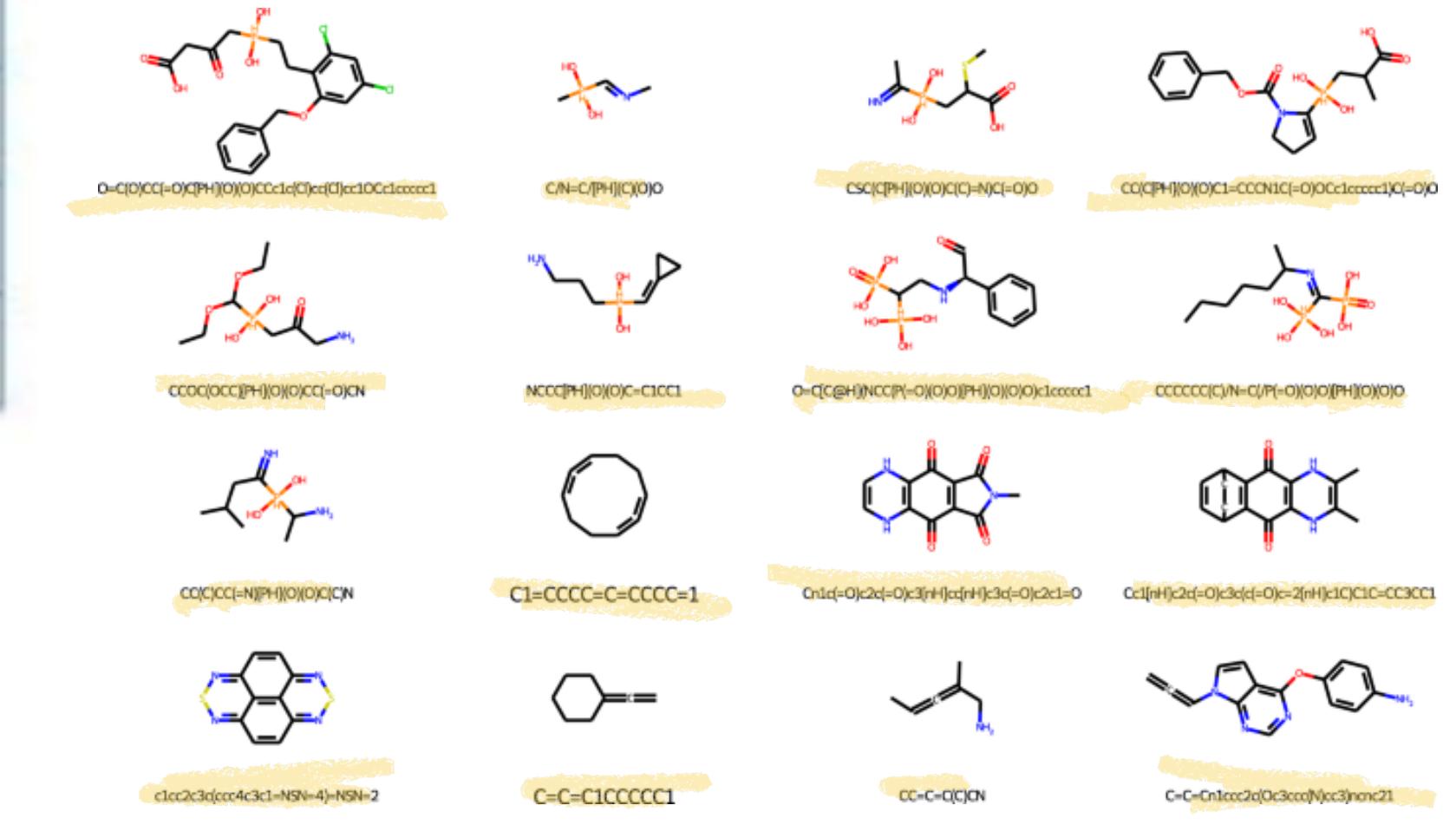
3 principali tipi di Machine Learning

Apprendimento supervisionato

Dataset composto da dati etichettati, l'obiettivo è predire le etichette



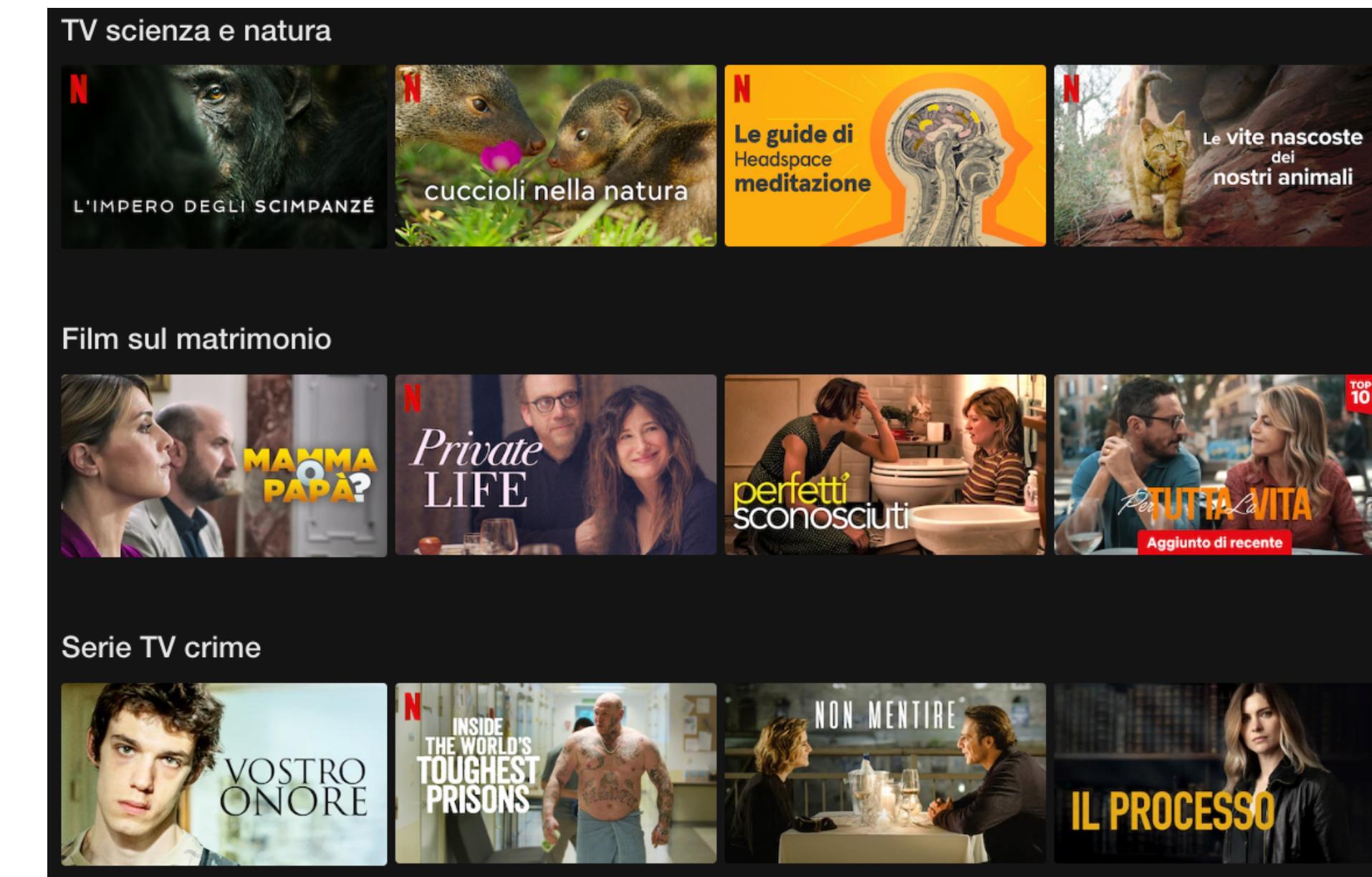
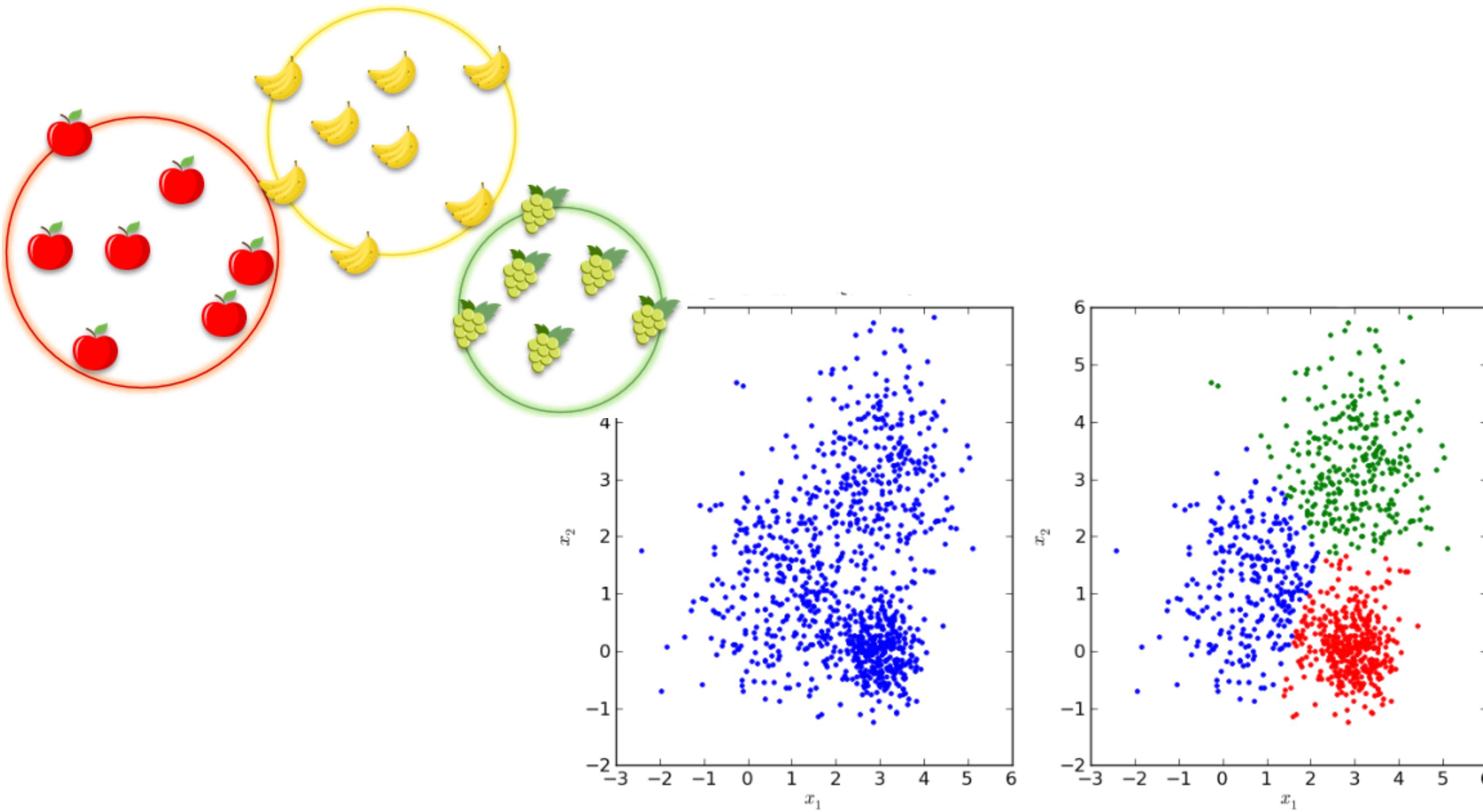
Petalo Lunghezza	Petalo Larghezza	Sepalo Lunghezza	Sepalo Larghezza	Specie
5.1	3.5	1.4	0.2	Iris setosa
4.9	3.0	1.4	0.2	Iris setosa
7.0	3.2	4.7	1.4	Iris versicolor
6.4	3.2	4.5	1.5	Iris versicolor
6.3	3.3	6.0	2.5	Iris virginica
5.8	3.3	6.0	2.5	Iris virginica



3 principali tipi di Machine Learning

Apprendimento non supervisionato

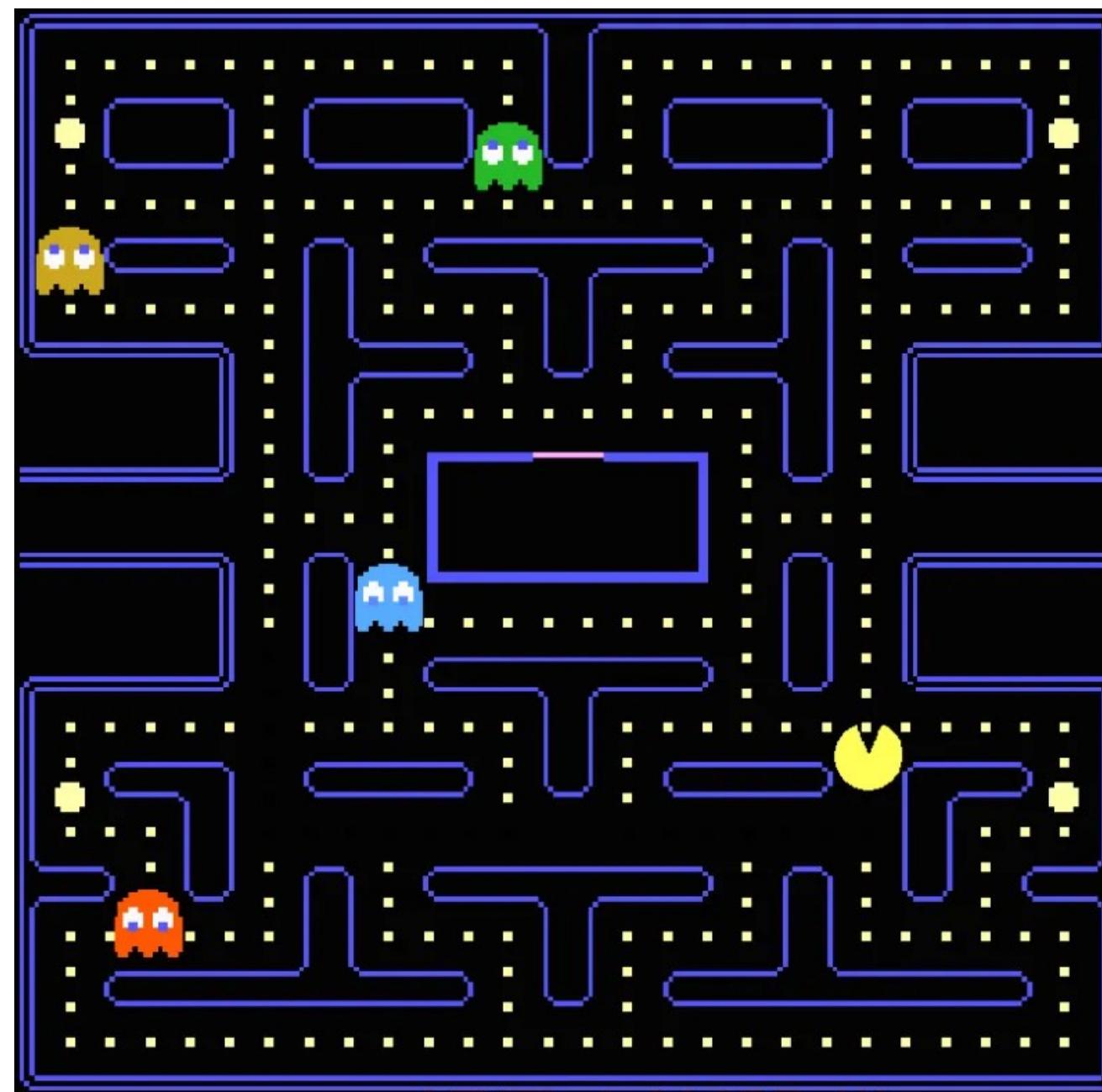
Dataset composto da **dati non etichettati**, l'obiettivo è raggruppare dati simili



3 principali tipi di Machine Learning

Apprendimento per rinforzo

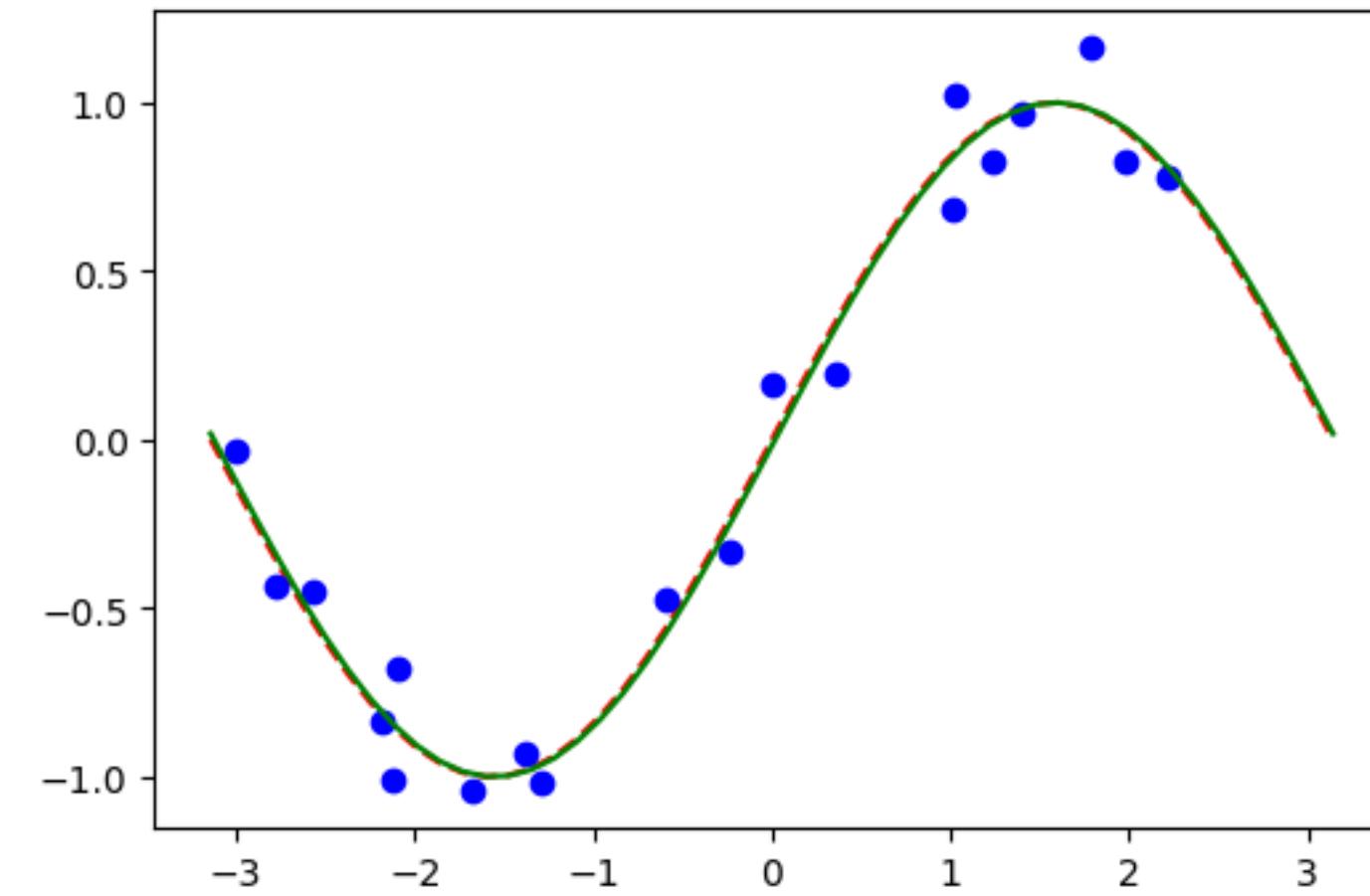
Il modello è un agente che si muove in un ambiente e compie delle azioni, in base alla bontà delle azioni riceve una ricompensa positiva o negativa.



Regressione vs Classificazione nel machine learning supervisionato

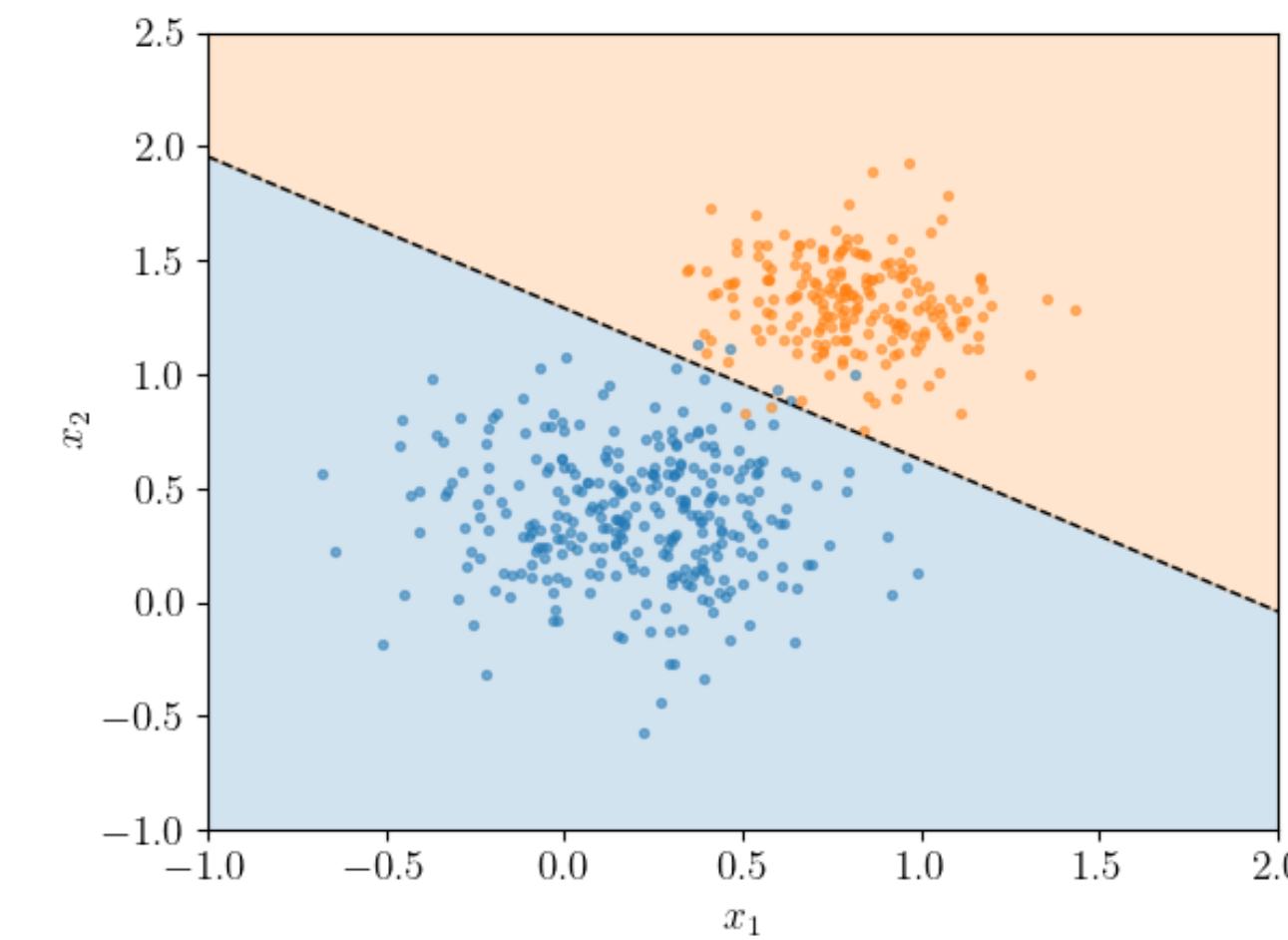
Regressione

L'etichetta è una variabile
quantitativa/numerica (continua)



Classificazione

L'etichetta è una variabile
qualitativa/categorica (discreta)

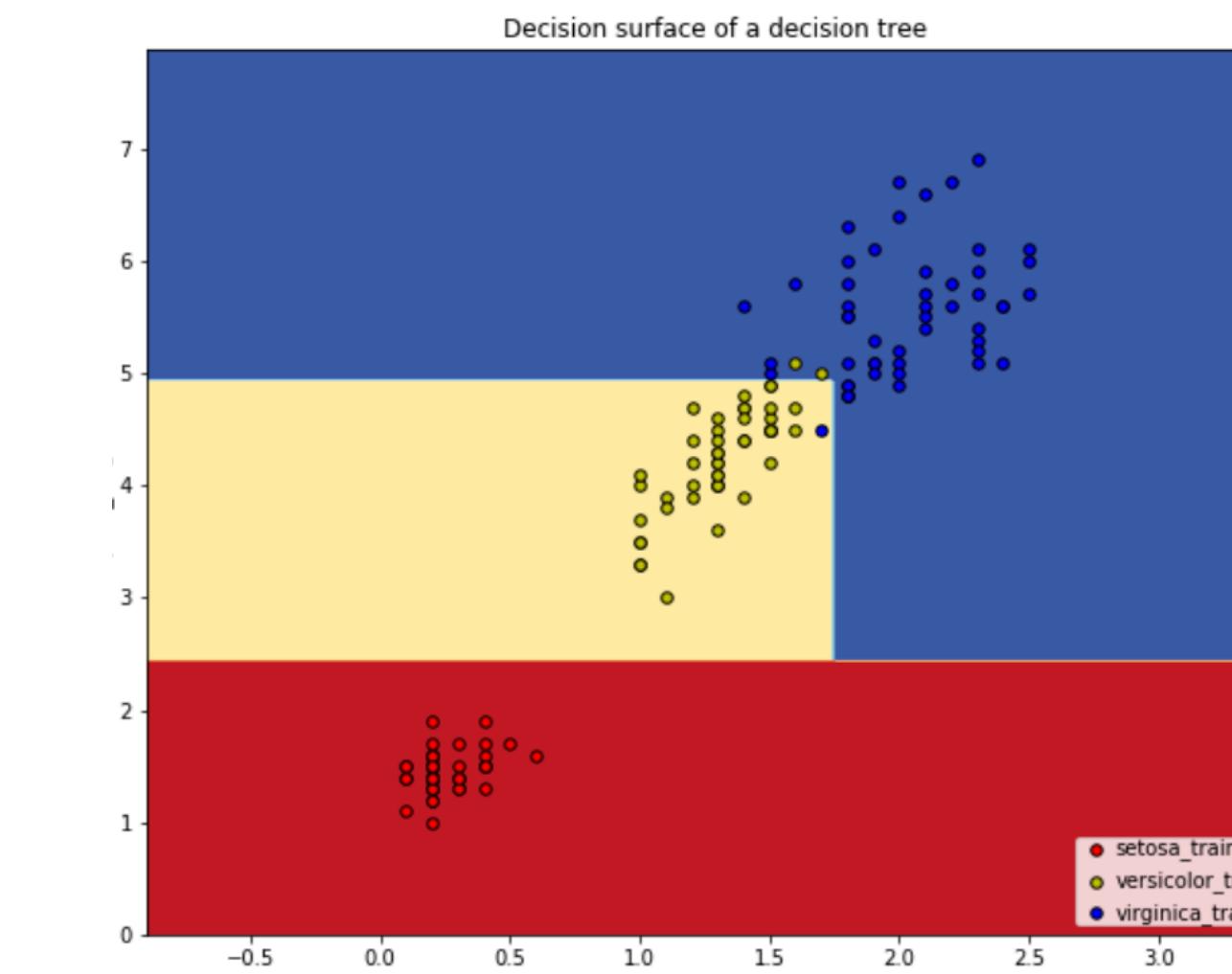
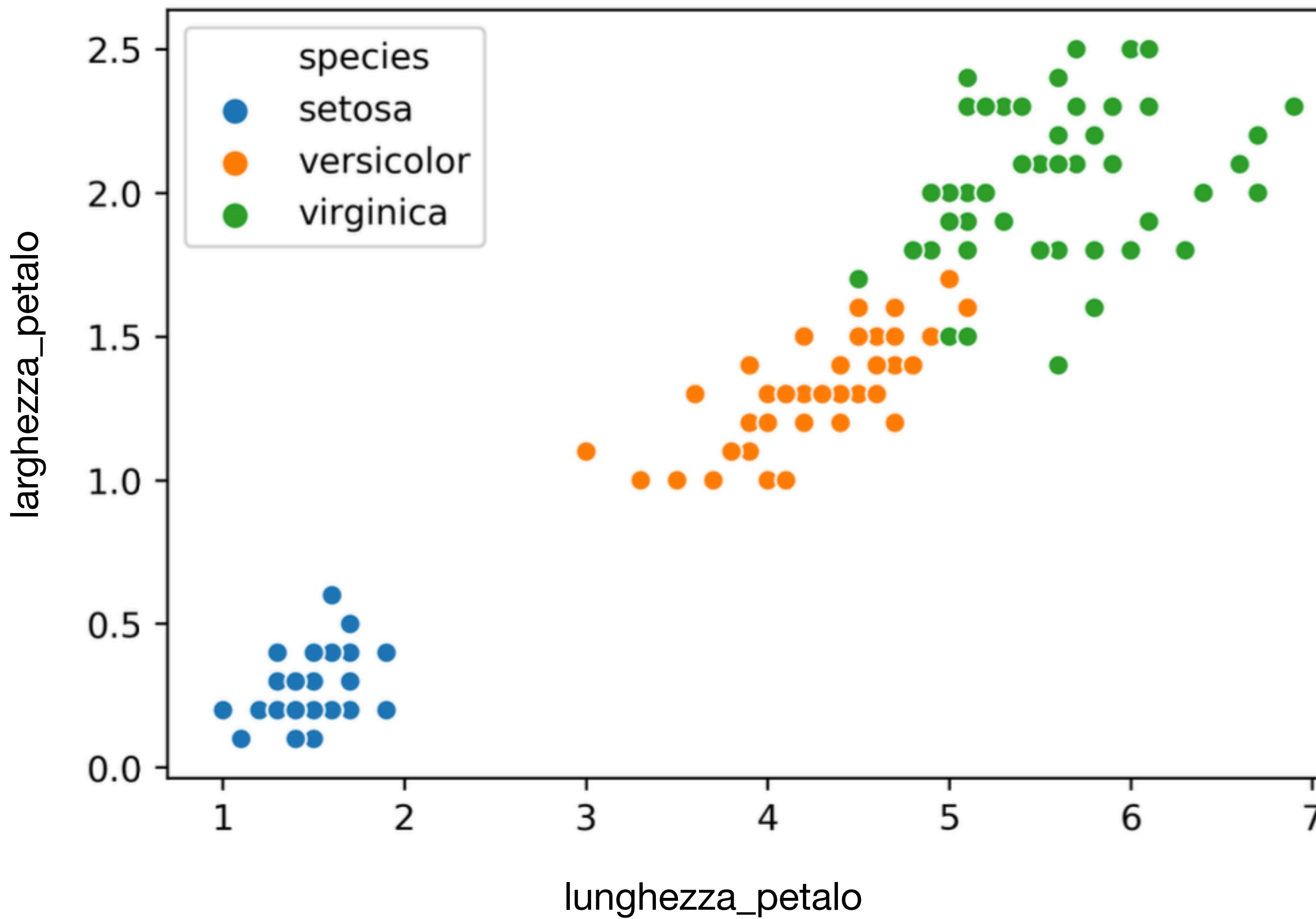


I regressori stimano la relazione tra dati ed etichetta

I classificatori separano i dati

Un Esempio di Supervised Learning

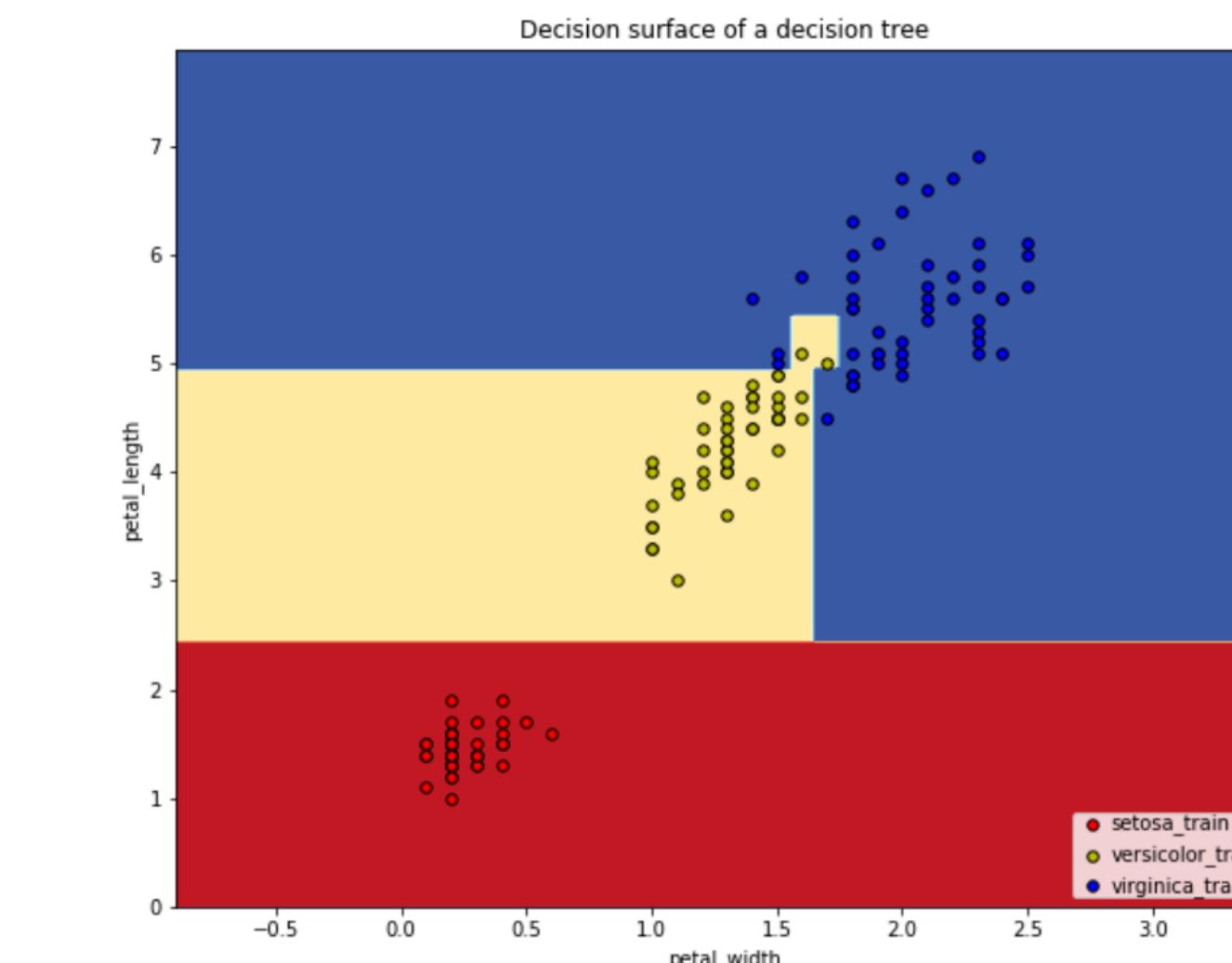
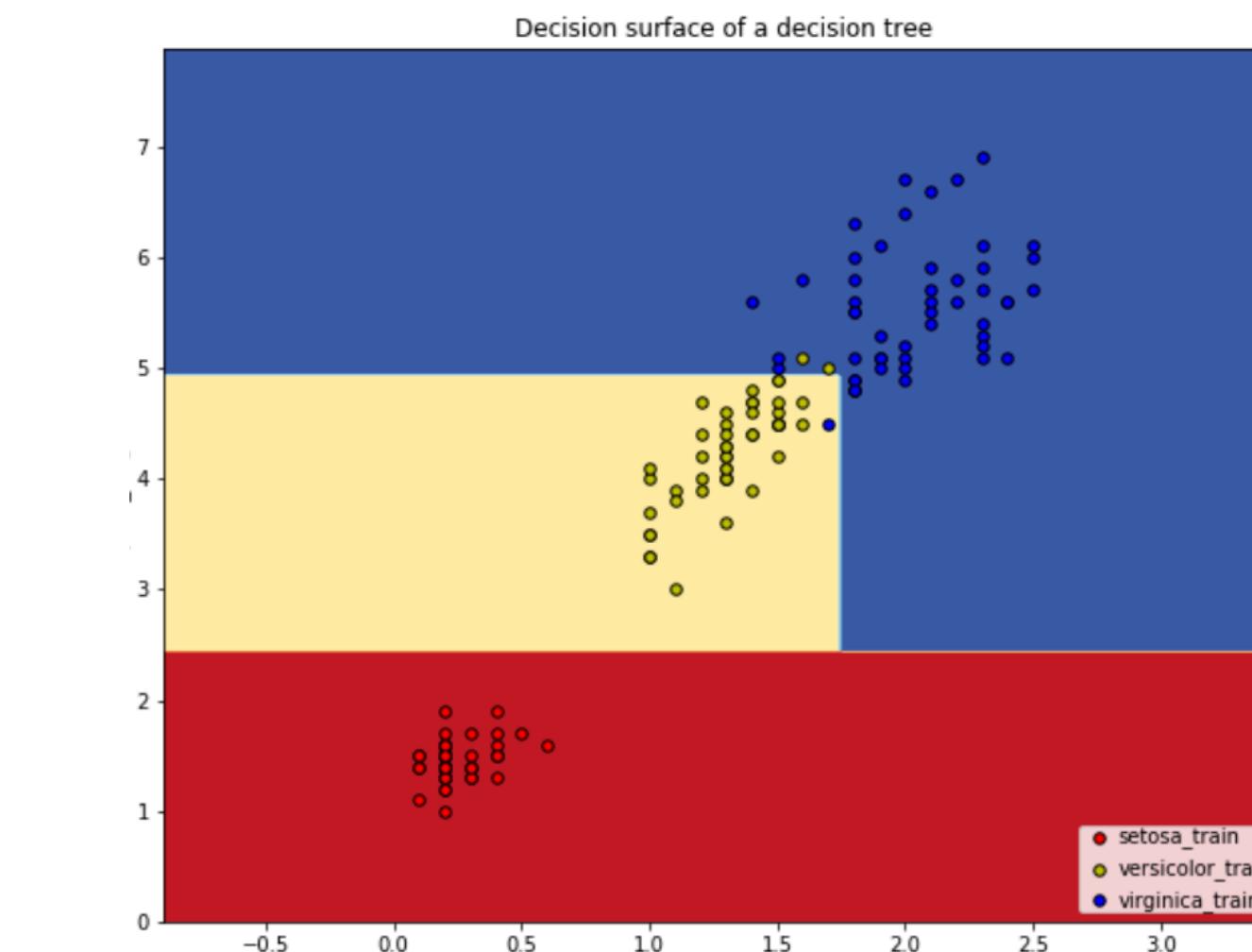
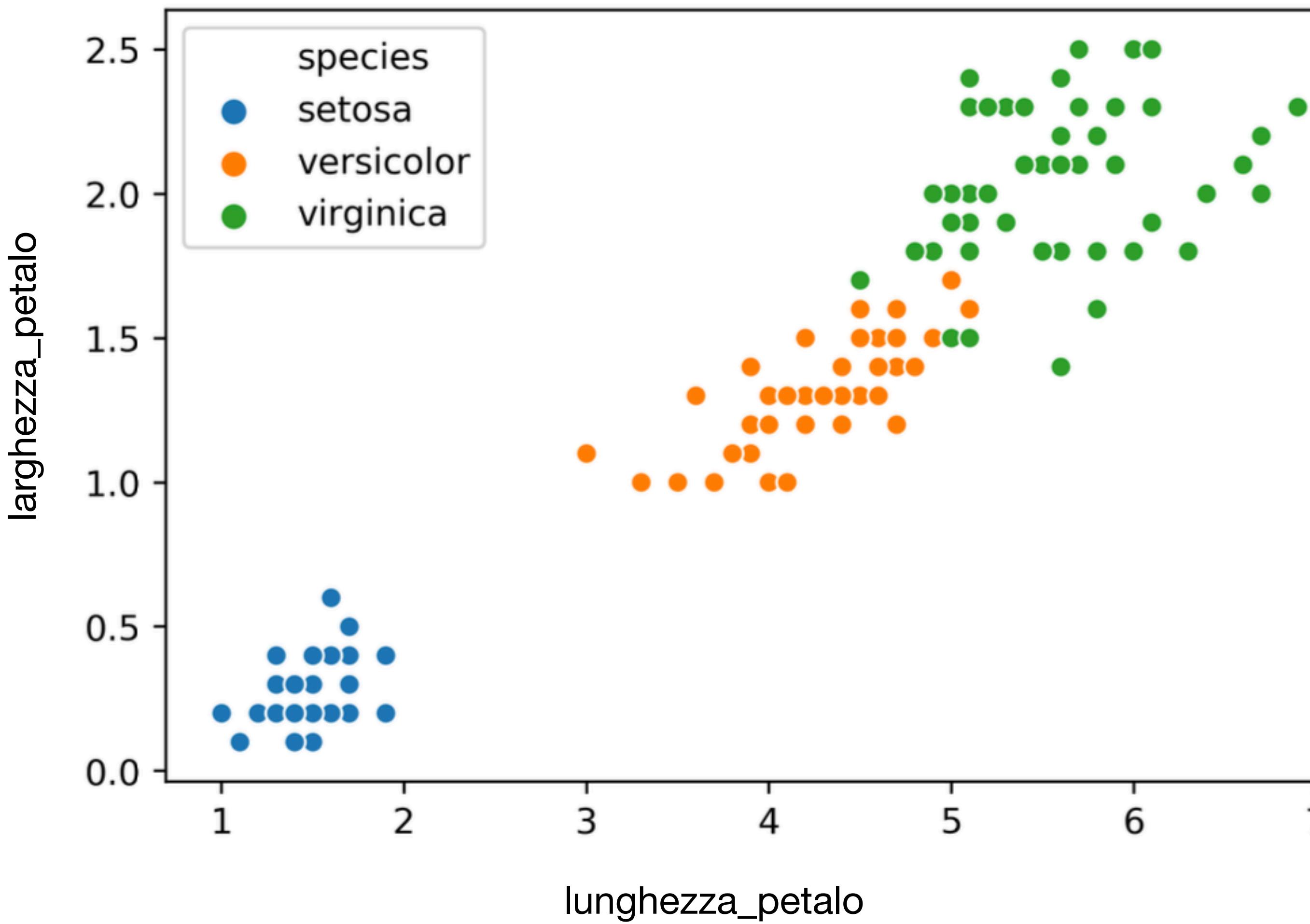
Classificare le specie di fiori



Quasi mai si ottiene un risultato perfetto

Un Esempio di Supervised Learning

Classificare le specie di fiori



Quasi mai si ottiene un risultato perfetto

..e spesso è meglio così!

MNIST Dataset

Immagini che rappresentano cifre scritte a mano



Apprendimento supervisionato:

( , 5)

( , 3)

MNIST Dataset

Immagini che rappresentano cifre scritte a mano



Apprendimento supervisionato:



Che tipo di ML è:

- Regressione
- Classificazione

MNIST Dataset

Immagini che rappresentano cifre scritte a mano



Apprendimento supervisionato:



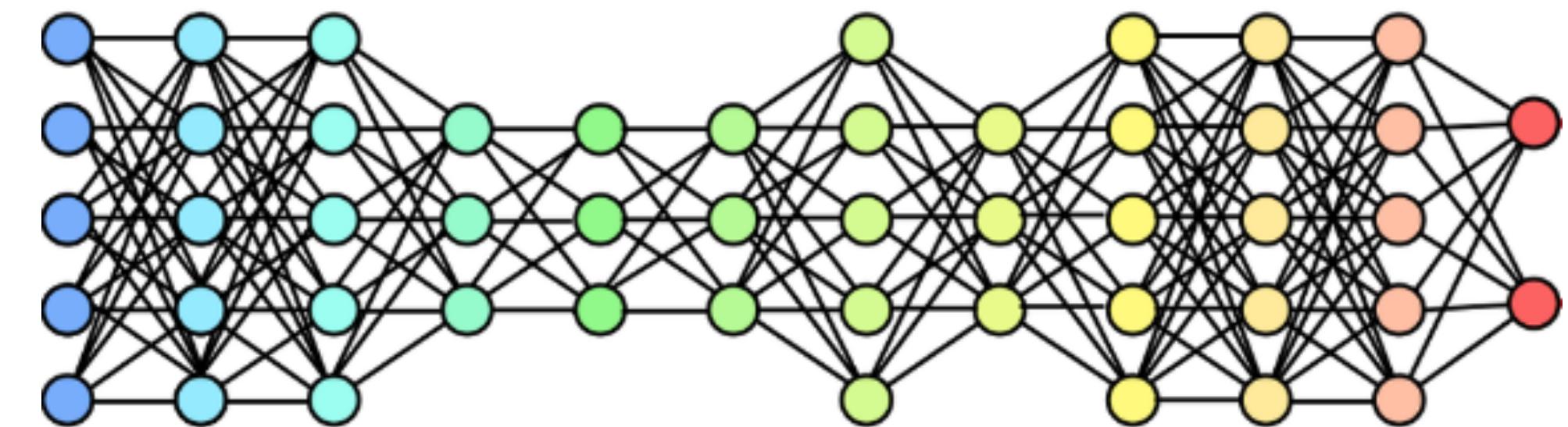
Che tipo di ML è:

- Regressione
- Classificazione

Suggerimento: le cifre possibili sono 10 (numeri interi da 0 a 9)

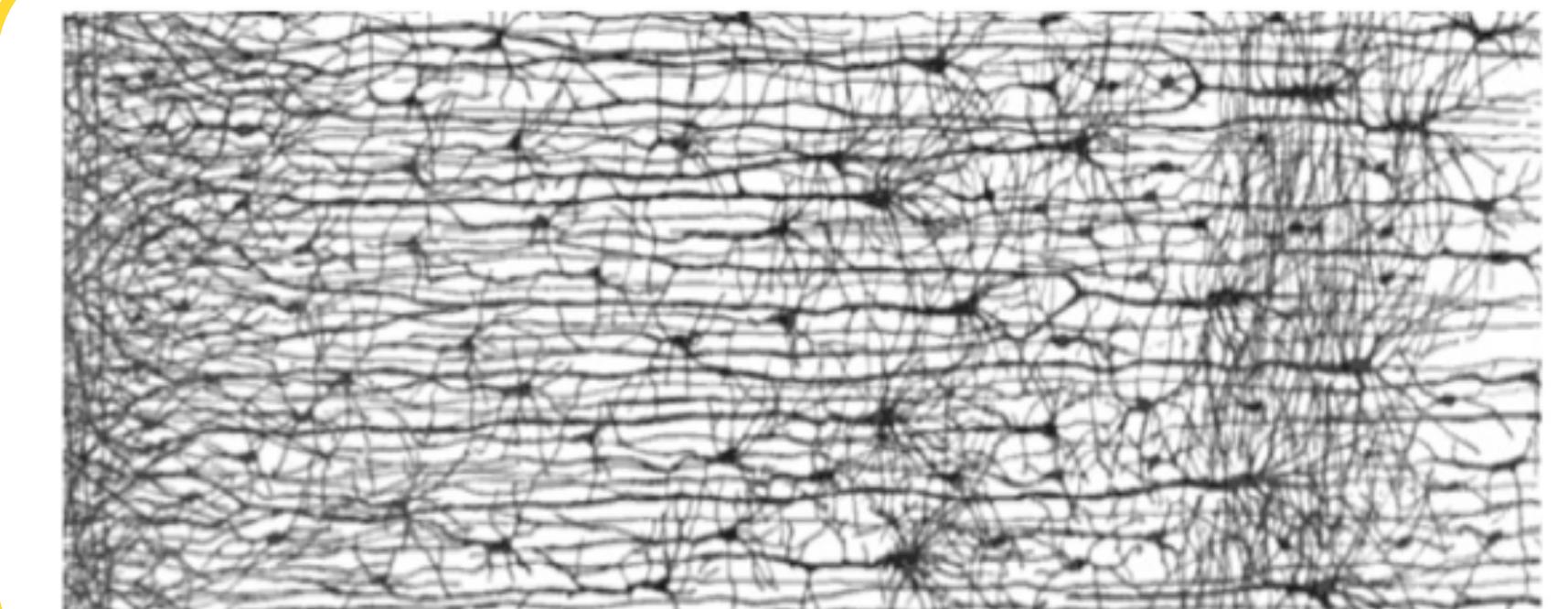
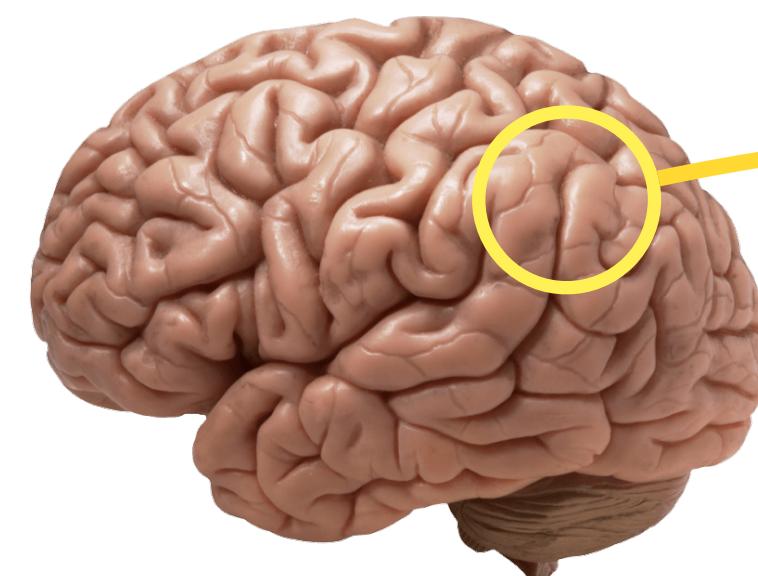
Cos'è il Deep Learning?

Il Deep Learning (apprendimento profondo) è un approccio al Machine Learning che **si ispira al funzionamento del cervello umano.**



Rete Neurale Artificiale

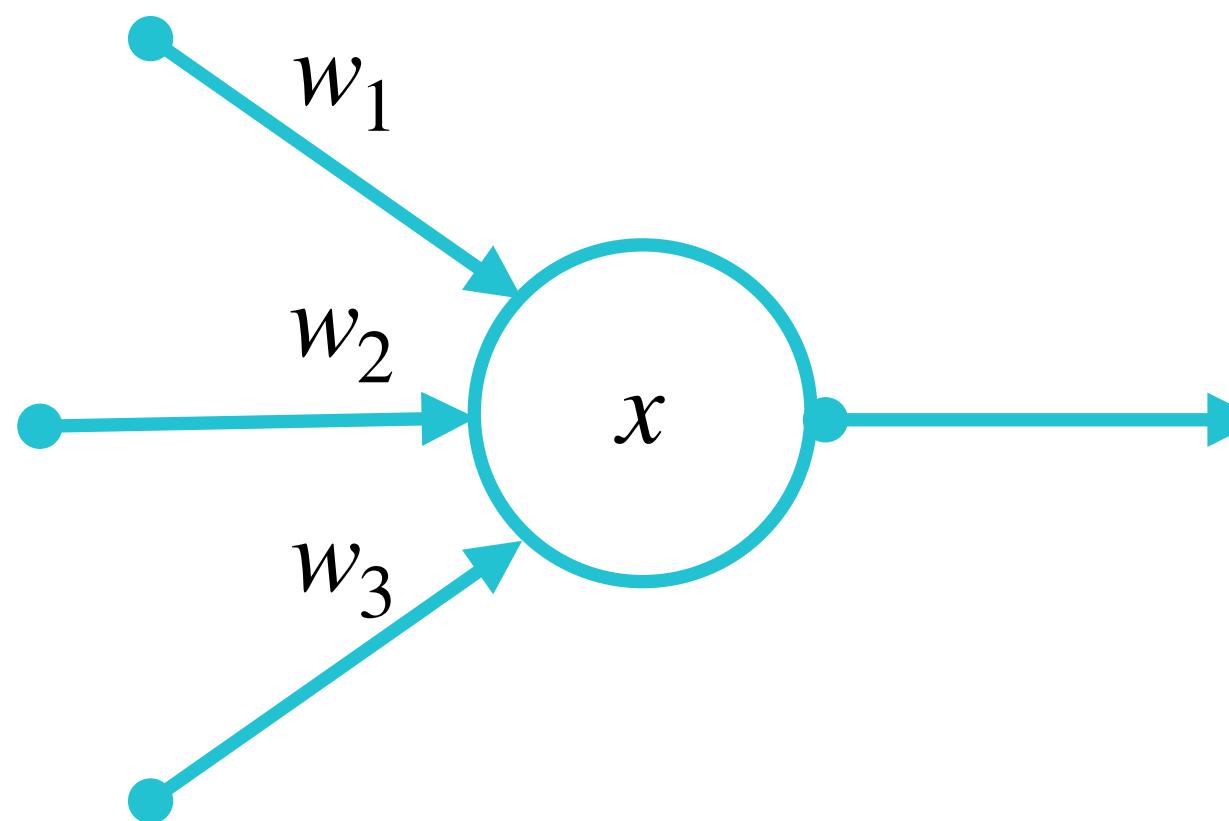
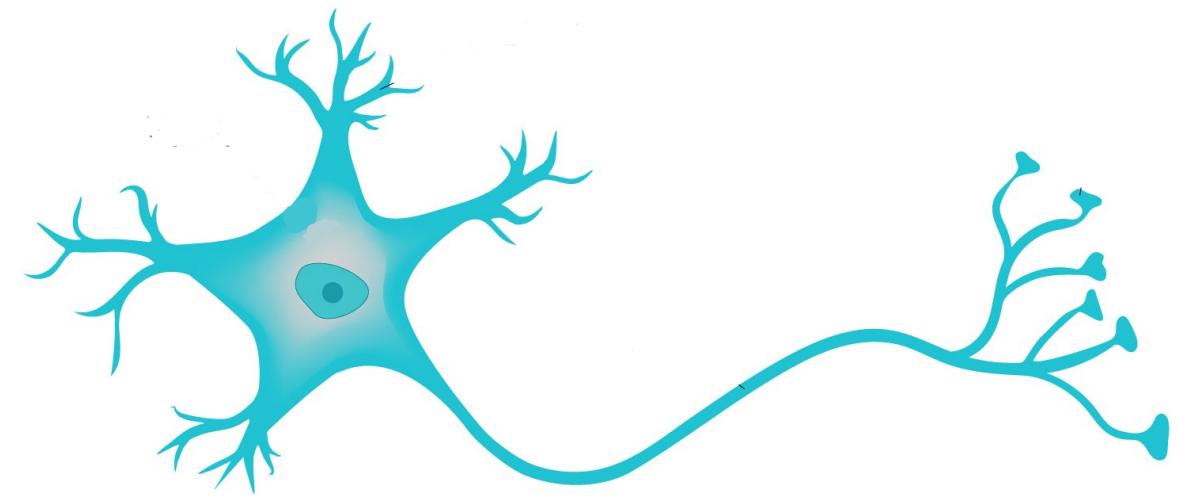
Le Reti Neurali Artificiali sono il modello computazionale su cui si basa il deep learning



Organizzazione dei neuroni nel cervello

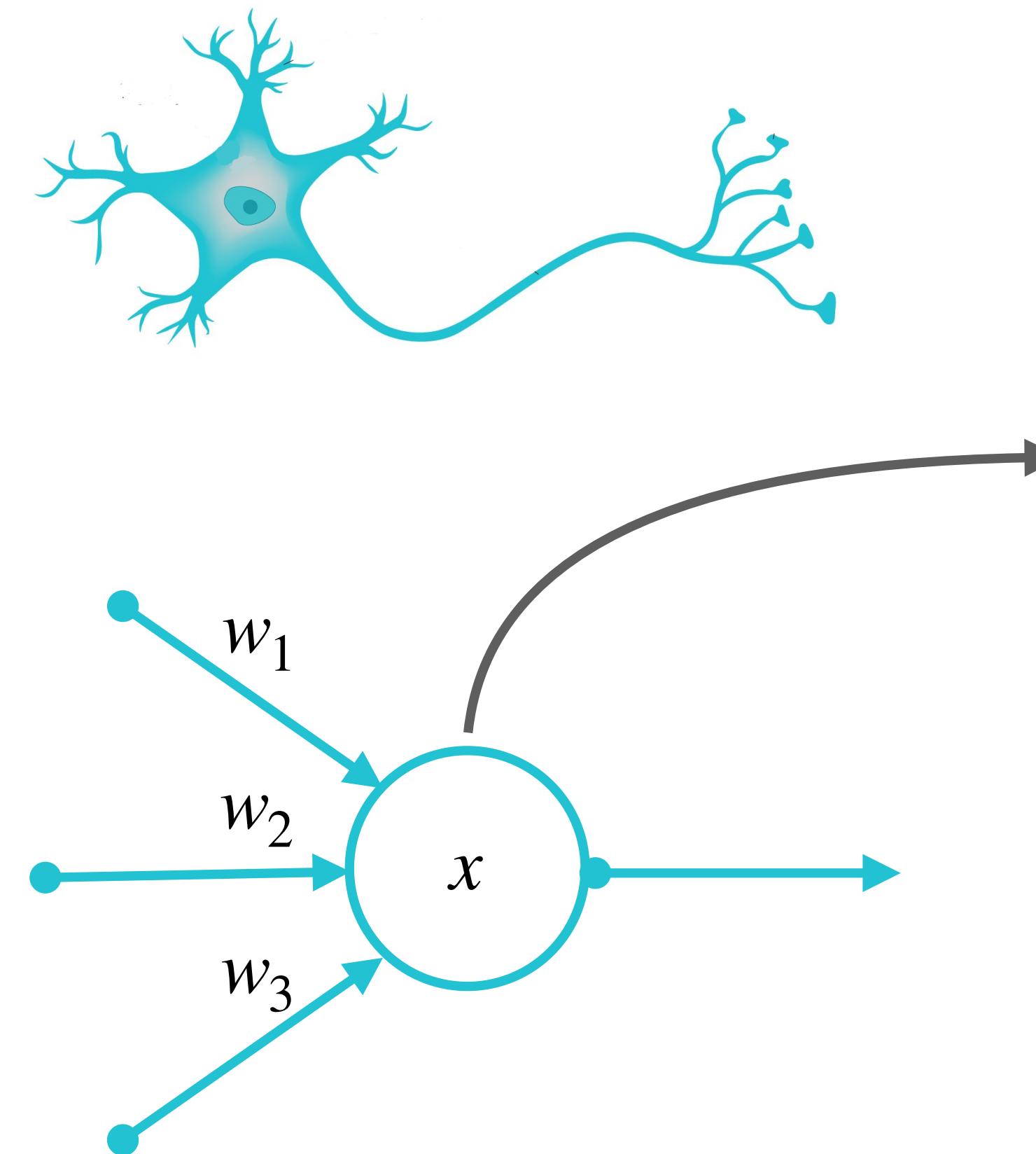
Neuroni Artificiali

Ovvero le strutture più semplici che compongono una Rete Neurale



Neuroni Artificiali

Ovvero le strutture più semplici che compongono una Rete Neurale

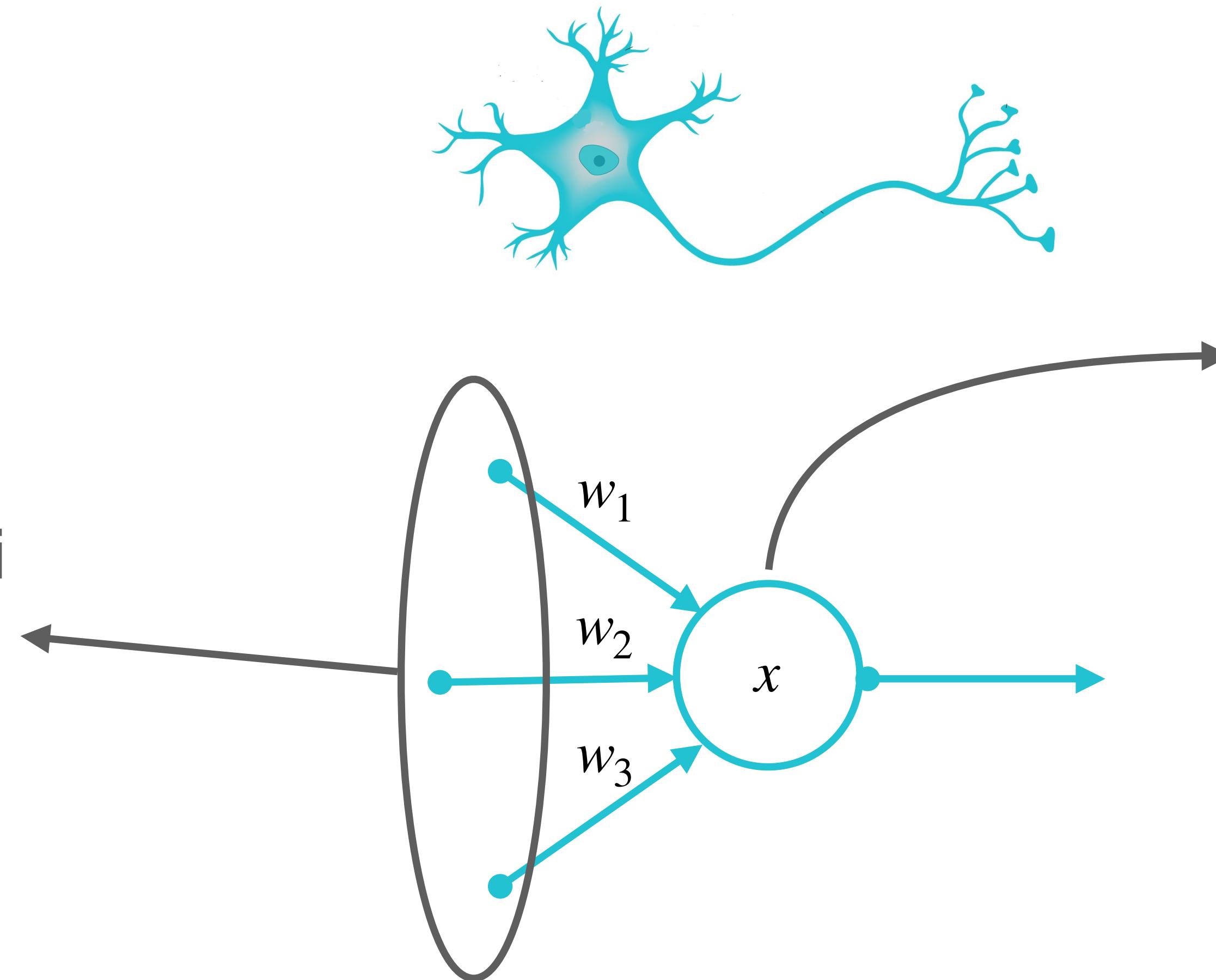


Il neurone artificiale
contiene un numero ed
esegue una semplice
operazione

Neuroni Artificiali

Ovvero le strutture più semplici che compongono una Rete Neurale

I neuroni hanno
delle connessioni
tra loro sia in
entrata che in
uscita

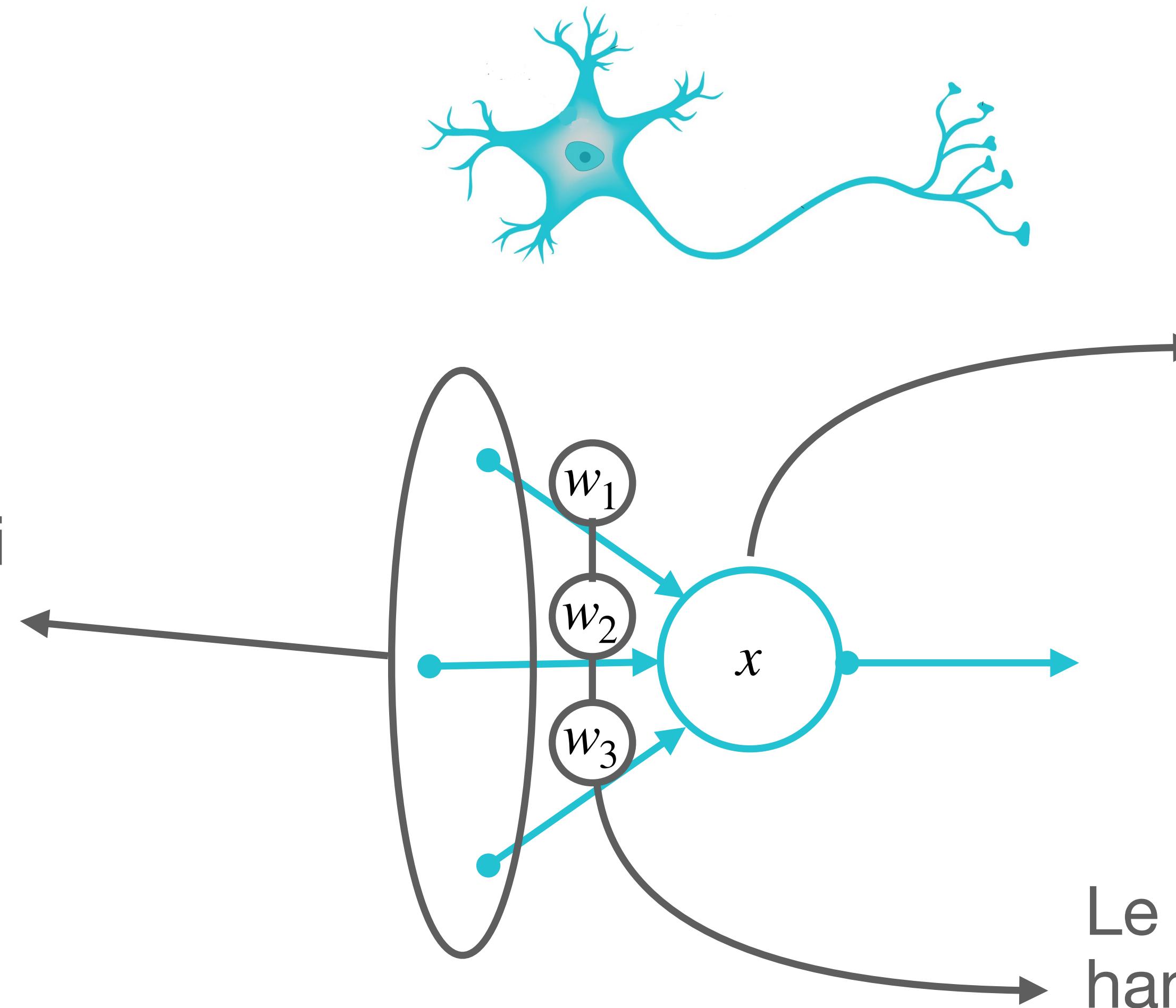


Il neurone artificiale
contiene un numero ed
esegue una semplice
operazione

Neuroni Artificiali

Ovvero le strutture più semplici che compongono una Rete Neurale

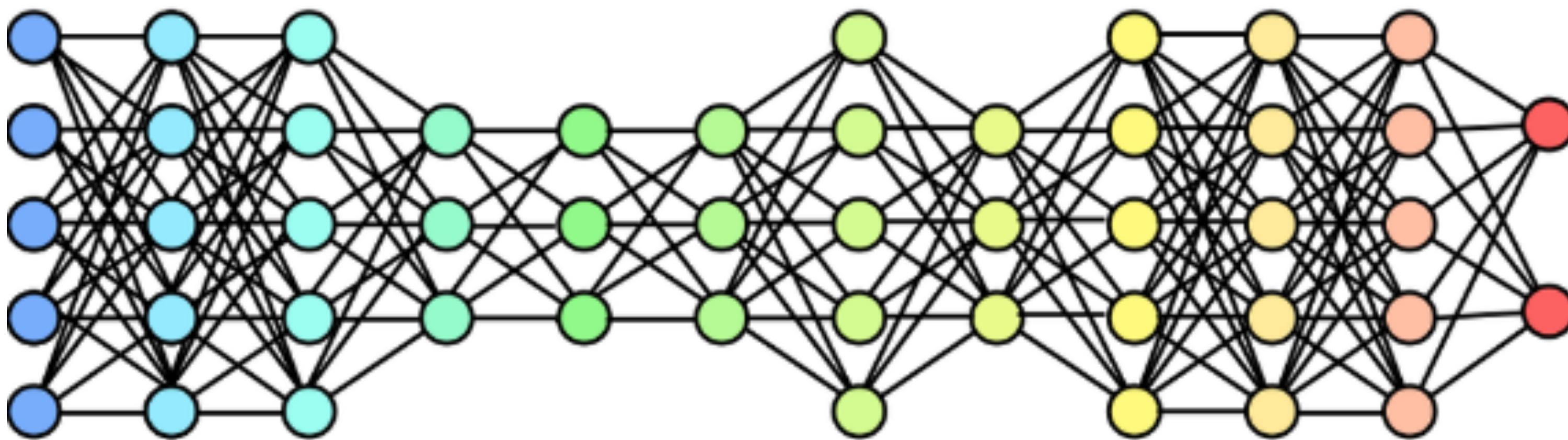
I neuroni hanno
delle connessioni
tra loro sia in
entrata che in
uscita



Il neurone artificiale
contiene un numero ed
esegue una semplice
operazione

Le connessioni tra neuroni
hanno un peso (rappresentato
da un numero)

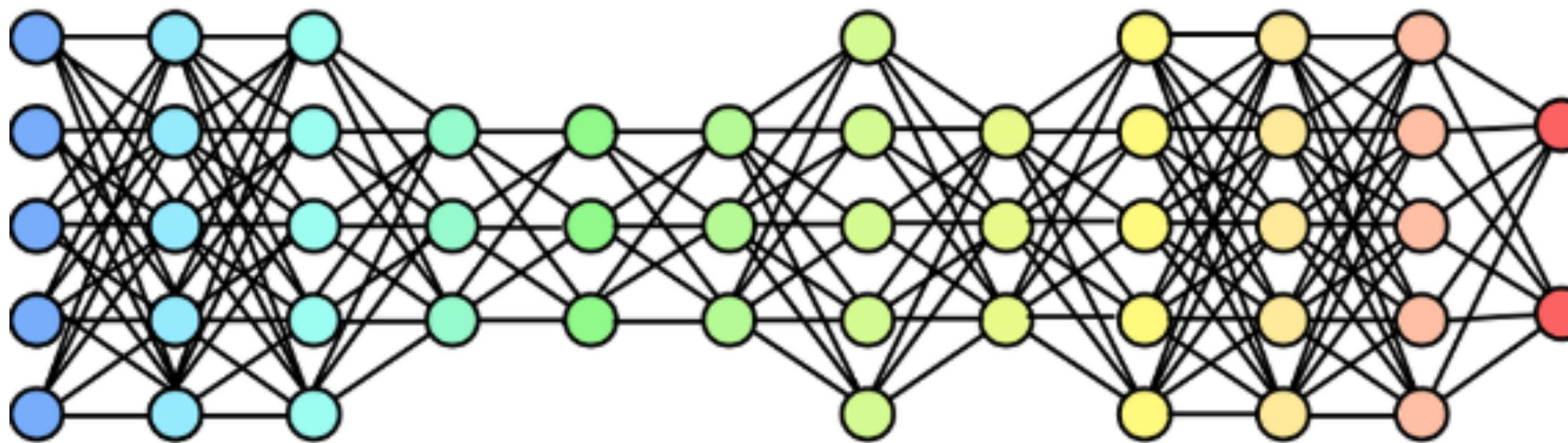
I Neuroni Artificiali sono connessi tra loro dando così vita alle Reti Neurali



I neuroni sono organizzati in strati/livelli:

- I neuroni appartenenti allo stesso strato non hanno connessioni tra loro;
- Il primo strato si chiama di *input*;
- L'ultimo strato si chiama di *output*;
- Gli strati intermedi sono detti *nascosti*.

I Neuroni Artificiali sono connessi tra loro dando così vita alle Reti Neurali

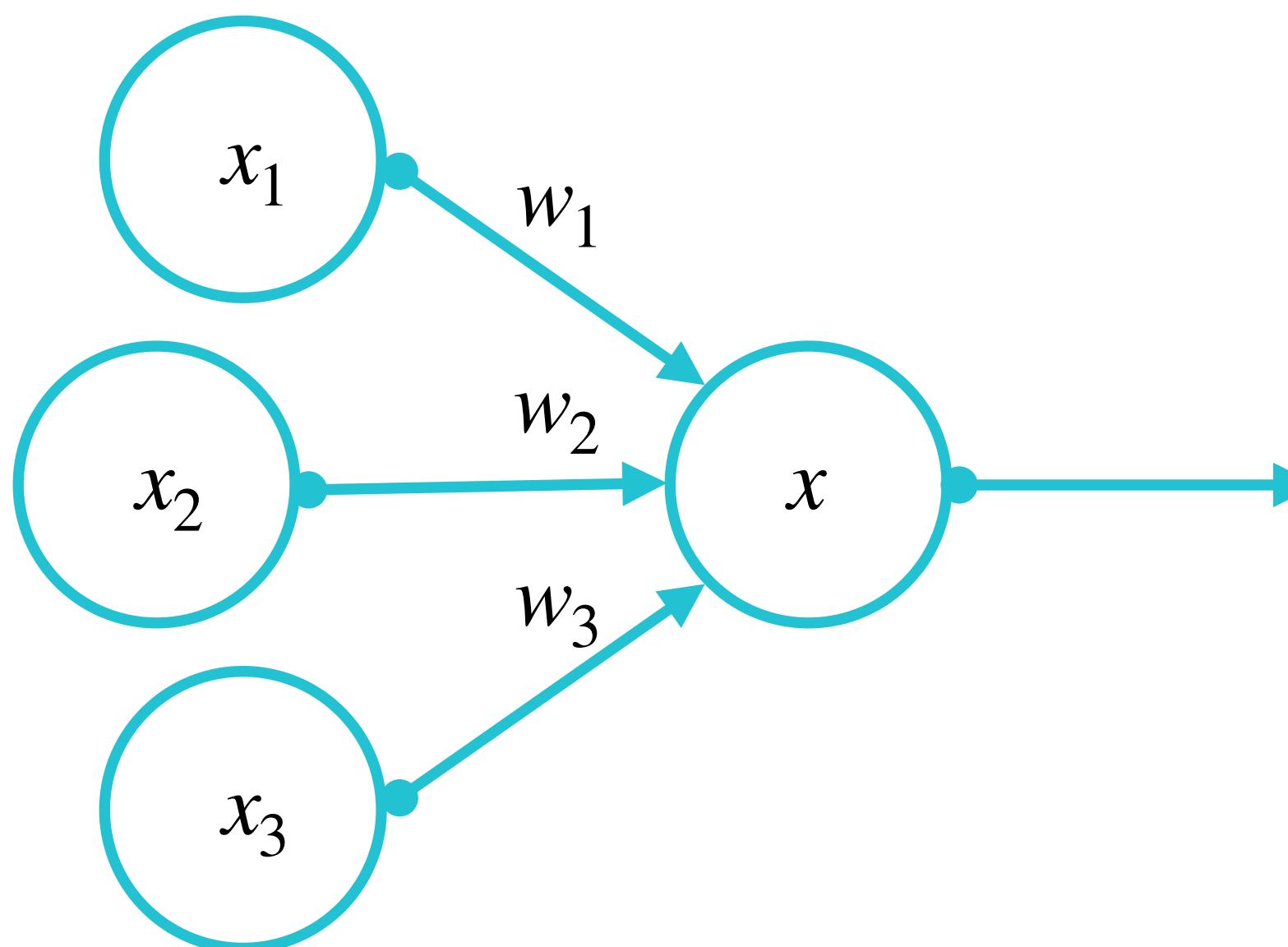


I neuroni sono organizzati in strati/livelli:

- I neuroni appartenenti allo stesso strato non hanno connessioni tra loro;
- Il primo strato si chiama di *input*;
- L'ultimo strato si chiama di *output*;
- Gli strati intermedi sono detti *nascosti*.

una rete neurale in cui tutti i neuroni di uno strato sono connessi a tutti quelli dello strato successivo si chiama Rete Neurale Completamente Connessa (Multi Layer Perceptron - MLP)

Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

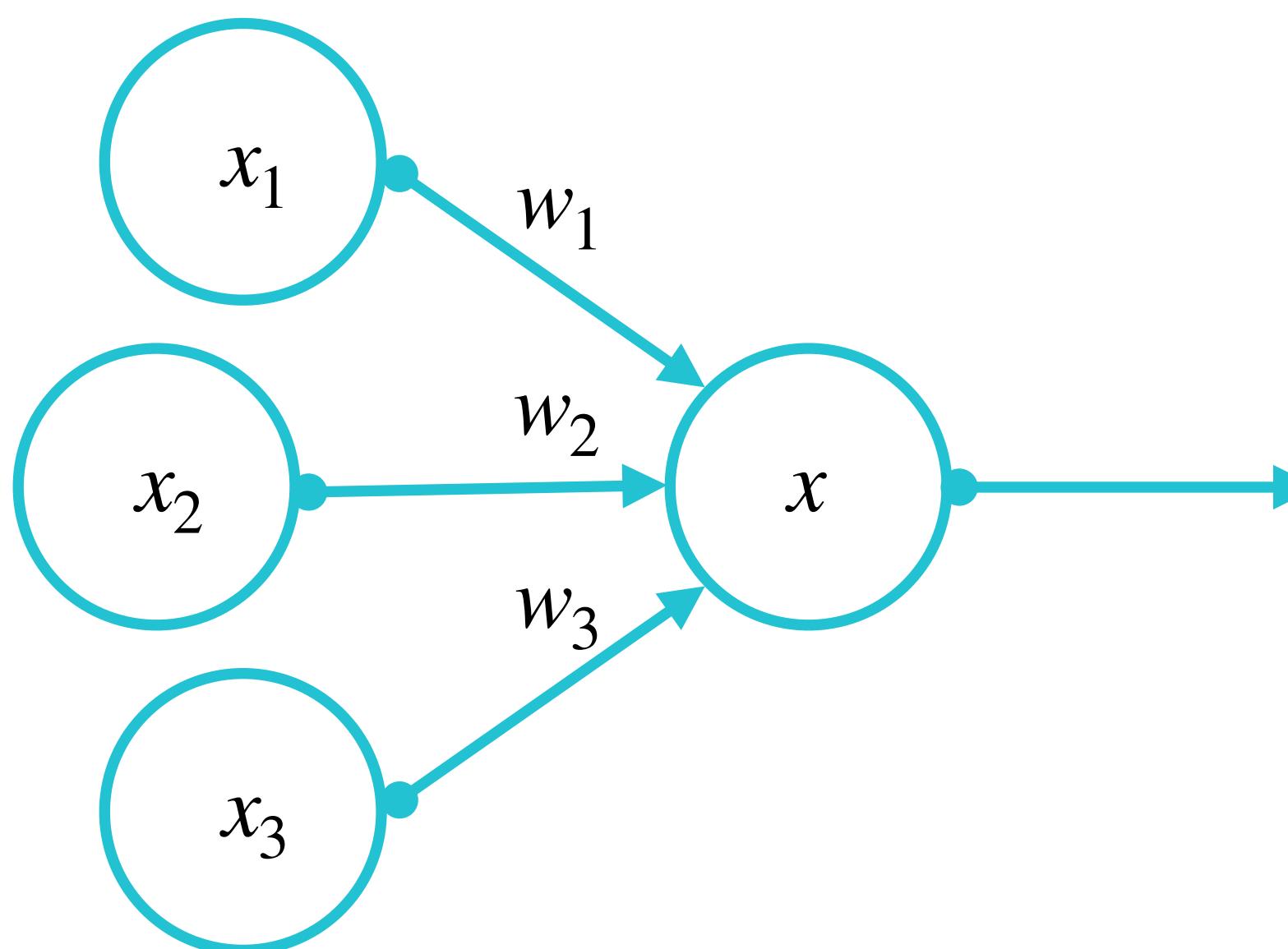


Step 1:

Combinazione lineare del valore dei neuroni dello strato precedente, usando come coefficienti i pesi delle connessioni

$$x = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3$$

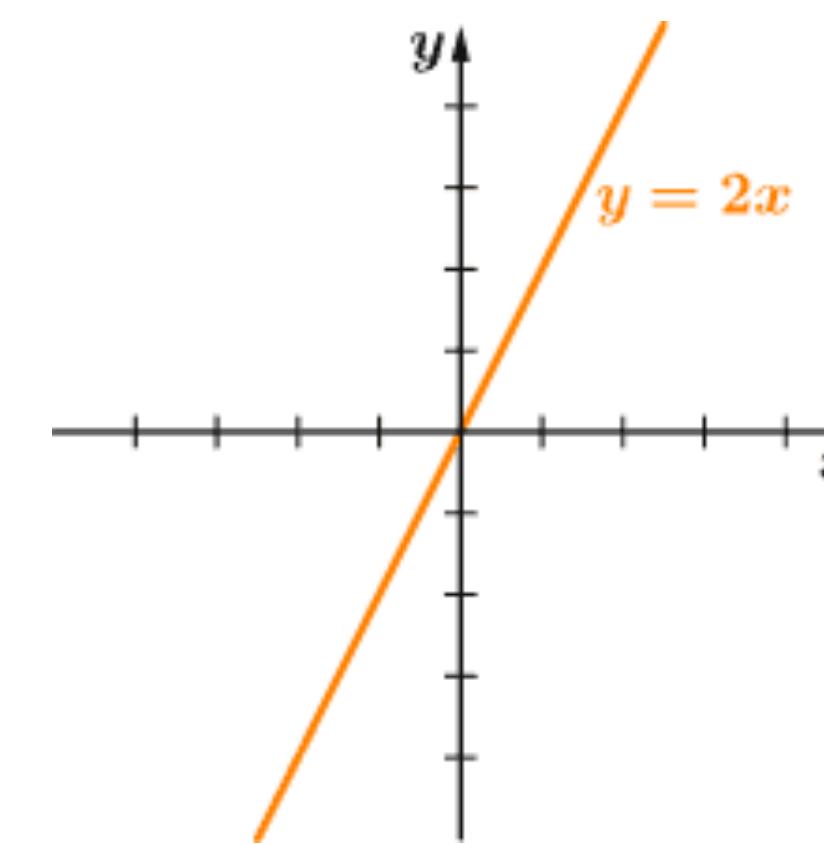
Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene



Step 1:

Combinazione lineare del valore dei neuroni dello strato precedente, usando come coefficienti i pesi delle connessioni

$$x = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3$$

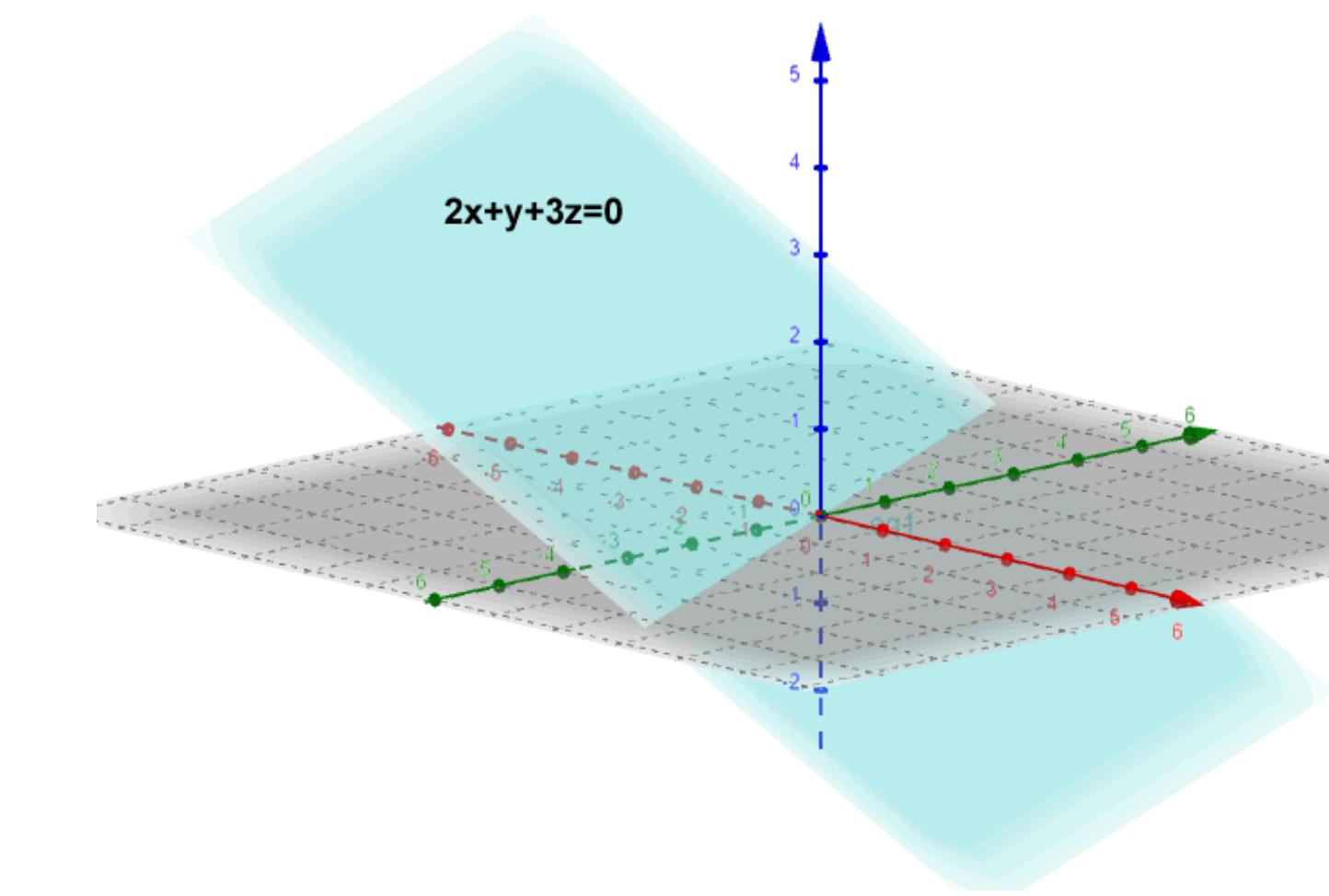
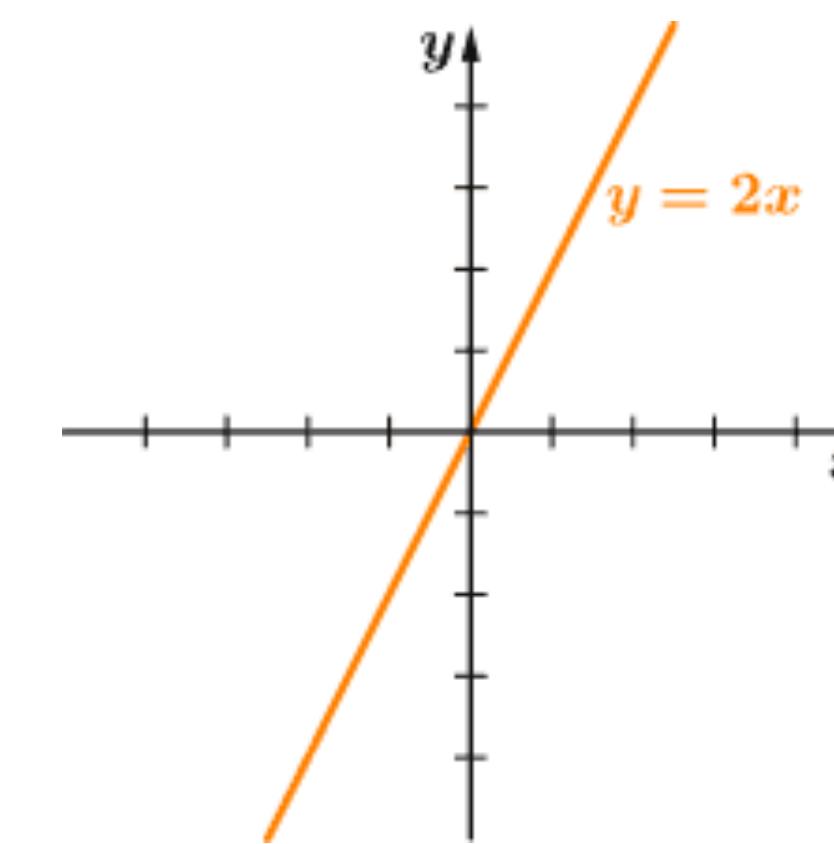
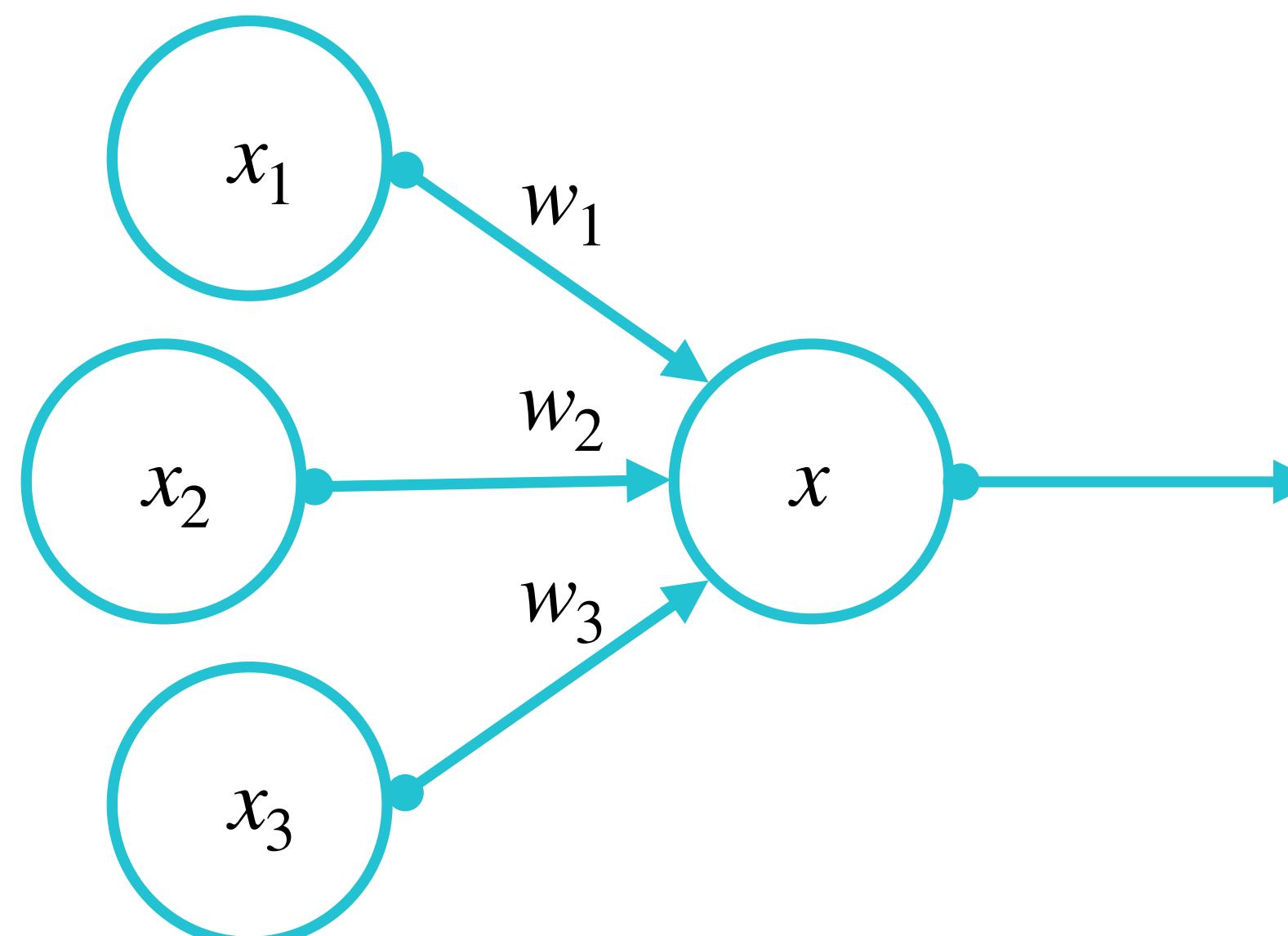


Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

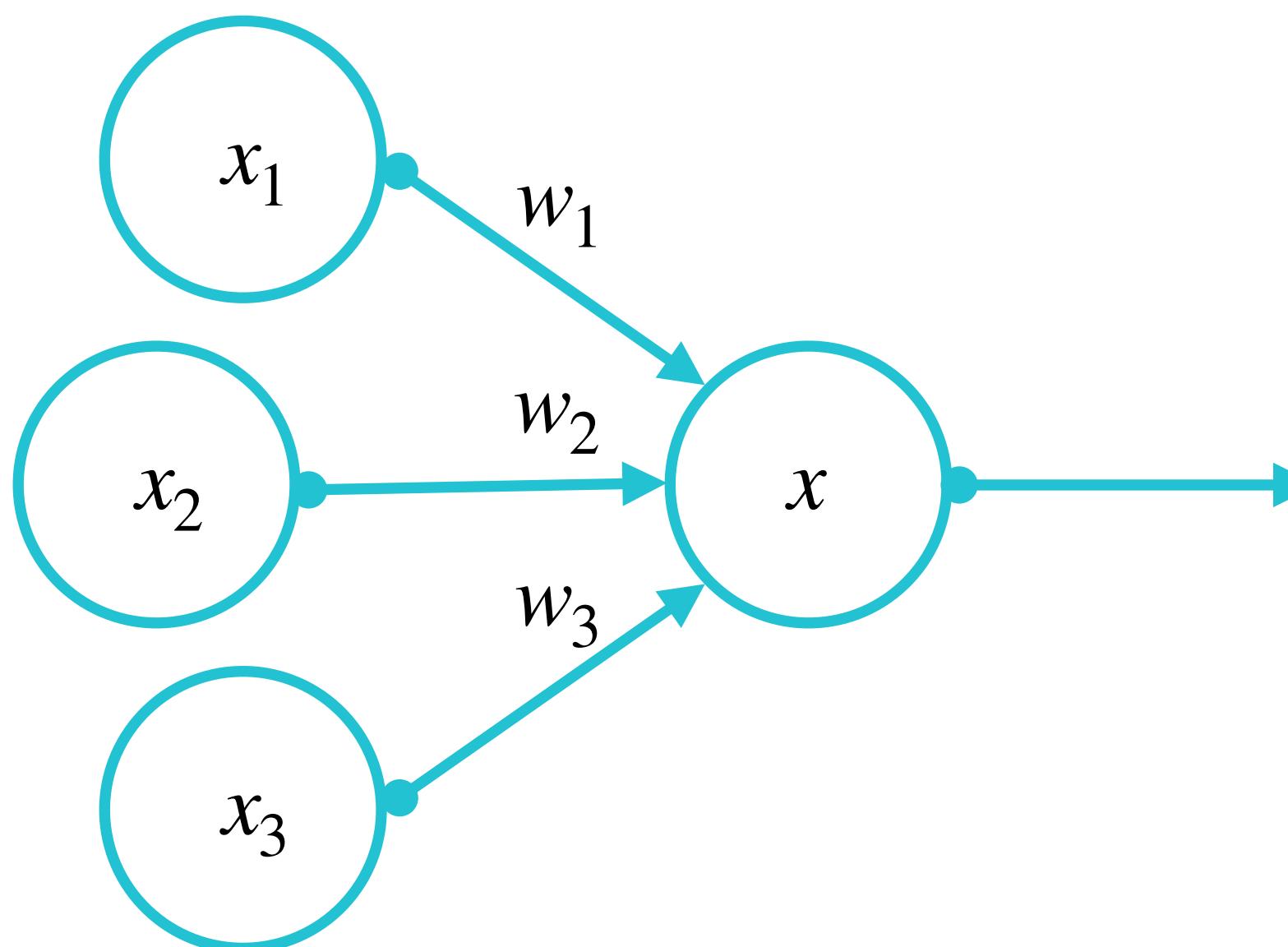
Step 1:

Combinazione lineare del valore dei neuroni dello strato precedente, usando come coefficienti i pesi delle connessioni

$$x = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3$$



Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

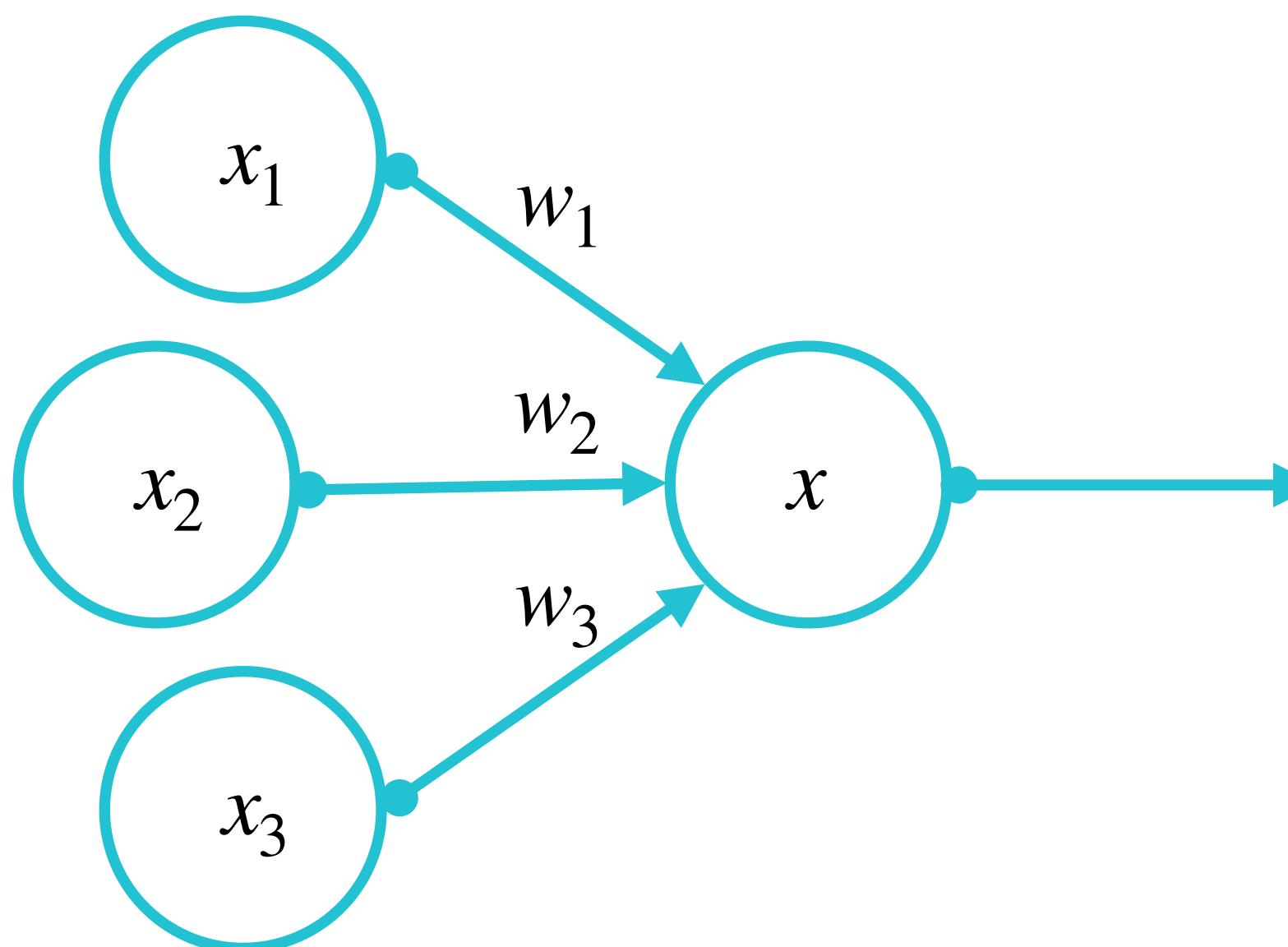


Step 1:

Combinazione lineare del valore dei neuroni dello strato precedente, usando come coefficienti i pesi delle connessioni

$$x = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b$$

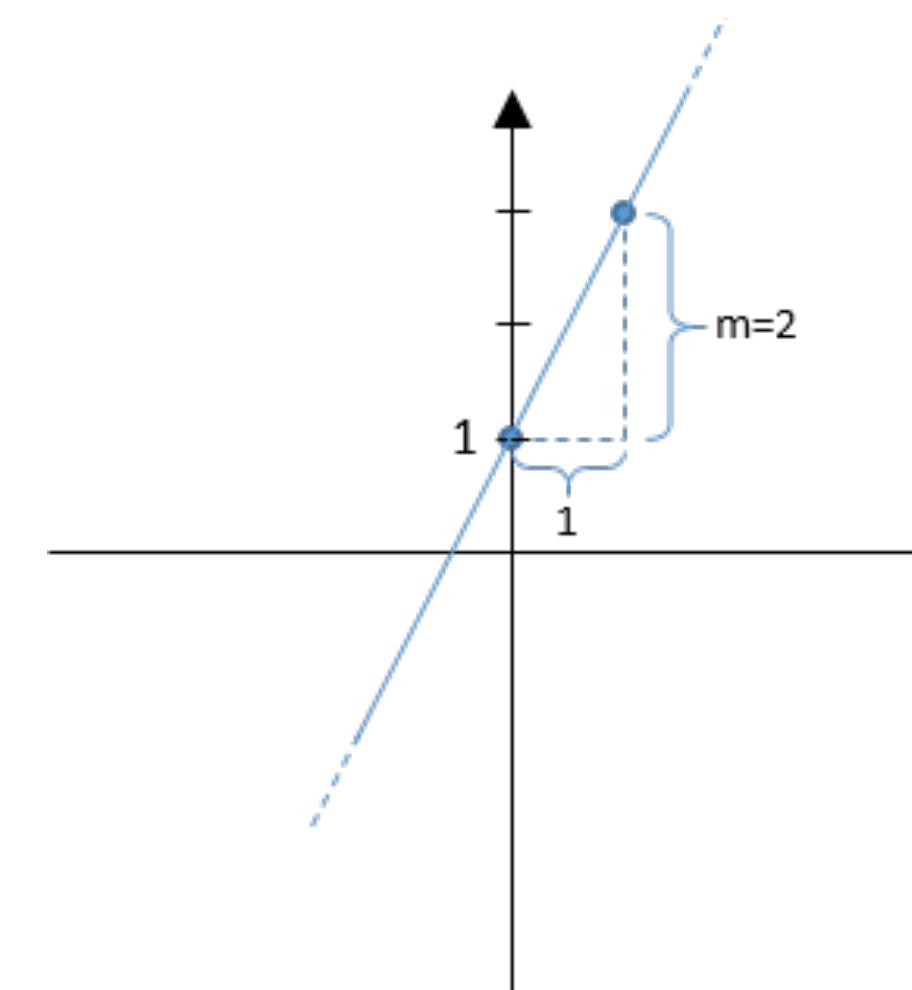
Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene



Step 1:

Combinazione lineare del valore dei neuroni dello strato precedente, usando come coefficienti i pesi delle connessioni

$$x = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b$$

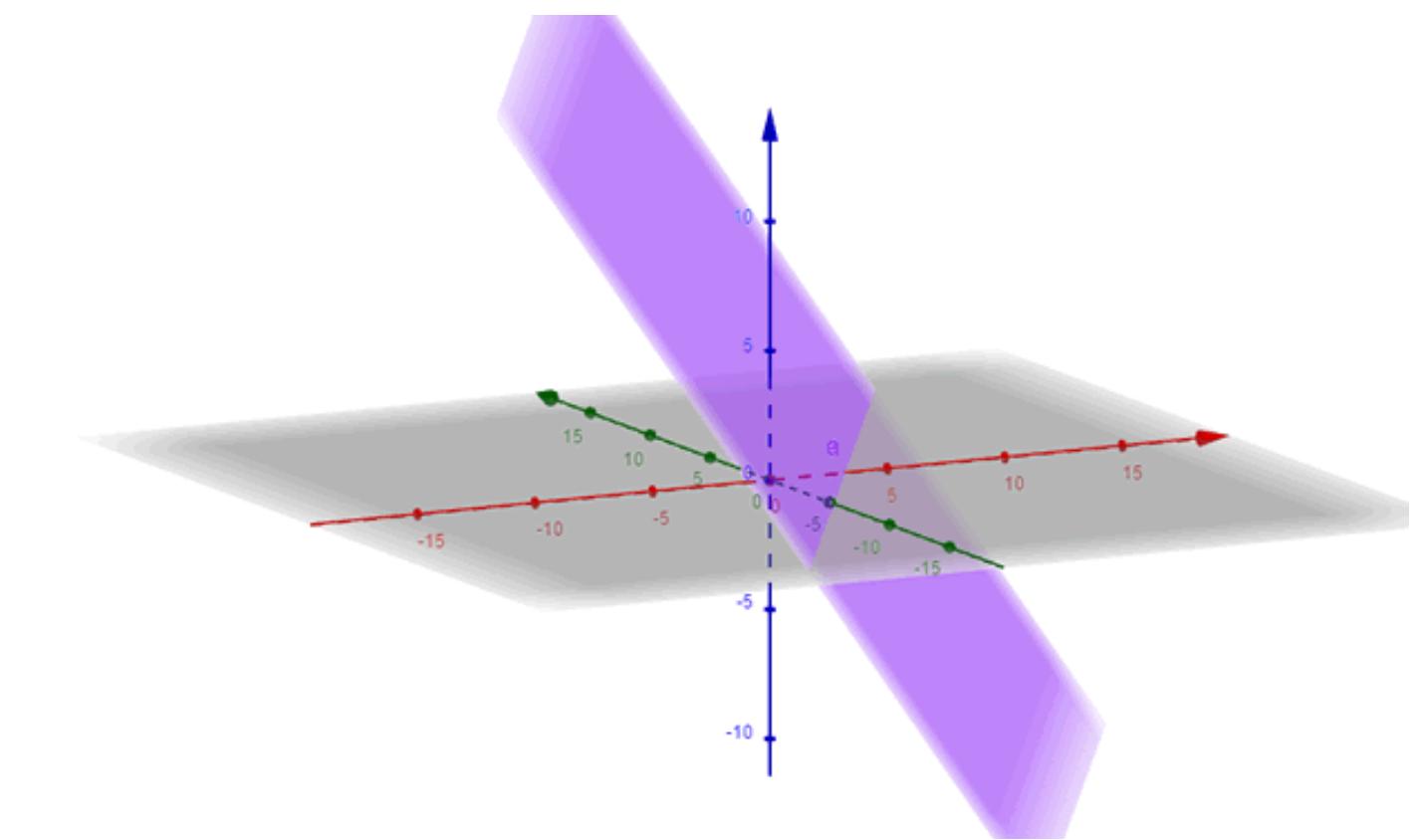
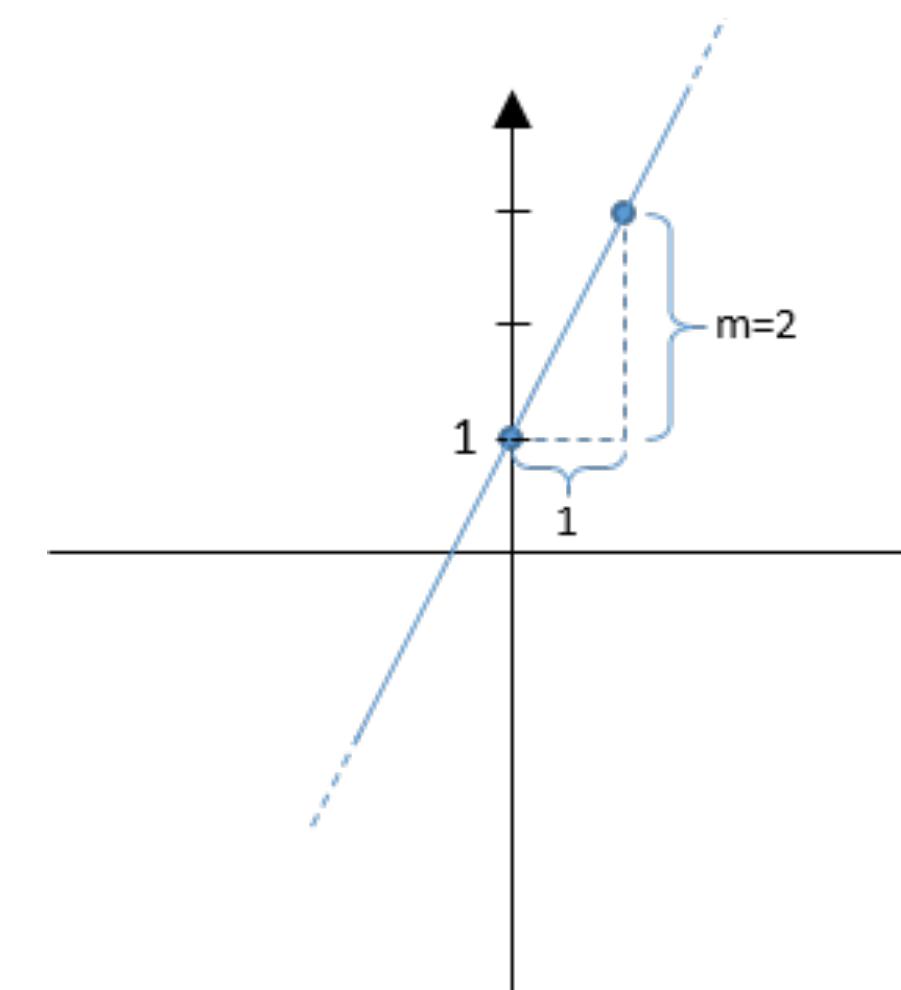
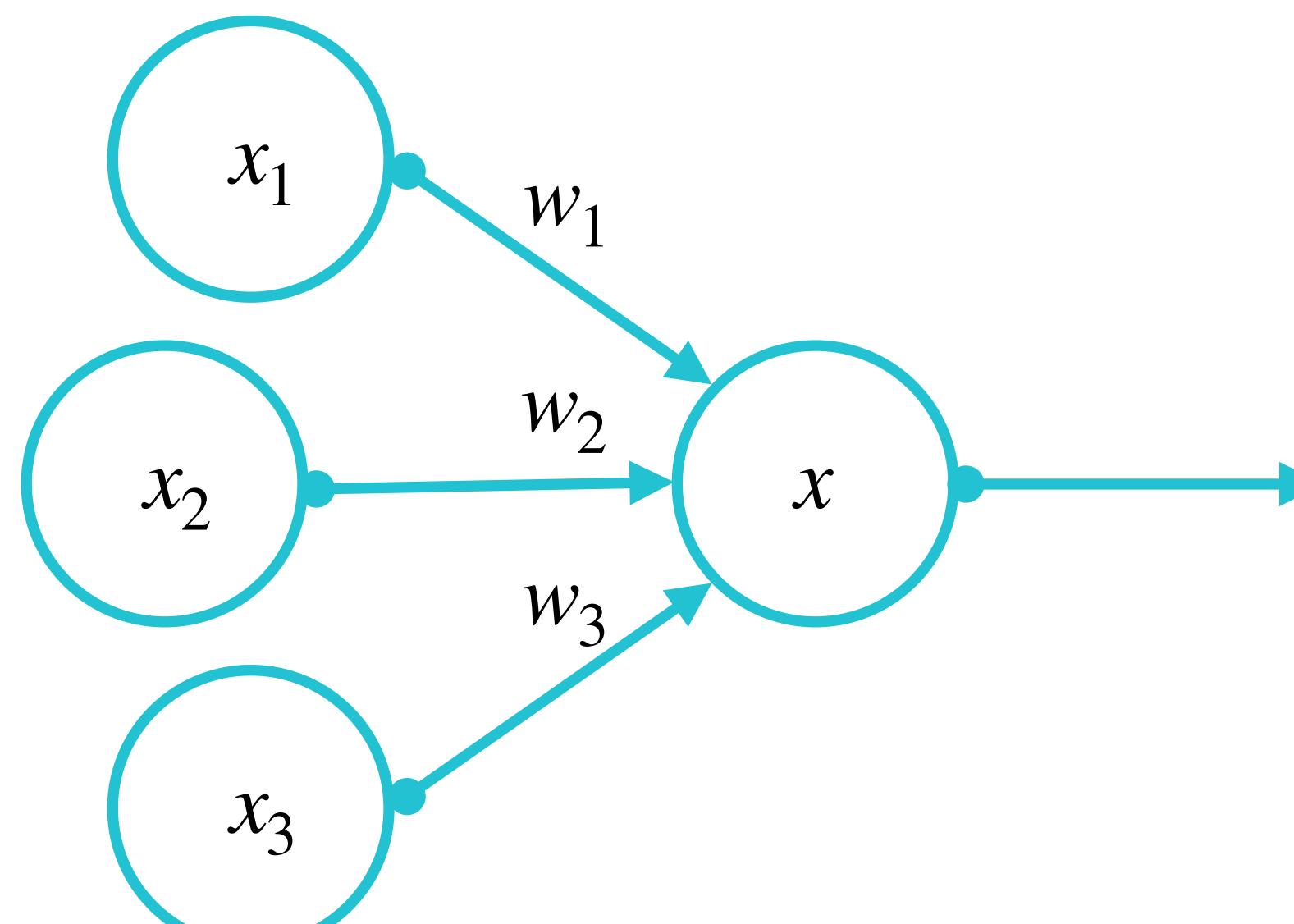


Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

Step 1:

Combinazione lineare del valore dei neuroni dello strato precedente, usando come coefficienti i pesi delle connessioni

$$x = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b$$

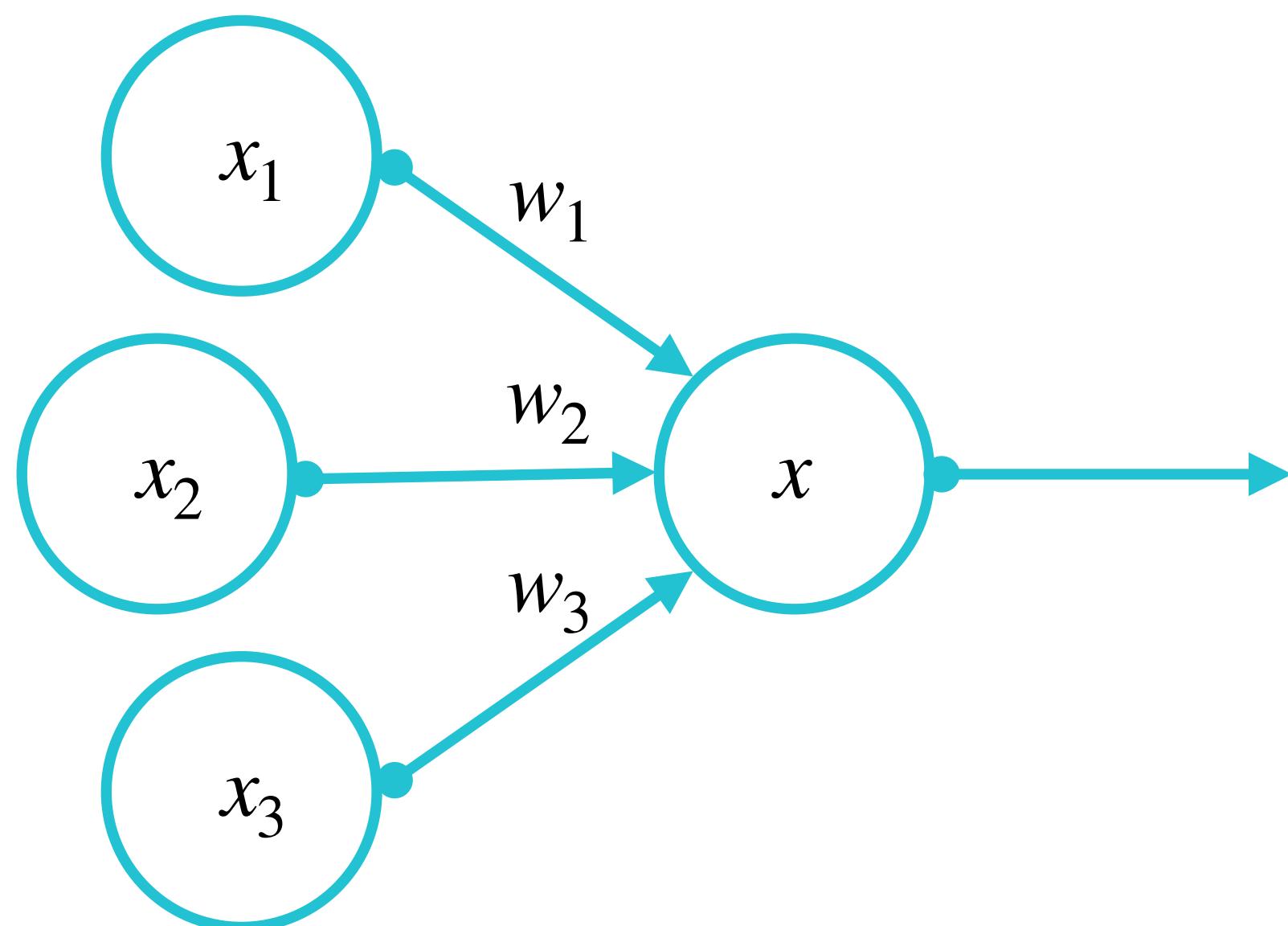


Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

Step 2:

Trasformare la combinazione lineare con una funzione non lineare σ (chiamata attivazione)

$$x = \sigma(w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b)$$

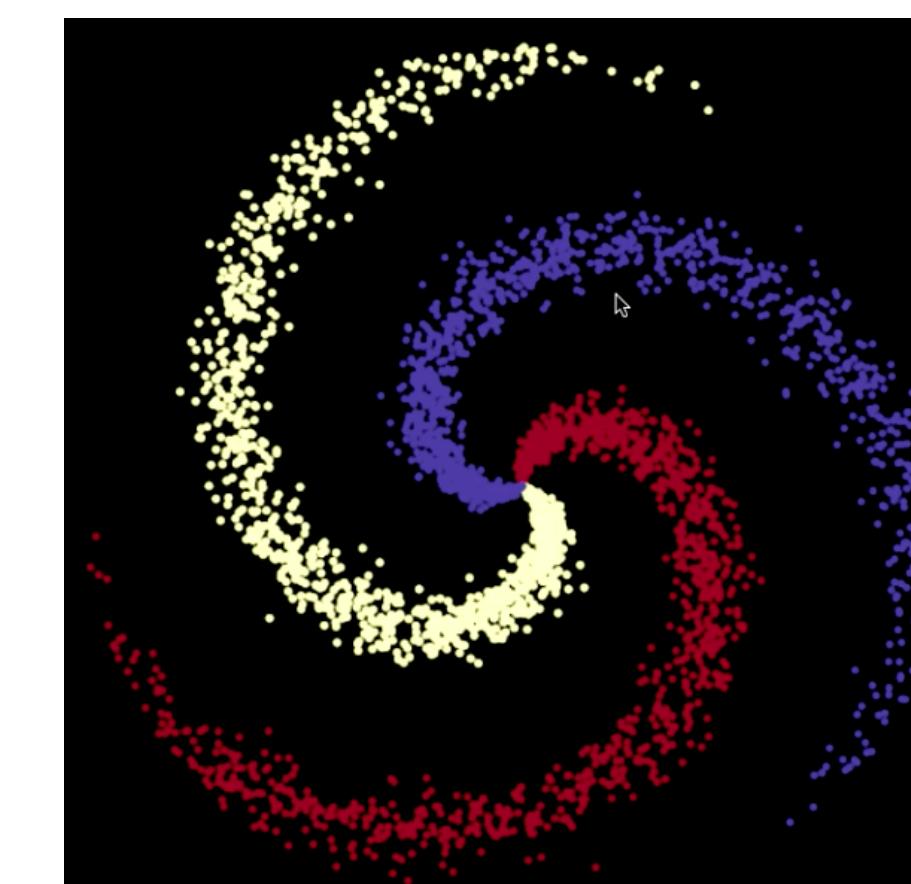
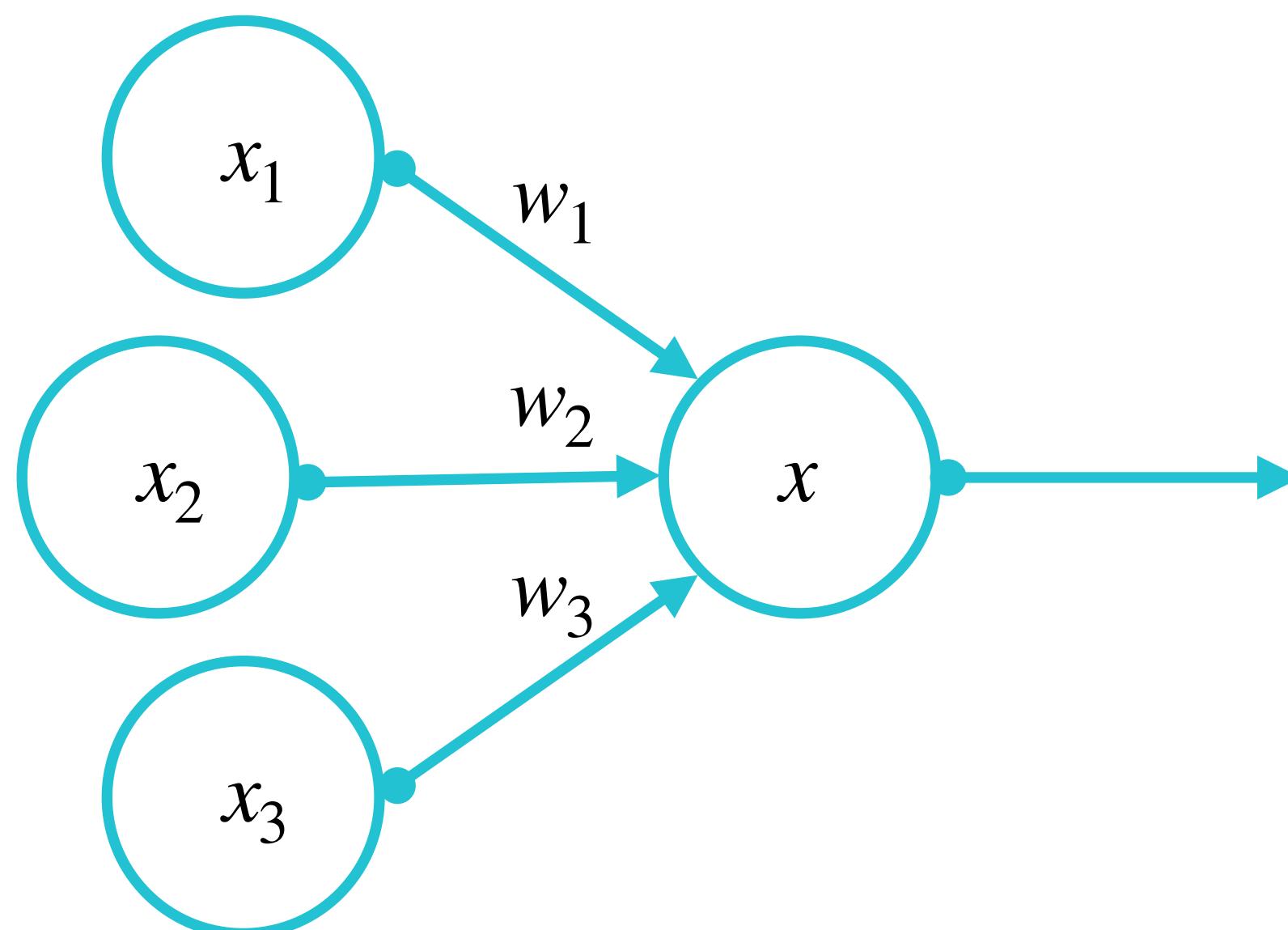


Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

Step 2:

Trasformare la combinazione lineare con una funzione non lineare σ (chiamata attivazione)

$$x = \sigma(w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b)$$

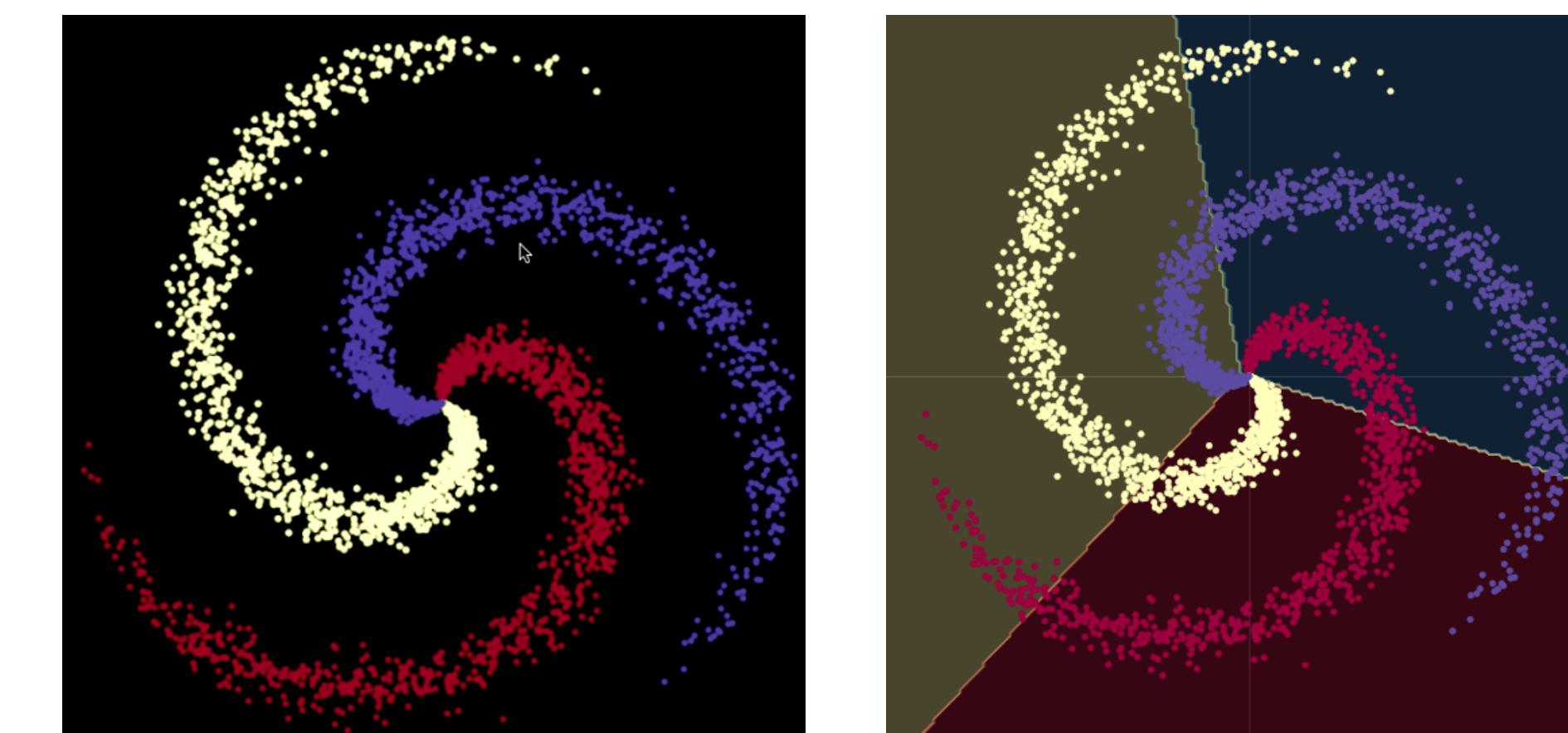
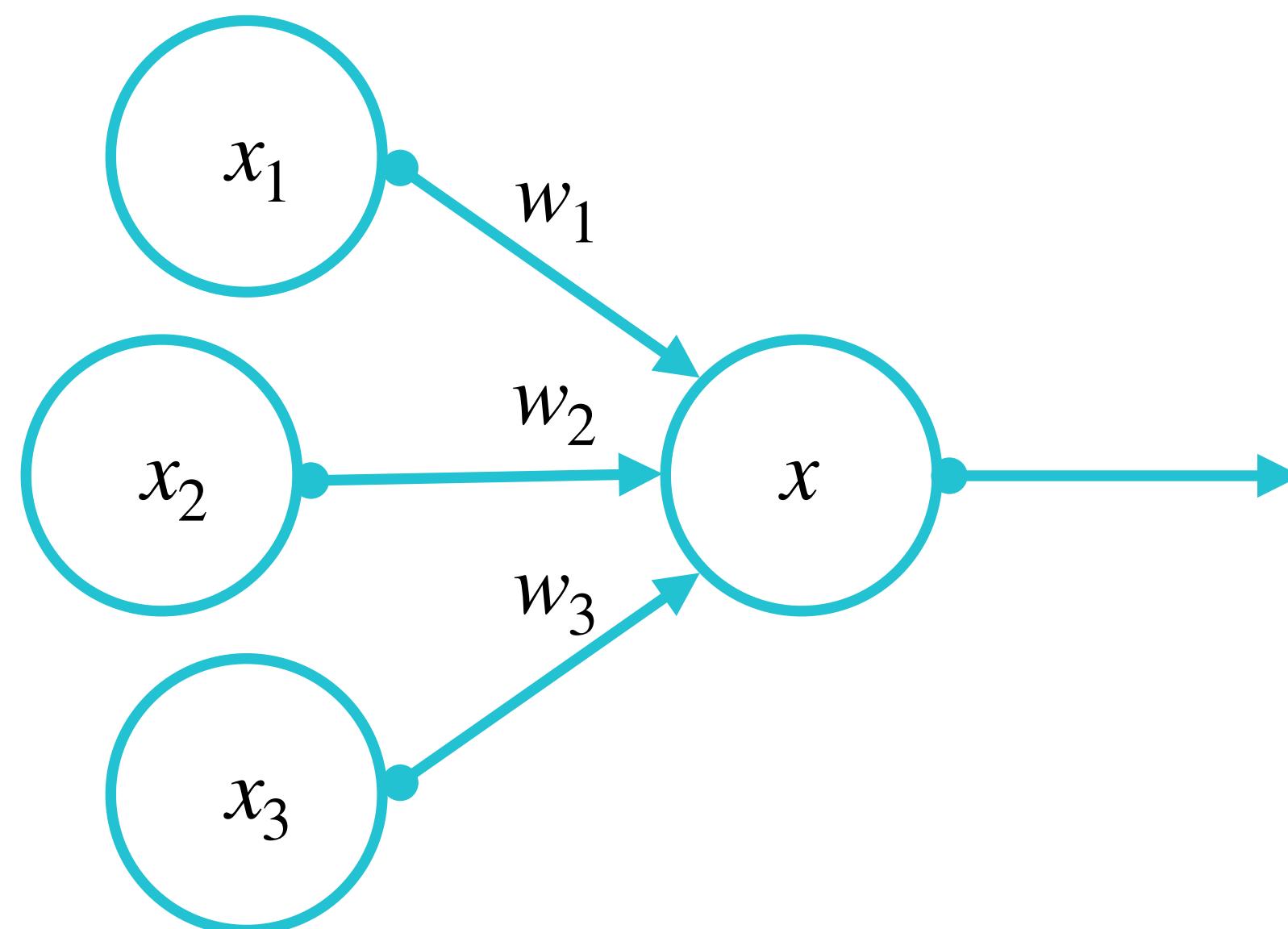


Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

Step 2:

Trasformare la combinazione lineare con una funzione non lineare σ (chiamata attivazione)

$$x = \sigma(w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b)$$

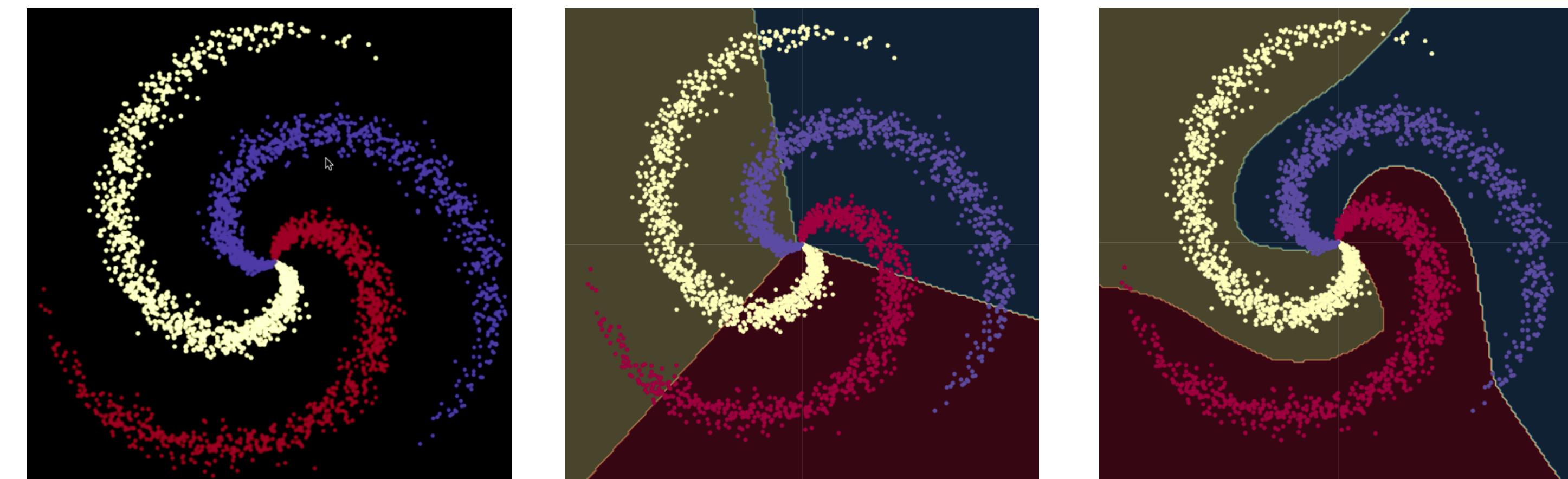
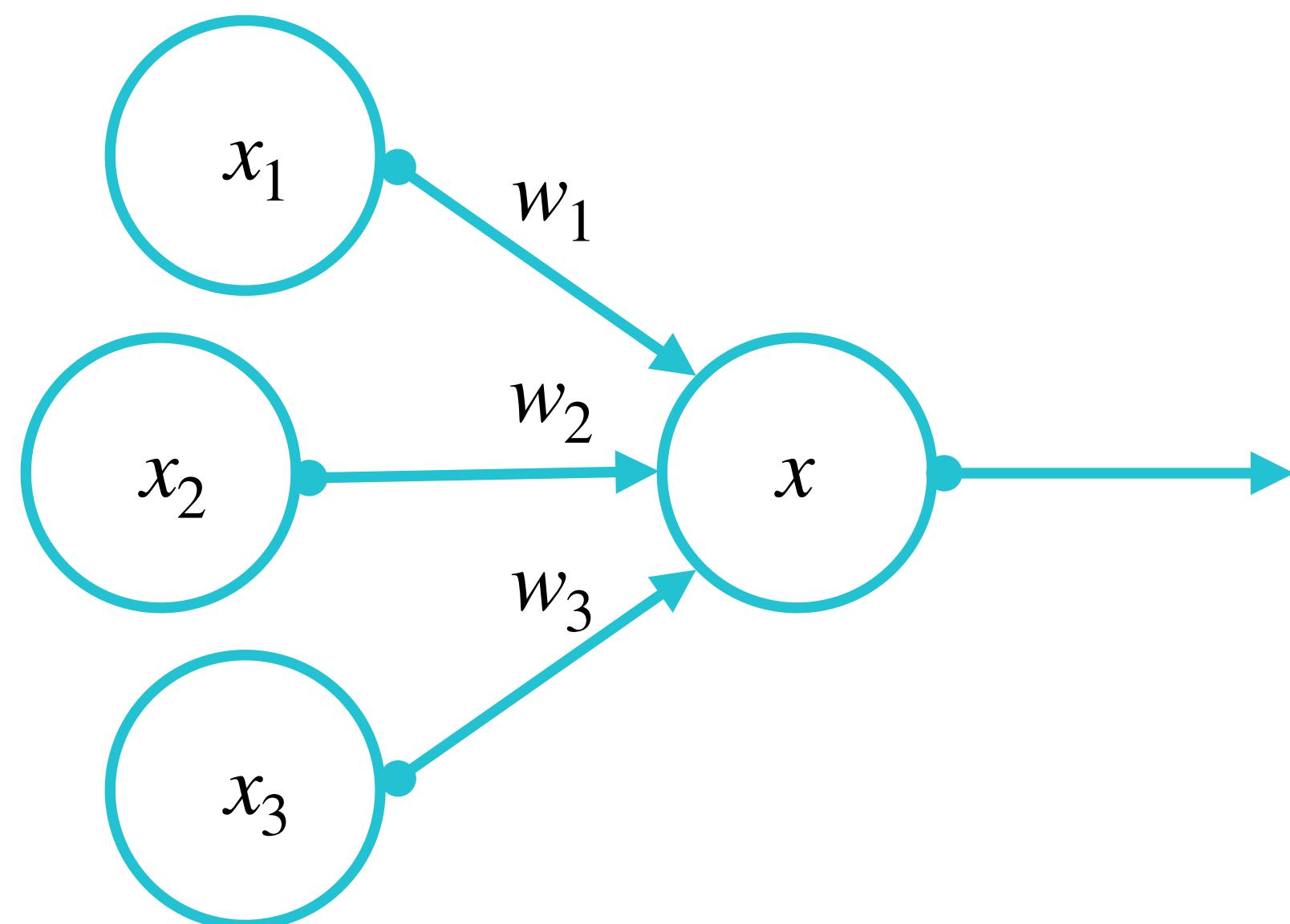


Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene

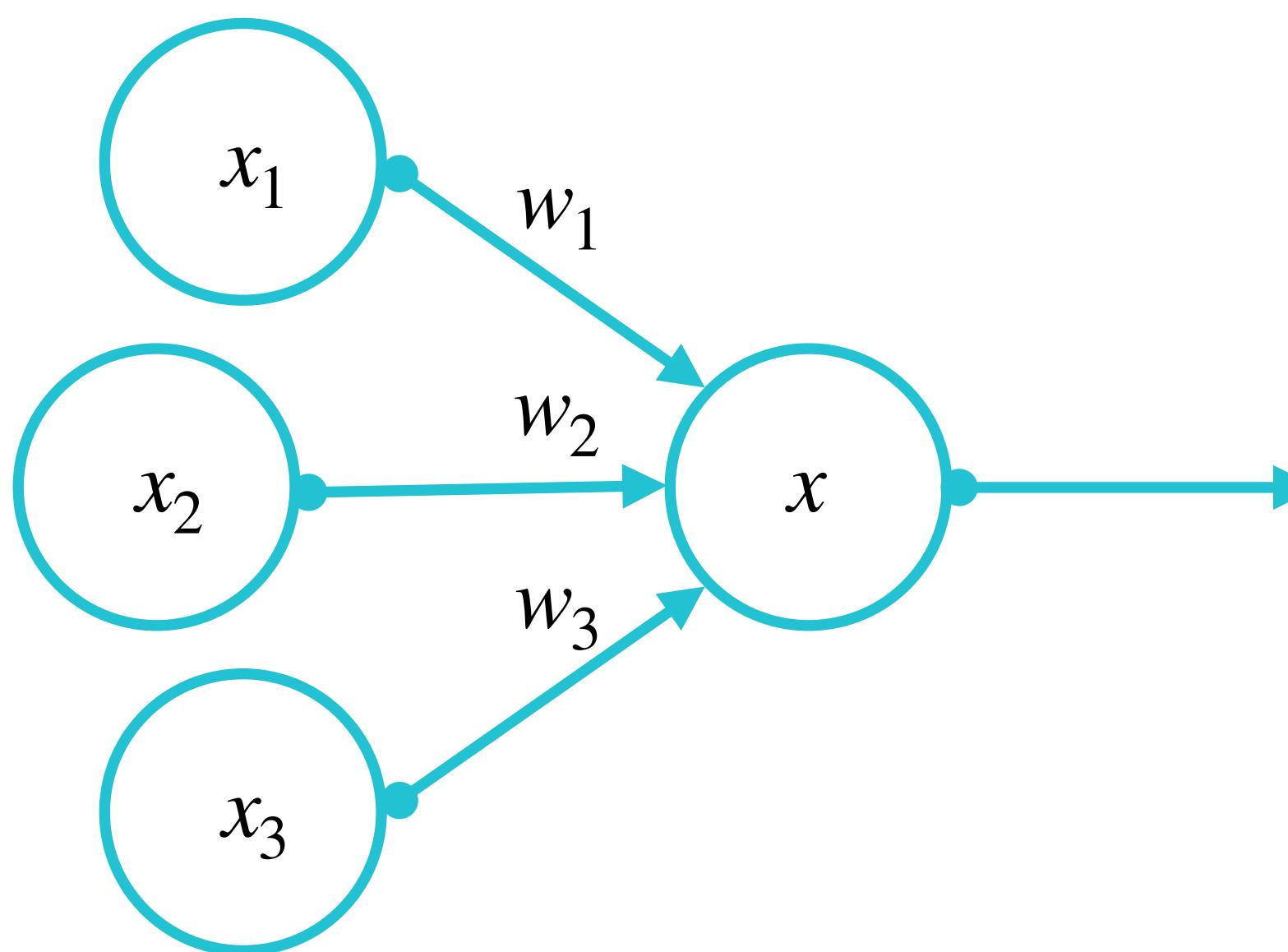
Step 2:

Trasformare la combinazione lineare con una funzione non lineare σ (chiamata attivazione)

$$x = \sigma(w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b)$$



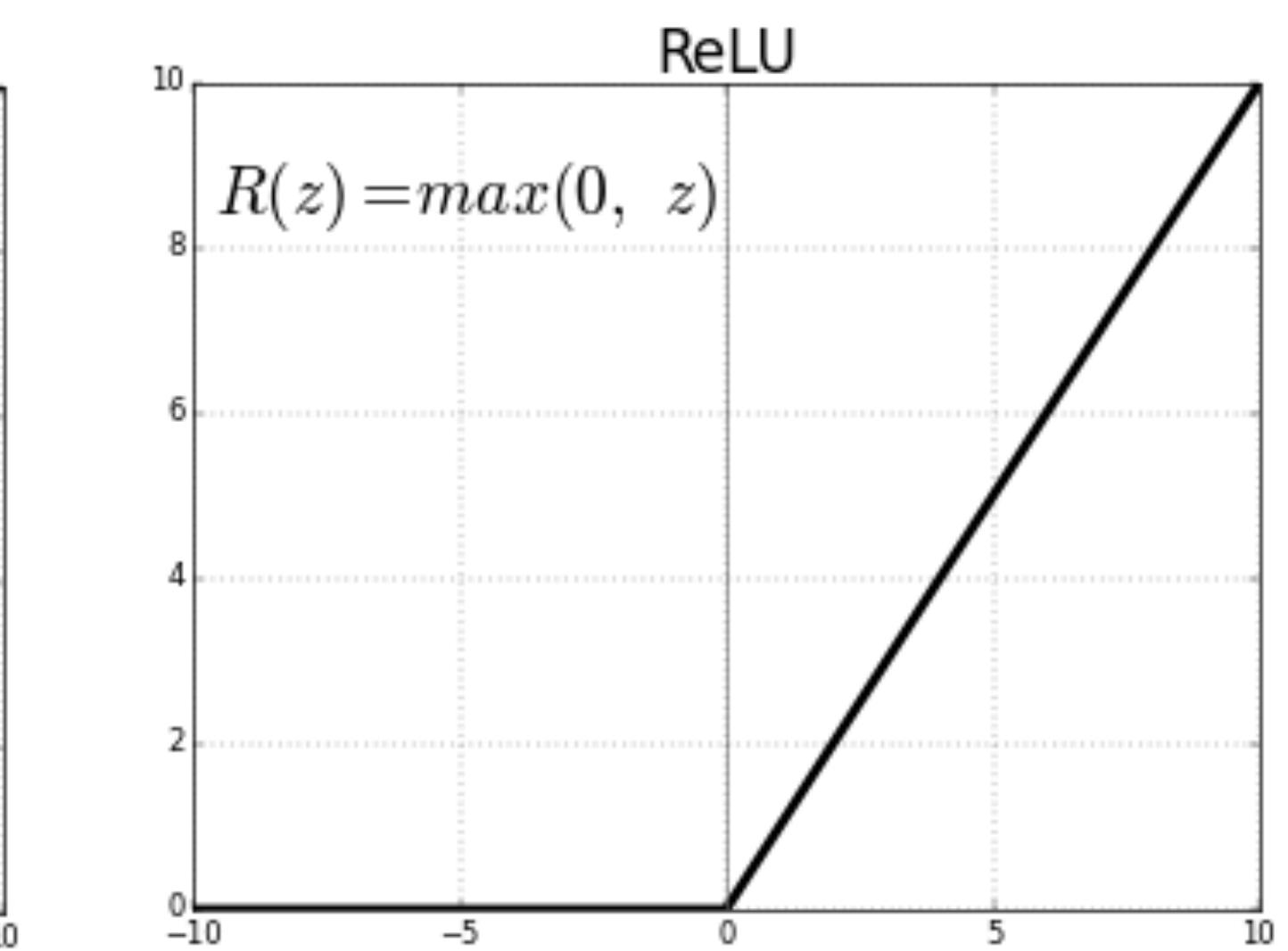
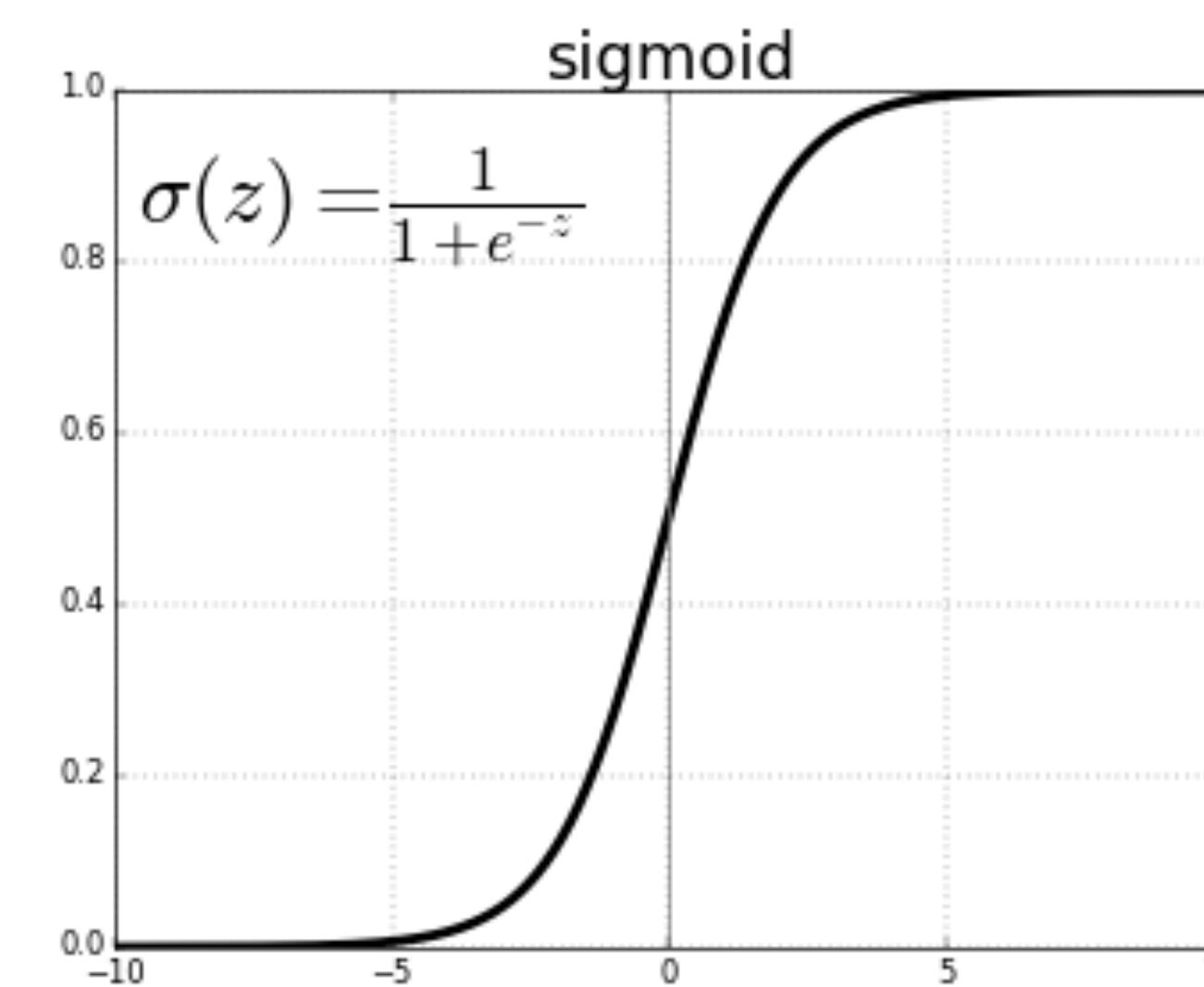
Ogni Neurone esegue una funzione semplice per calcolare il valore che contiene



Step 2:

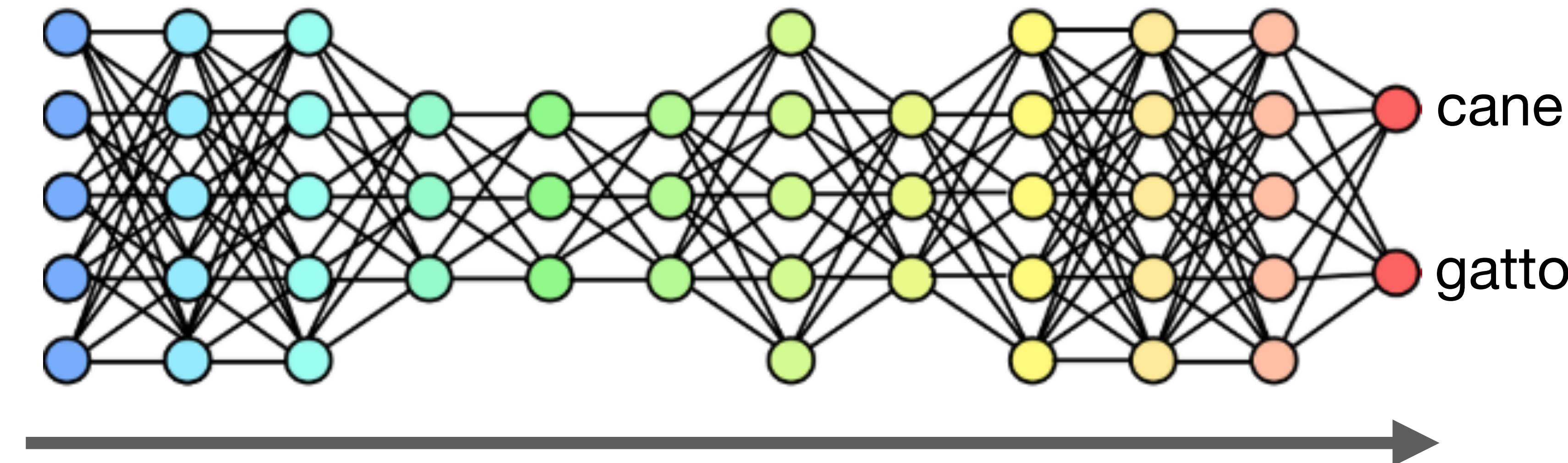
Trasformare la combinazione lineare con una funzione non lineare σ

$$x = \sigma(w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + b)$$



Addestrare una Rete Neurale

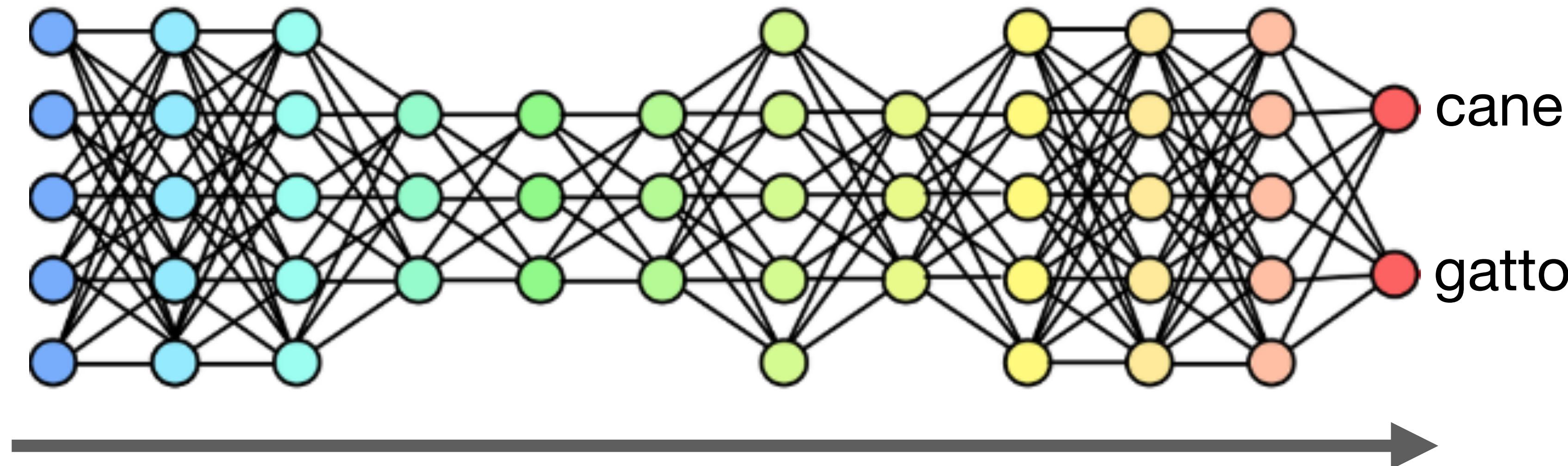
Ovvero trovare il valore dei suoi pesi w e termini di correzione b



I calcoli per produrre un output dato un input vanno
in questa direzione

Addestrare una Rete Neurale

Ovvero trovare il valore dei suoi pesi w e termini di correzione b



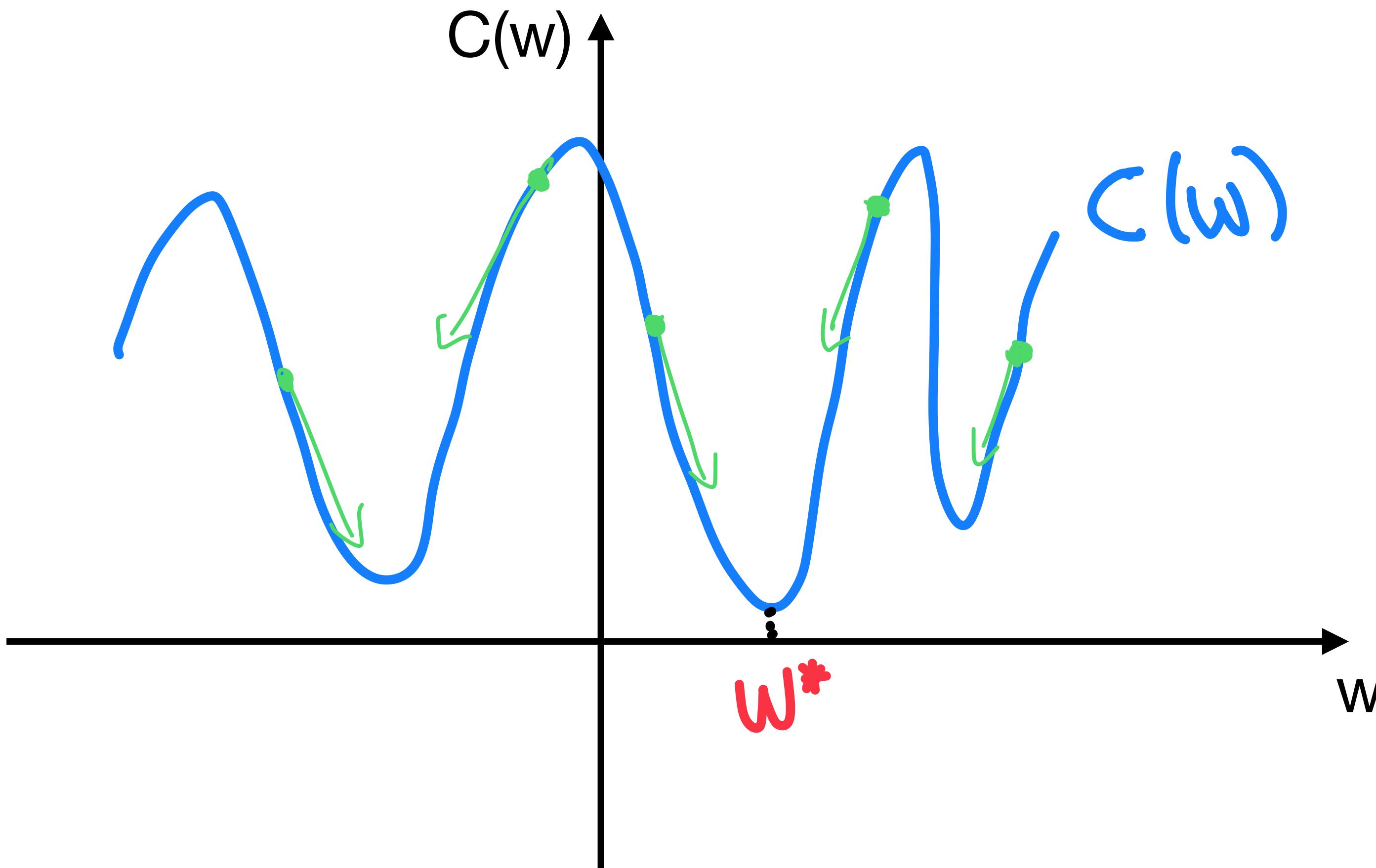
I calcoli per produrre un output dato un input vanno
in questa direzione



L'errore (in funzione di w e b), ovvero la funzione di
costo o perdita, viene calcolato in questa direzione

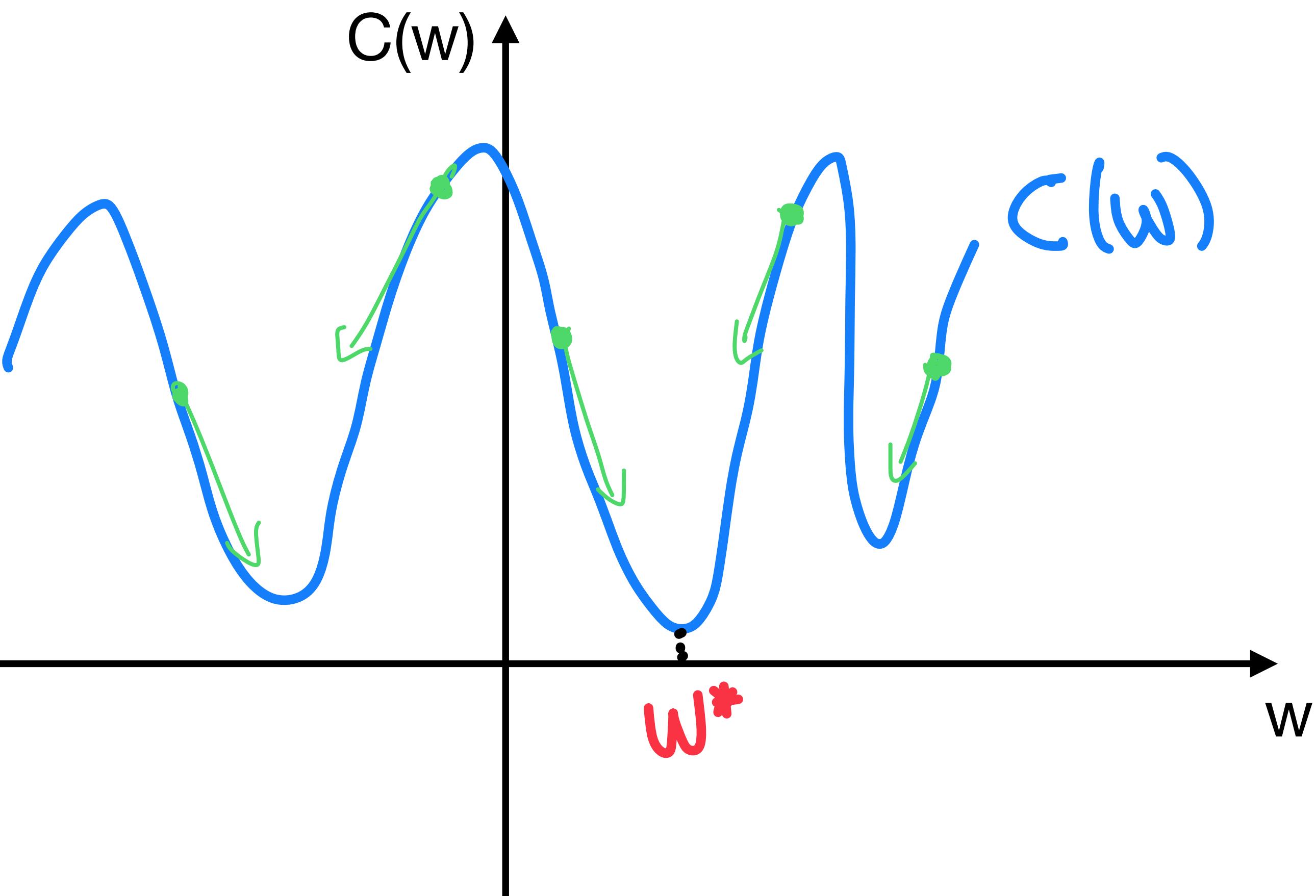
Addestrare una Rete Neurale

Ovvero minimizzare la sua funzione di perdita



Addestrare una Rete Neurale

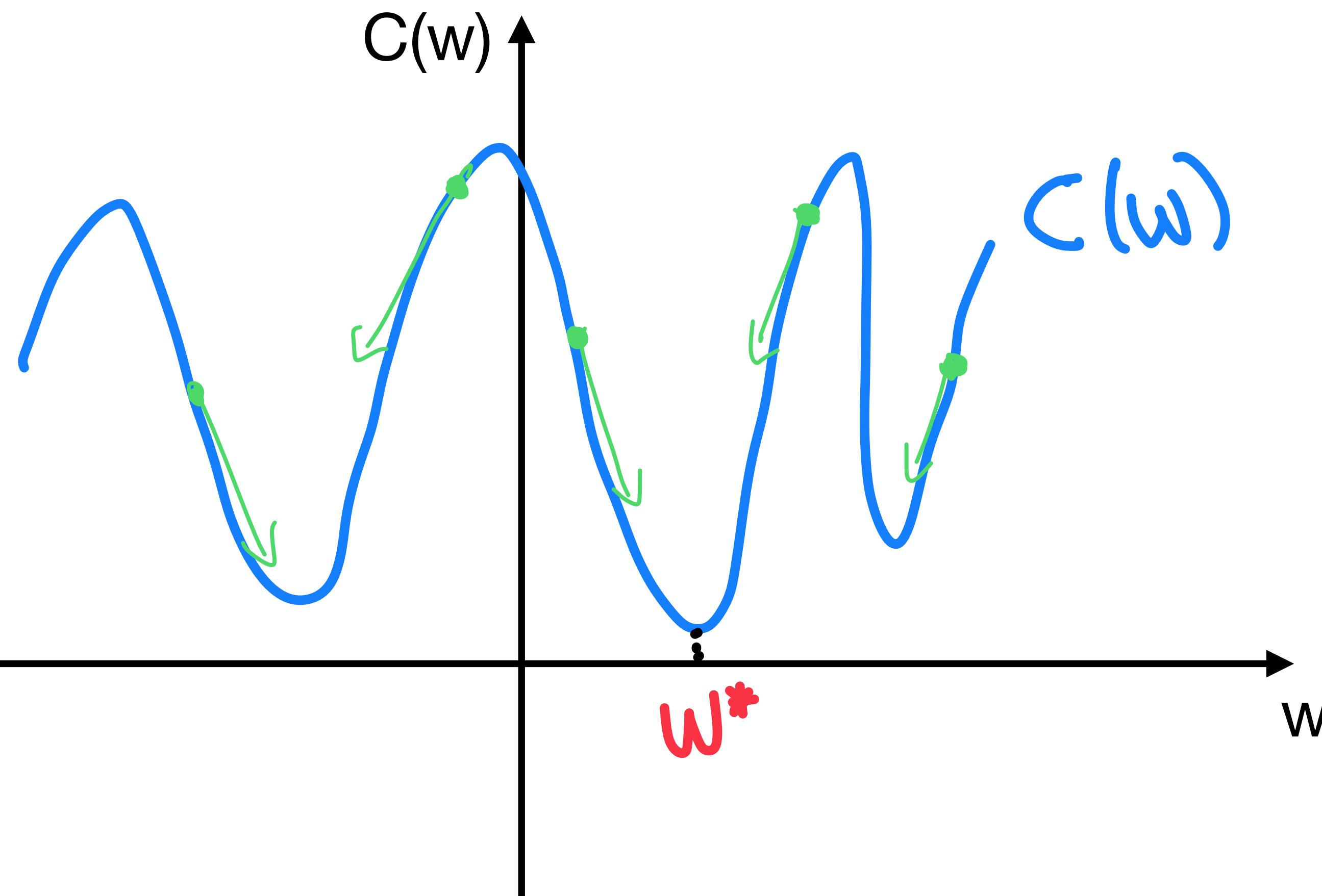
Ovvero minimizzare la sua funzione di perdita



La learning rate quantifica quanto è lungo il passo che facciamo nella direzione di ottimizzazione.

Addestrare una Rete Neurale

Ovvero minimizzare la sua funzione di perdita

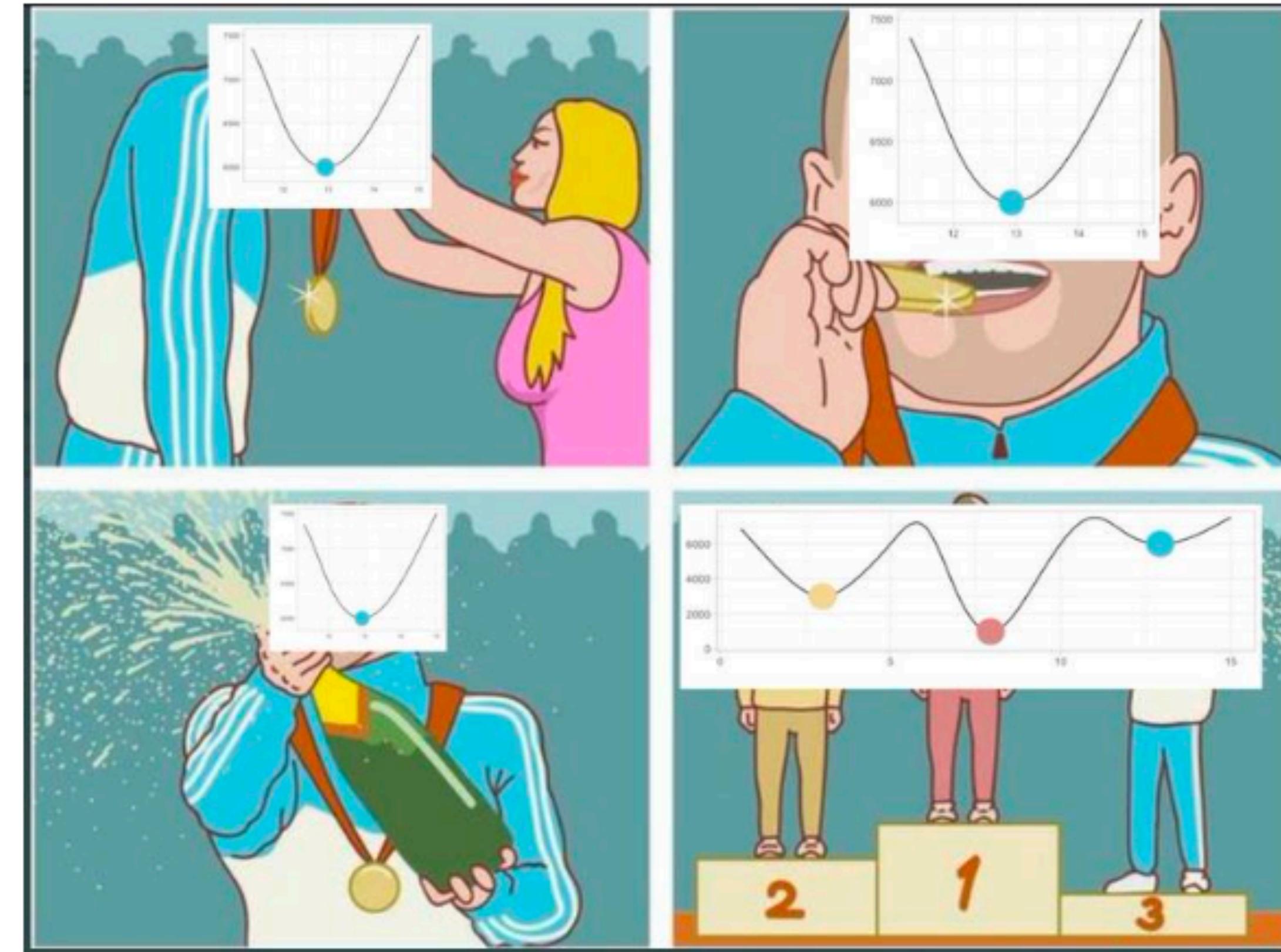


La learning rate quantifica quanto è lungo il passo che facciamo nella direzione di ottimizzazione.

Nella pratica, la minimizzazione della funzione di costo viene fatta da una componente software che si chiama ottimizzatore.

Il problema dei minimi locali

..fa ridere ma anche riflettere!



Addestrare una Rete Neurale

Visualizzare dell'evoluzione della funzione imparata

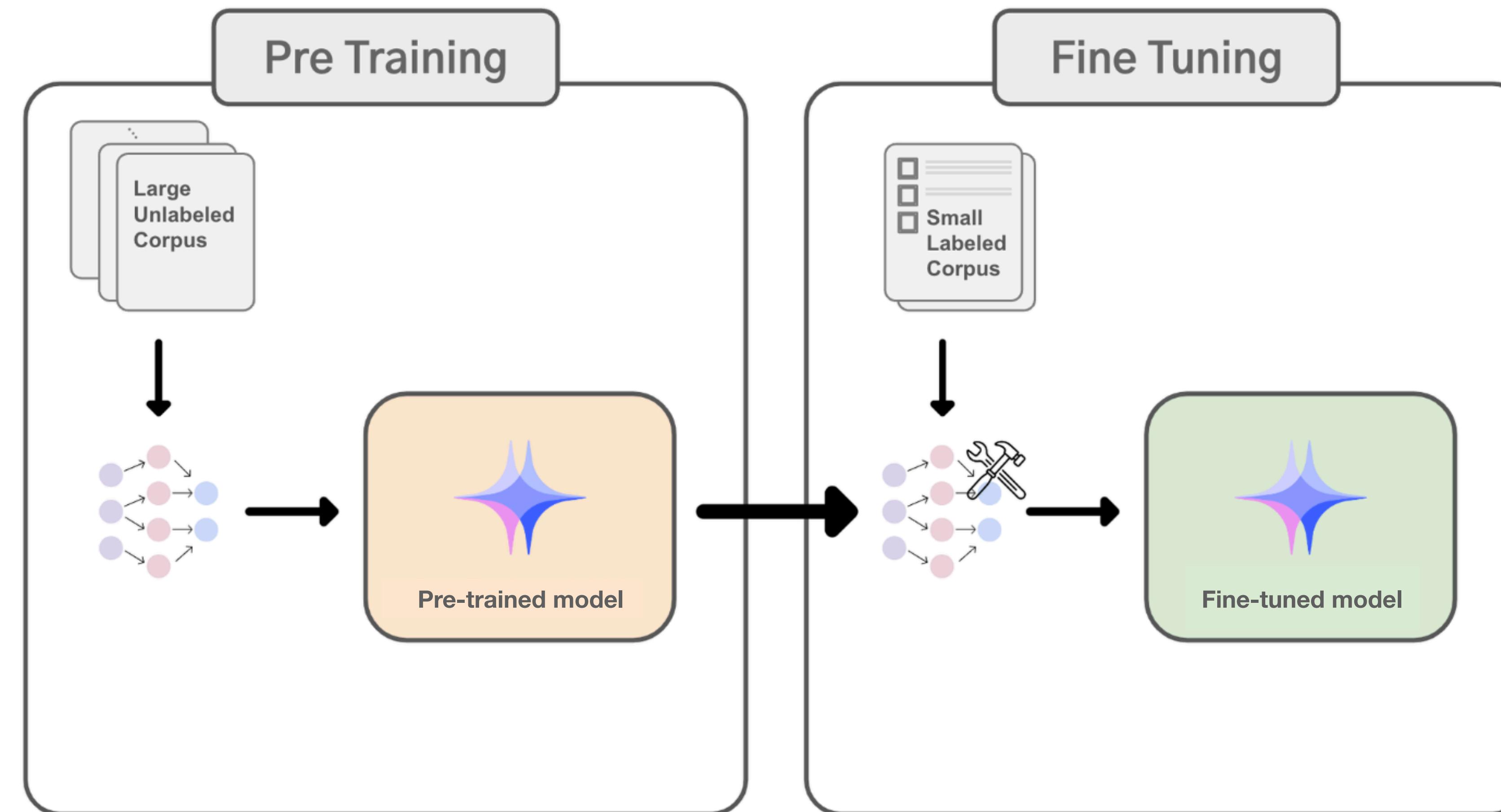
[tensorflow - neural network playground](#)

Glossario aggiuntivo:

- Si dice che è trascorsa un'epoca di training quando la rete ha ricevuto tutto il (training) dataset in input;
- Il dataset può esser passato alla rete sia un esempio alla volta, che a gruppi (batch);
- La regolarizzazione serve ad evitare che il valore dei pesi della rete cresca senza controllo.

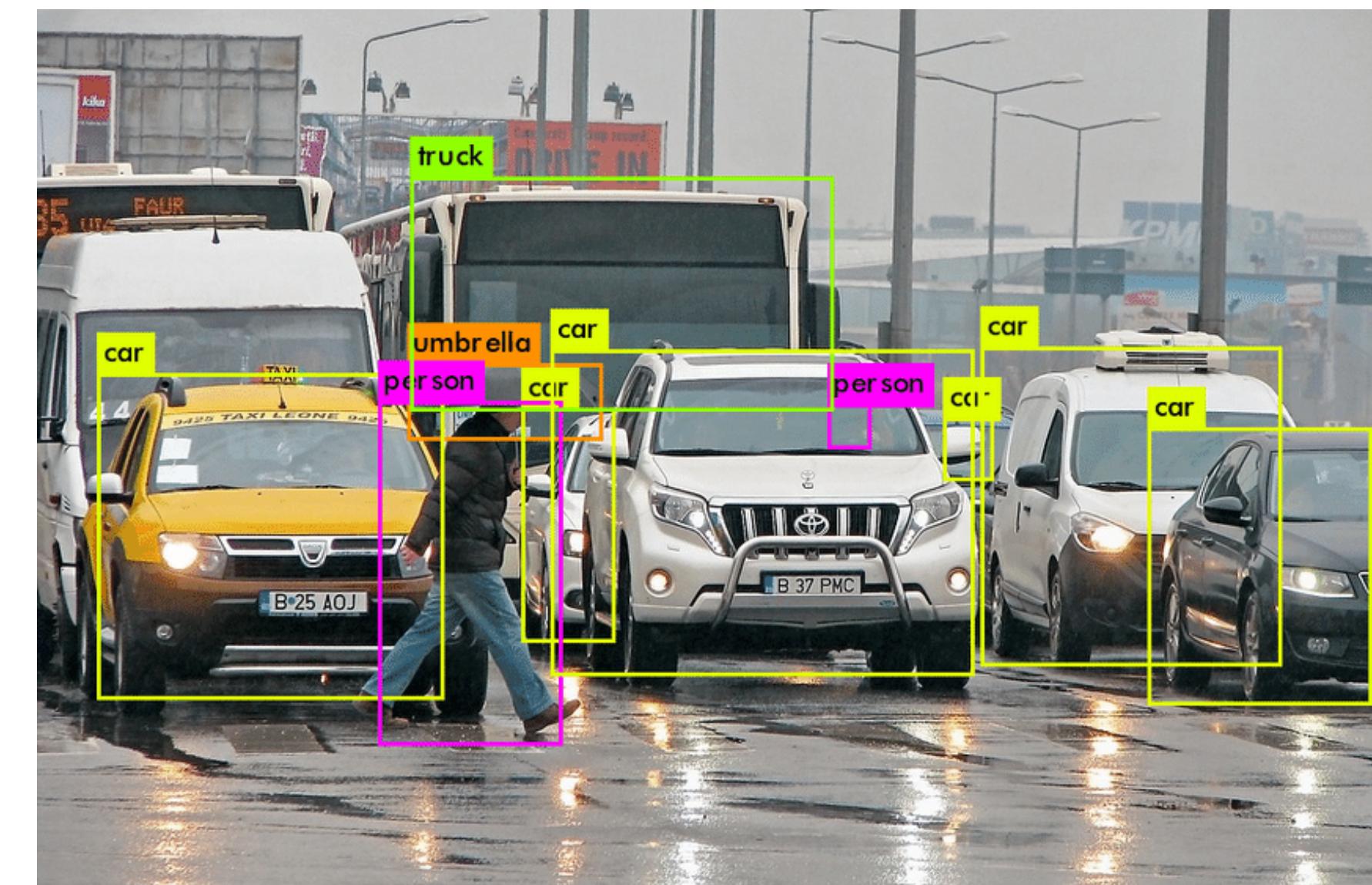
Paradigma pre-training + fine-tuning

Per adattare grandi architetture senza enormi quantità di dati e di calcoli



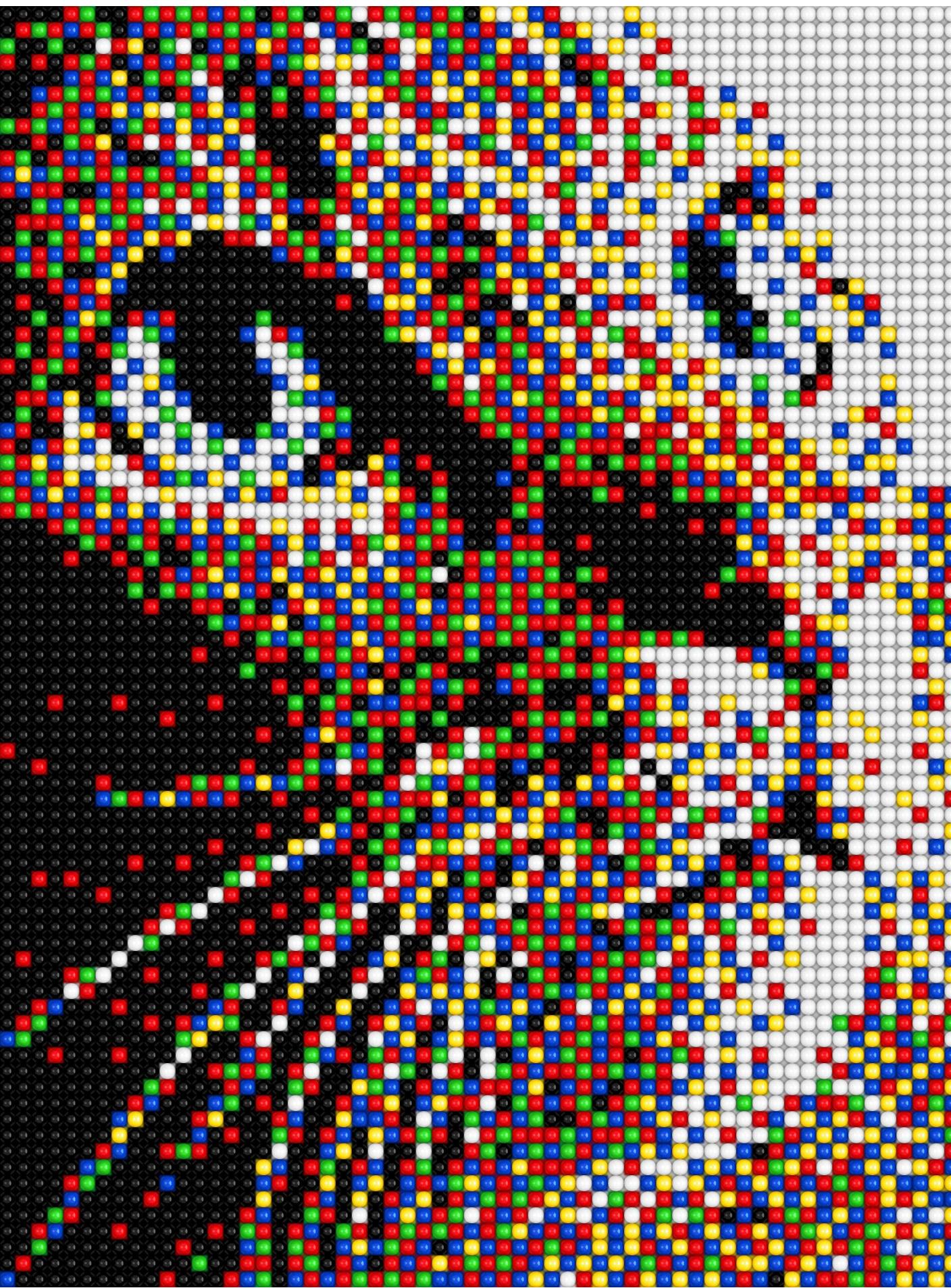
Cos'è la Computer Vision?

Si chiama Computer Vision la tecnologia il cui scopo è dare ai computer la **capacità di interpretare e analizzare immagini**.



Come vedono i computer?

In breve: per i computer le immagini sono matrici di numeri



Le immagini digitali sono griglie rettangolari di **pixel** (abbr. di picture element).

La **risoluzione** di un'immagine è il numero di pixel che essa contiene.

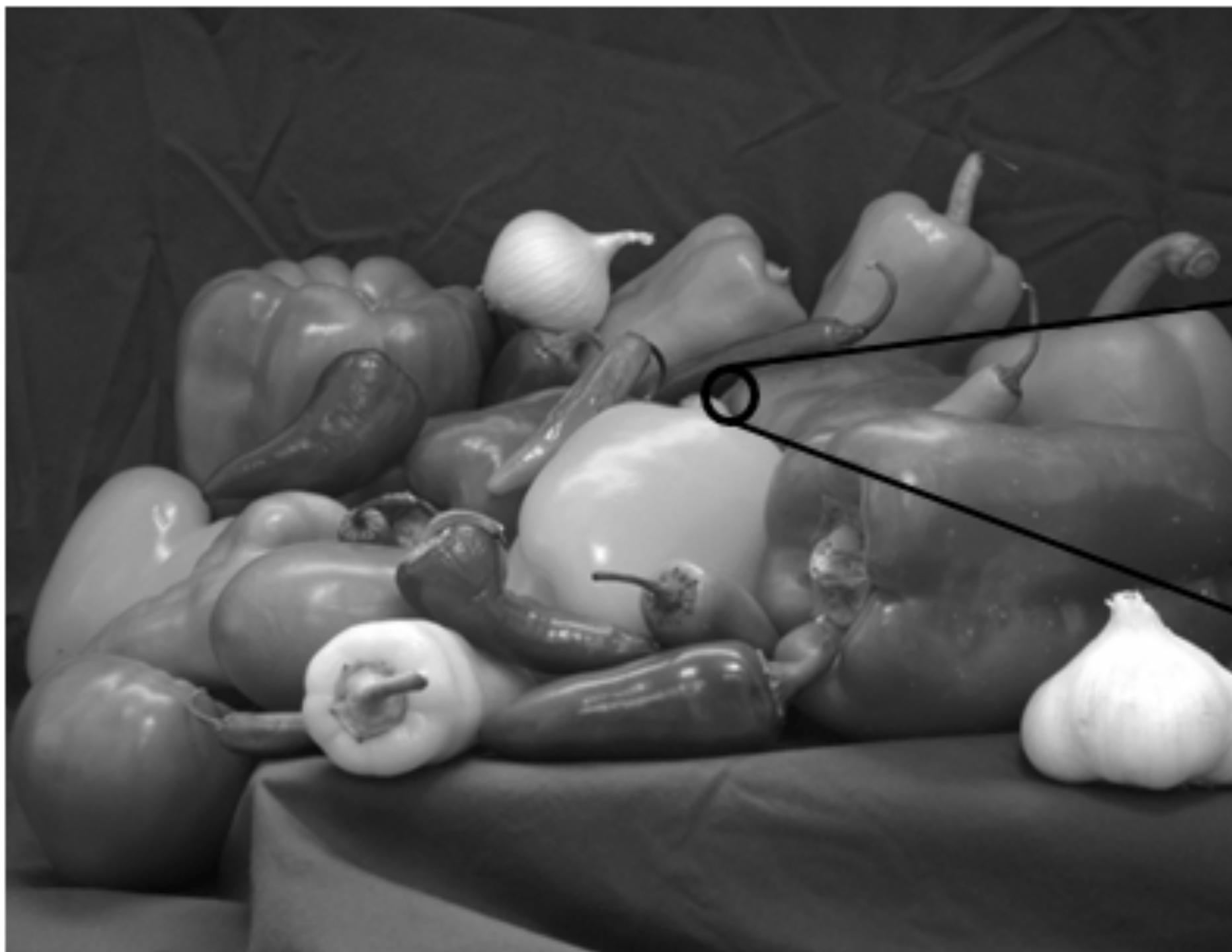
Per il computer, ogni pixel contiene uno o più valori numerici.

Come vedono i computer?

In breve: per i computer le immagini sono matrici di numeri

Immagini in scala di grigi (*bianco e nero*):

Ogni pixel è associato a un numero da 0 (nero) a 255 (bianco) a seconda del tono di grigio che contiene.

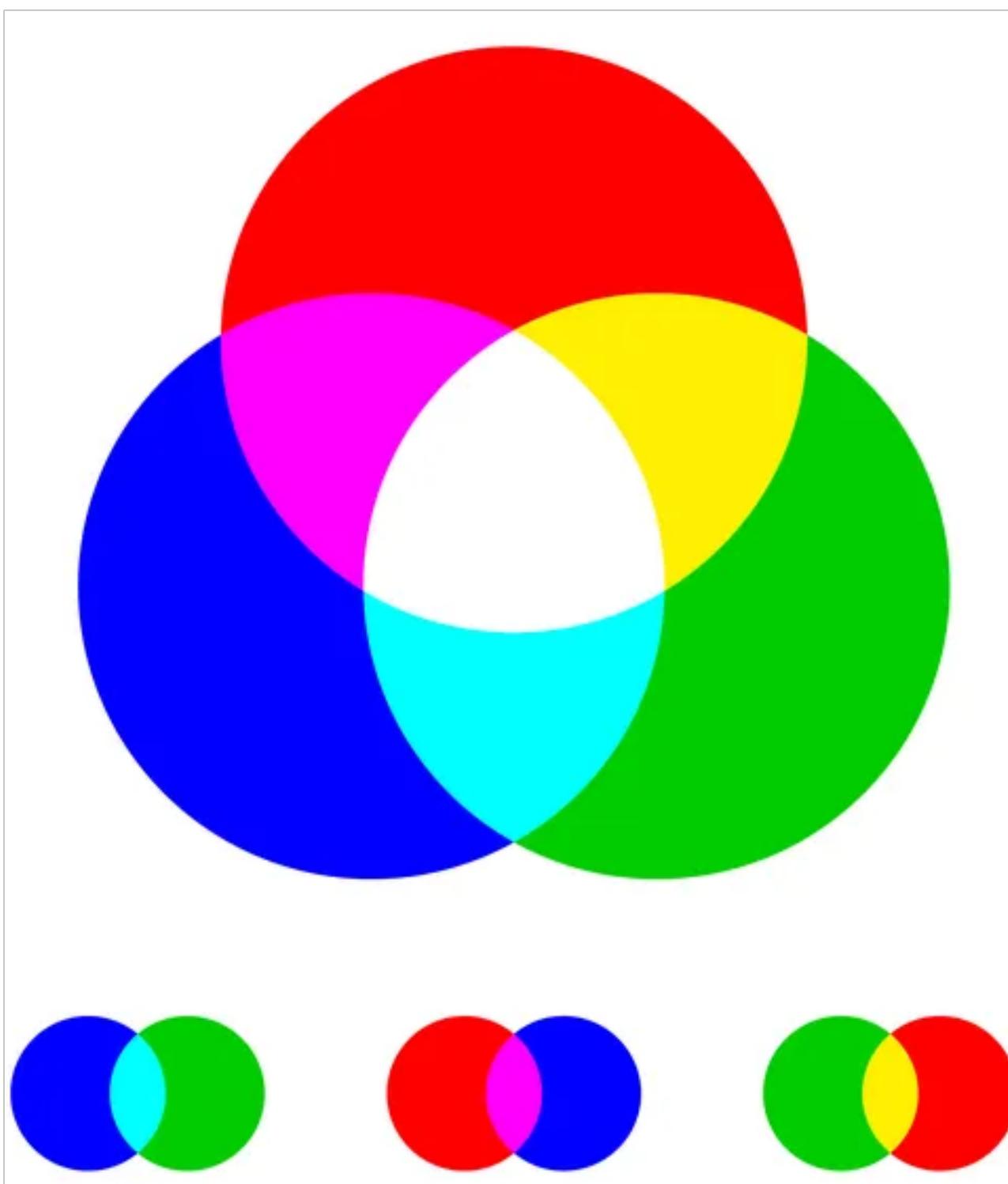


0.0000	0.1216	0.1255	0.1059	0.0941	0.0811	0.0681	0.0551	0.0421	0.0291	0.0161	0.0031
0.1176	0.1176	0.1137	0.1059	0.1059	0.0941	0.0811	0.0681	0.0551	0.0421	0.0291	0.0161
0.2902	0.1020	0.1020	0.1059	0.1059	0.0941	0.0811	0.0681	0.0551	0.0421	0.0291	0.0161
0.6235	0.1490	0.0980	0.0902	0.0902	0.0811	0.0731	0.0651	0.0551	0.0421	0.0291	0.0161
0.6941	0.5020	0.4196	0.2941	0.1608	0.0811	0.0681	0.0551	0.0421	0.0291	0.0161	0.0031
0.7451	0.6392	0.6431	0.6510	0.5294	0.3563	0.2231	0.1216	0.0681	0.0351	0.0161	0.0031
0.6863	0.7255	0.6667	0.6353	0.6510	0.6353	0.6031	0.5511	0.4863	0.4231	0.3563	0.2231
0.71	0.6824	0.7137	0.6863	0.6353	0.6031	0.5511	0.4863	0.4231	0.3563	0.2231	0.1216
0.6863	0.6784	0.7373	0.7373	0.7020	0.6353	0.5511	0.4863	0.4231	0.3563	0.2231	0.1216
0.6980	0.7176	0.7176	0.7176	0.7099	0.6353	0.5511	0.4863	0.4231	0.3563	0.2231	0.1216
0.7255	0.7255	0.7216	0.7099	0.6353	0.5511	0.4863	0.4231	0.3563	0.2231	0.1216	0.0681

Come vedono i computer?

In breve: per i computer le immagini sono matrici di numeri

Immagini a colori:



Modello di colori RGB (Red Green Blue)
di tipo additivo: tutti i colori si ottengono
dalla somma (pesata) dei tre colori primari.

Ogni pixel contiene 3 valori compresi tra 0 e 255, che rappresentano la quantità di rosso, verde e blu contenuta nel colore corrispondente.

Come vedono i computer?

In breve: per i computer le immagini sono matrici di numeri

Immagini a colori:



.392	.482	.576
.478	.63	.169
.580	.79	.263
.373	.60	.376
.443	.569	.674

Cosa sono le GPU?

Unità di elaborazione grafica (Graphical Processing Units)

Componenti hardware specializzate nella parallelizzazione delle computazioni, ovvero nell'eseguire operazioni diverse contemporaneamente.



Cosa sono le GPU?

Unità di elaborazione grafica (Graphical Processing Units)

Componenti hardware specializzate nella parallelizzazione delle computazioni, ovvero nell'eseguire operazioni diverse contemporaneamente.



Il tempo di addestramento di una rete neurale è direttamente proporzionale al numero di dati utilizzati.

Cosa sono le GPU?

Unità di elaborazione grafica (Graphical Processing Units)



Componenti hardware specializzate nella parallelizzazione delle computazioni, ovvero nell'eseguire operazioni diverse contemporaneamente.

Il tempo di addestramento di una rete neurale è direttamente proporzionale al numero di dati utilizzati.

Solitamente, più dati si hanno meglio è.

Cosa sono le GPU?

Unità di elaborazione grafica (Graphical Processing Units)



Componenti hardware specializzate nella parallelizzazione delle computazioni, ovvero nell'eseguire operazioni diverse contemporaneamente.

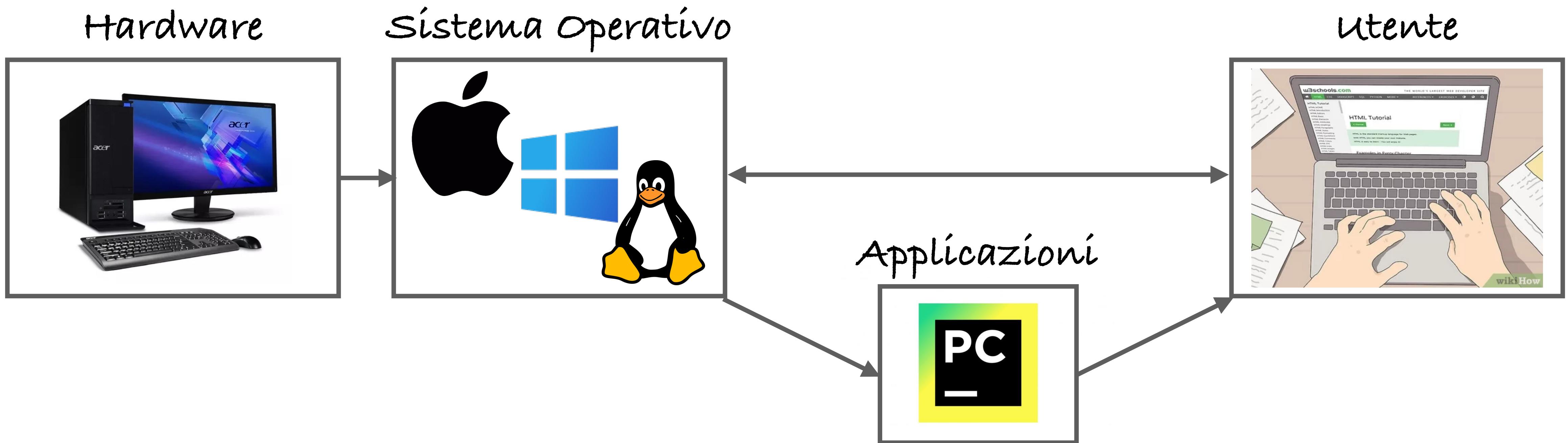
Il tempo di addestramento di una rete neurale è direttamente proporzionale al numero di dati utilizzati.

Soltamente, più dati si hanno meglio è.

Parallelizzare i calcoli eseguiti da ciascun neurone tramite GPU riduce notevolmente il tempo di addestramento della rete.

Perché utilizziamo Linux?

Il **sistema operativo** è un programma che agisce da interfaccia tra l'utente che usa il computer e il computer stesso (inteso come hardware), al fine di controllare l'esecuzione dei programmi.



Perché utilizziamo Linux?

Il **sistema operativo** è un programma che agisce da interfaccia tra l'utente che usa il computer e il computer stesso (inteso come hardware), al fine di controllare l'esecuzione dei programmi.

Linux, ed in particolare Ubuntu che è una sua distribuzione, è il **sistema operativo più usato per fare machine learning**:



- È portatile: lo stesso ambiente funziona sia su device molto piccoli (internet of things) che molto grandi (supercomputer);
- È veloce e snello;
- Ha un terminale di facile accesso ed utilizzo;
- Permette di accedere alla GPU in modo diretto;
- È diventato lo standard, quindi è molto facile trovare online la soluzione alla maggior parte dei problemi!