



Intelligenza Artificiale

Parte 1

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

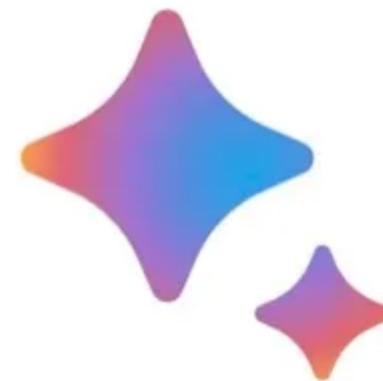
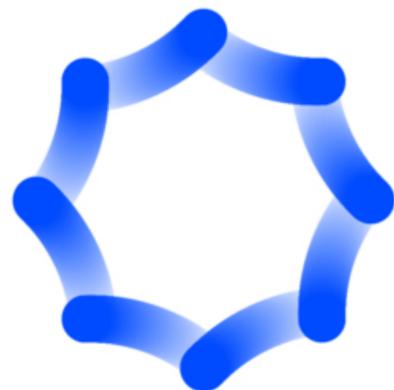


Introduzione all'Intelligenza Artificiale (AI)

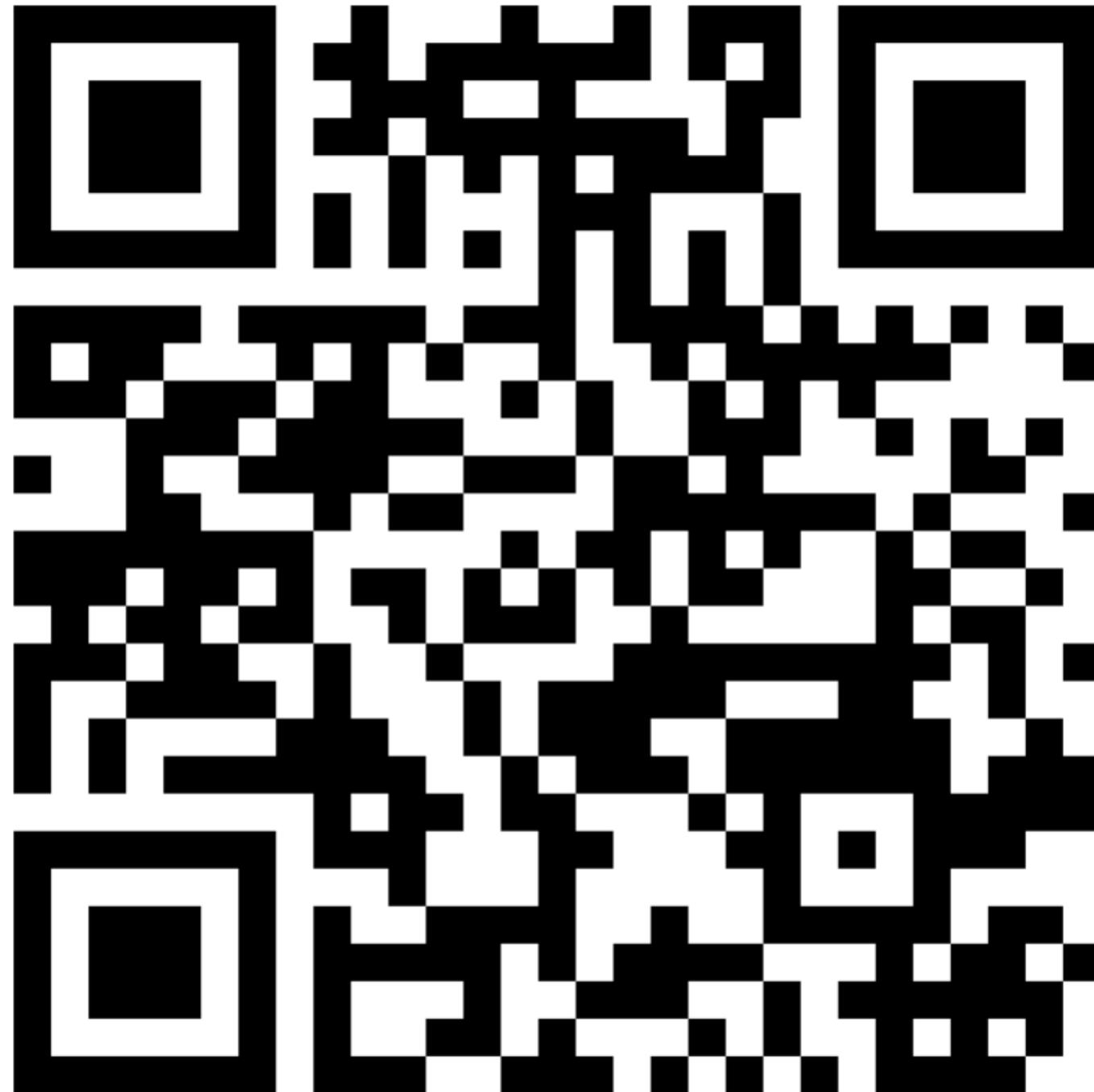
- È un concetto nuovo? Un recente sviluppo nella tecnologia?
- Non proprio... anche se è diventato *mainstream* solo negli ultimi anni!
- Le basi dell'attuale AI furono gettate all'**inizio del 1900**
- I **passi più importanti** sono stati compiuti solo a partire **dagli anni '50**
- Tuttavia l'AI che noi conosciamo non esisterebbe senza il lavoro dei primi esperti in svariati campi di ricerca (e non solo)

Introduzione all'Intelligenza Artificiale (AI)

- Conoscere la **storia** dell'AI è fondamentale per
 1. Capire a cui punto si trova **oggi** la AI
 2. Dove potrebbe andare in **futuro**, cosa potrebbe essere in grado di fare
- Vedremo gli sviluppi dell'intelligenza artificiale, dalle basi gettate all'inizio del 1900 fino ai principali passi avanti compiuti negli ultimi anni
 - E anche qualche esempio pratico...



Le parole più usate in ambito AI?



Ma cosa è l'AI? Una prima definizione

“

*The science and engineering of making
intelligent machines*

- John McCarthy -

Ma cosa è l'AI? Una più moderna definizione

Un ampio ramo dell'informatica che si occupa di sviluppare macchine in grado di apprendere, prendere decisioni ed eseguire compiti a un livello simile a quello umano

Le macchine più avanzate possono apprendere e crescere da sole, indipendentemente dall'intervento umano

Come funziona l'AI? Ancora...

L'intelligenza artificiale è una specializzazione dell'informatica che si occupa dello **sviluppo di sistemi** in grado di **replicare l'intelligenza umana** e la sua capacità di **risoluzione dei problemi**

Lo fanno **raccogliendo ed elaborando una miriade di dati**, per **imparare dal passato** per ottimizzarsi e migliorarsi

Come funziona l'AI?

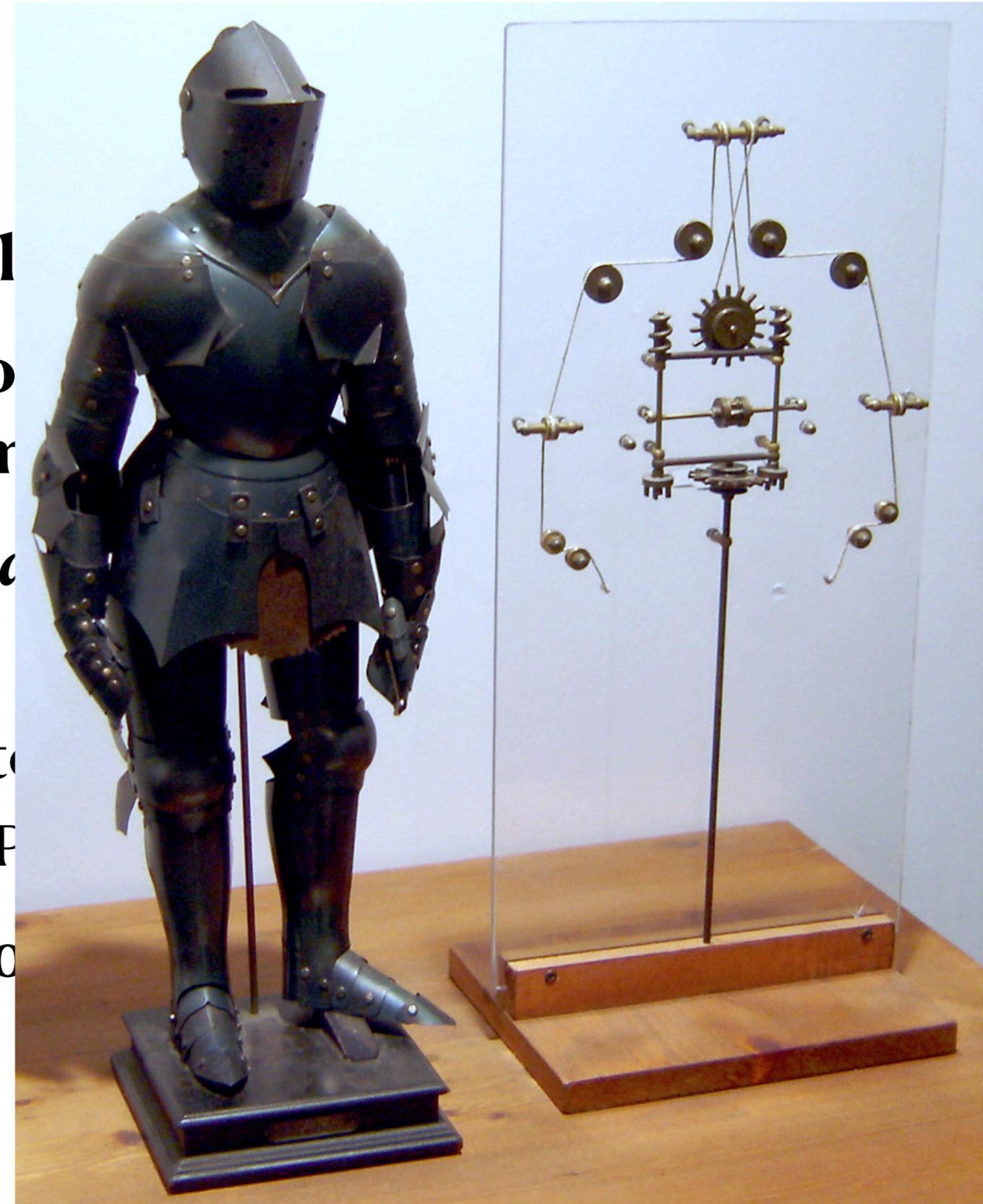
- Utilizza un sistema di **elaborazione iterativo** e diversi **algoritmi** per scovare e apprendere *pattern* dai dati elaborati per poi **reagire** in un modo specifico
- **Modelli più avanzati** possono anche **misurare le proprie prestazioni** ogni volta che vengono eseguiti e iniziare a **ripetere il processo iterativo** per **migliorare** le proprie prestazioni
- A volte viene utilizzato il *propensity model* per generare **predizioni/previsioni sui dati elaborati** e utilizzare tali **previsioni** per **rispondere o intraprendere** specifiche azioni in base al contesto

Da dove nasce l'AI?

- L'idea di “intelligenza artificiale” risale a **migliaia di anni fa**
- Nei tempi antichi, gli inventori realizzavano **oggetti meccanici** chiamati “**automi**” che si **muovevano indipendentemente** dall'intervento umano
- La parola “**automa**” deriva dal greco antico *automatos* e significa “agire di propria volontà”
- Una delle primissime testimonianze di un automa risale al **400 a.C.**
 - Un piccione meccanico creato da un amico di Platone
- Uno degli automi più famosi fu creato da **Leonardo da Vinci** intorno al 1495

Da dove nasce l'AI?

- L'idea di "intelligenza artificiale" risale a **migliaia di anni fa**
- Nei tempi antichi, gli inventori realizzavano omeccanismi chiamati "automi" che si **muovevano indipendentemente**
- La parola "**automa**" deriva dal greco antico e significa "che si muove da propria volontà"
- Una delle primissime testimonianze di un automa meccanico è un orologio meccanico di Leonardo da Vinci
 - Un piccione meccanico creato da un amico di Francesco de Sforza
- Uno degli automi più famosi fu creato da **Leonardo da Vinci**



Un po' di storia... gli albori

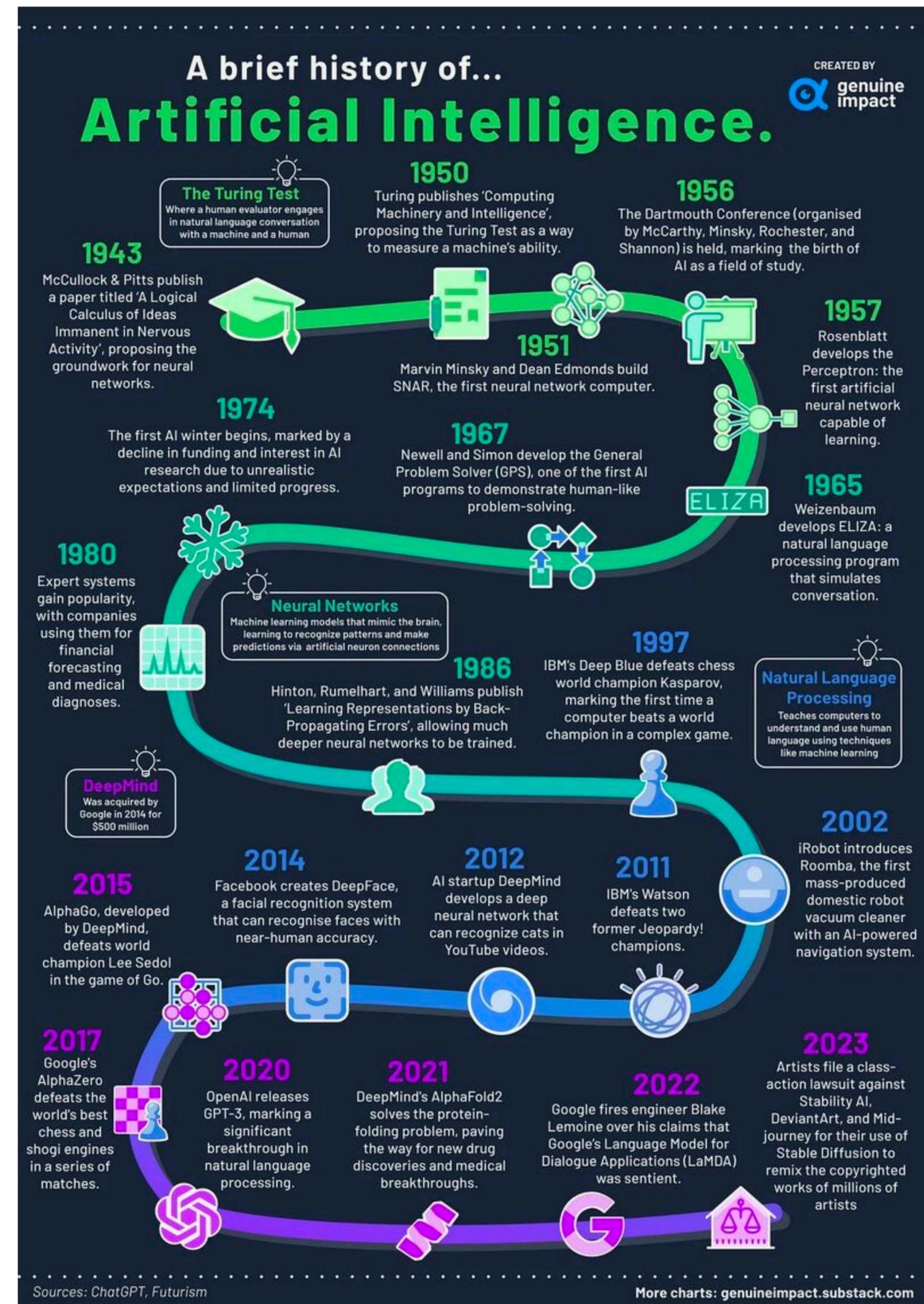
- Agli inizi del 1900 si iniziò a pensare all'idea di **esseri umani artificiali**
- Molti scienziati (in diversi campi) iniziarono a porsi la domanda “è possibile creare un cervello artificiale”?
- Alcuni di loro realizzarono **alcune versioni** di quelli che oggi chiamiamo “**robot**”
 - Erano per la maggior parte alimentati a vapore
 - Alcuni potevano esprimere le espressioni facciali e persino camminare

Un po' di storia... gli albori

- 1921: il drammaturgo ceco Karel Čapek pubblica un'opera di fantascienza chiamata "*Rossum's Universal Robots*" nella quale introduce l'idea di "**persone artificiali**" chiamate *robot*
- 1929: il professore giapponese Makoto **Nishimura** costruisce il primo *robot* giapponese, chiamato Gakutensoku
- 1949: l'informatico Edmund Callis **Berkley** pubblica il libro "*Giant Brains, or Machines that Think*" che confronta i nuovi **modelli di computer** con il **cervello umano**

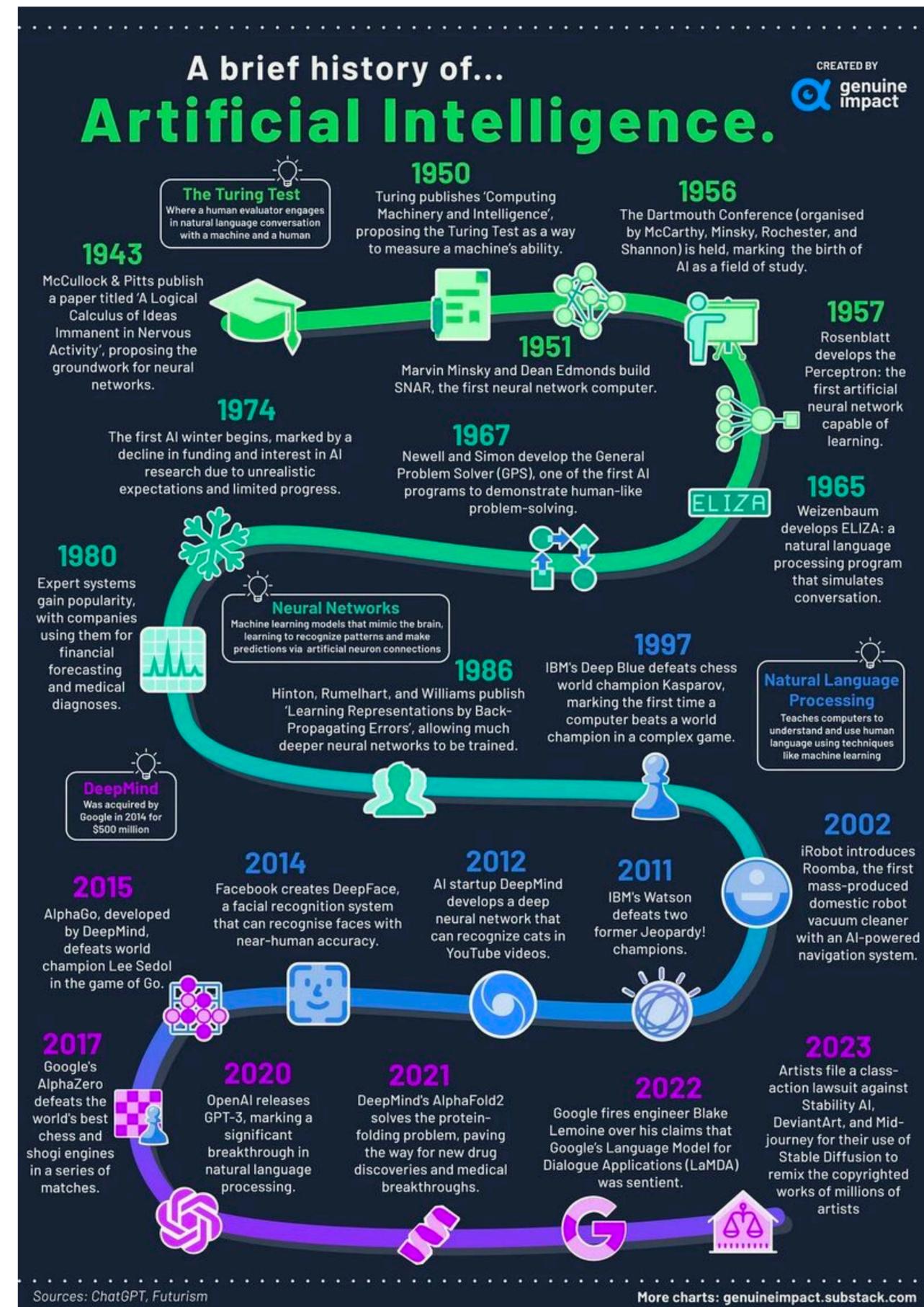
Un po' di storia... la nascita

- 1943: i due pionieri come **McCulloch e Pitts** pubblicarono un paper in cui mostrano come un semplice sistema di **neuroni artificiali** potesse essere in grado di eseguire delle **funzioni logiche basilari**
- 1950: Alan **Turing** pubblicò “*Computer Machinery and Intelligence*” in cui proponeva un test di intelligenza artificiale chiamato ***The Imitation Game***
- 1956: a seguito di una **conferenza scientifica a Dartmouth**, nasce la AI come campo di ricerca



Un po' di storia... la nascita

- 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

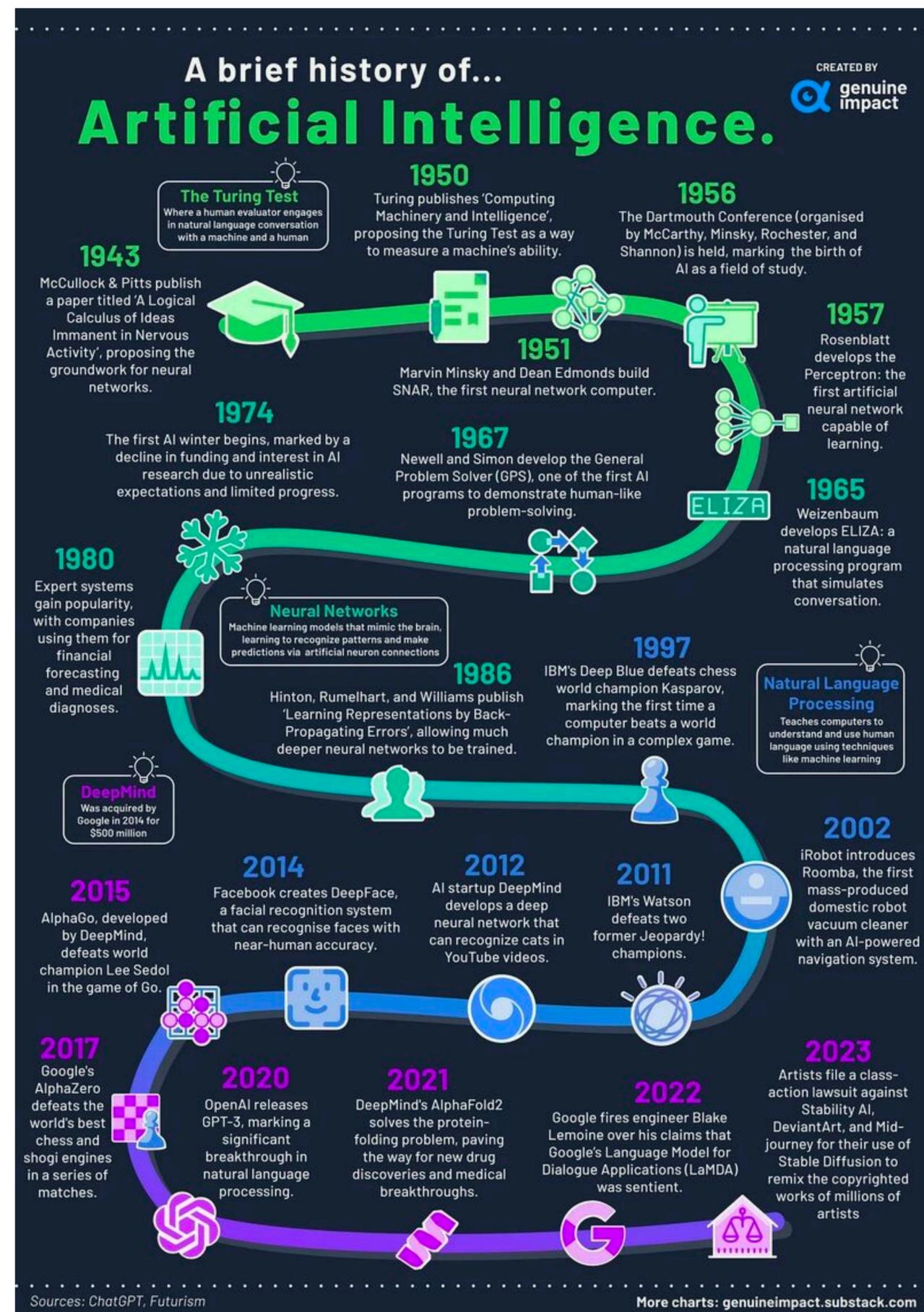


Due tipi di AI...

- Negli anni '50, a causa della mancanza di **potenza computazionale**, il concetto di AI si frammentò in **due teorie distinte**
 - **Intelligenza Artificiale Forte** —> Le macchine sono in grado di sviluppare una **coscienza di sé**; studia sistemi in grado di **replicare l'intelligenza umana**
 - **Intelligenza Artificiale Debole** —> Sviluppare macchine in grado di **risolvere problemi specifici senza avere però coscienza delle attività svolte**
- L'AI studia lo sviluppo di sistemi *Hardware* e *Software* dotati di specifiche **capacità tipiche dell'essere umano**
- L'AI deve essere trattata combinando aspetti **teorici, pratici e operativi**

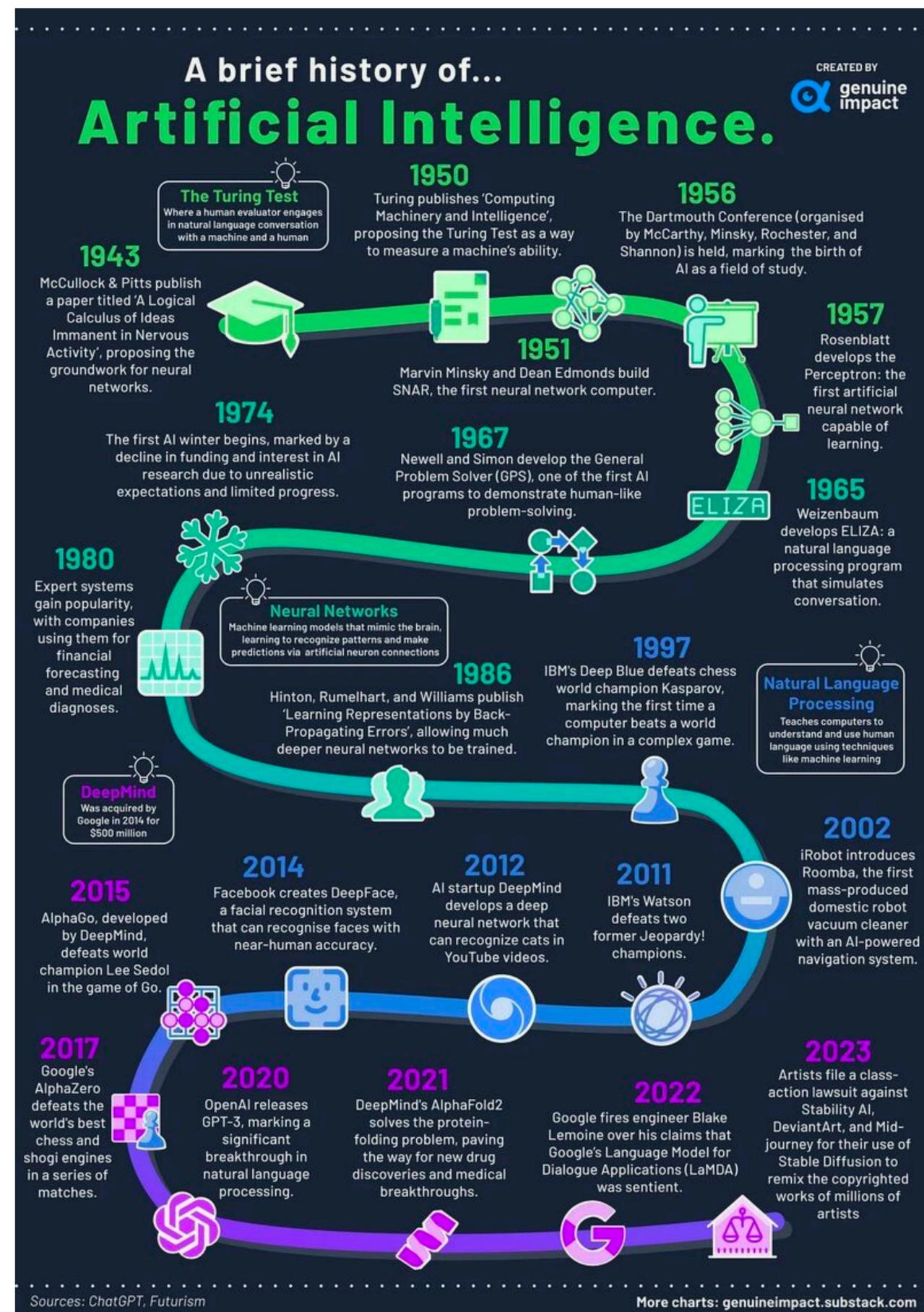
La storia continua...

- 1965: Joseph Weizenbaum creò il primo “**chatterbot**” (successivamente abbreviato in chatbot), chiamato ELIZA
- Un **finto psicoterapeuta**, che utilizzava tecniche di **Natural Language Processing** (NLP) per conversare con gli esseri umani
- 1973: James **Lighthill**, un matematico applicato, presentò un rapporto al *British Science Council*, sottolineando che i **progressi non erano così impressionanti** come quelli **promessi**
- 1974 - 1979: il **primo AI winter**. Una riduzione molto significativa dell'interesse e dei finanziamenti per la ricerca nell'AI



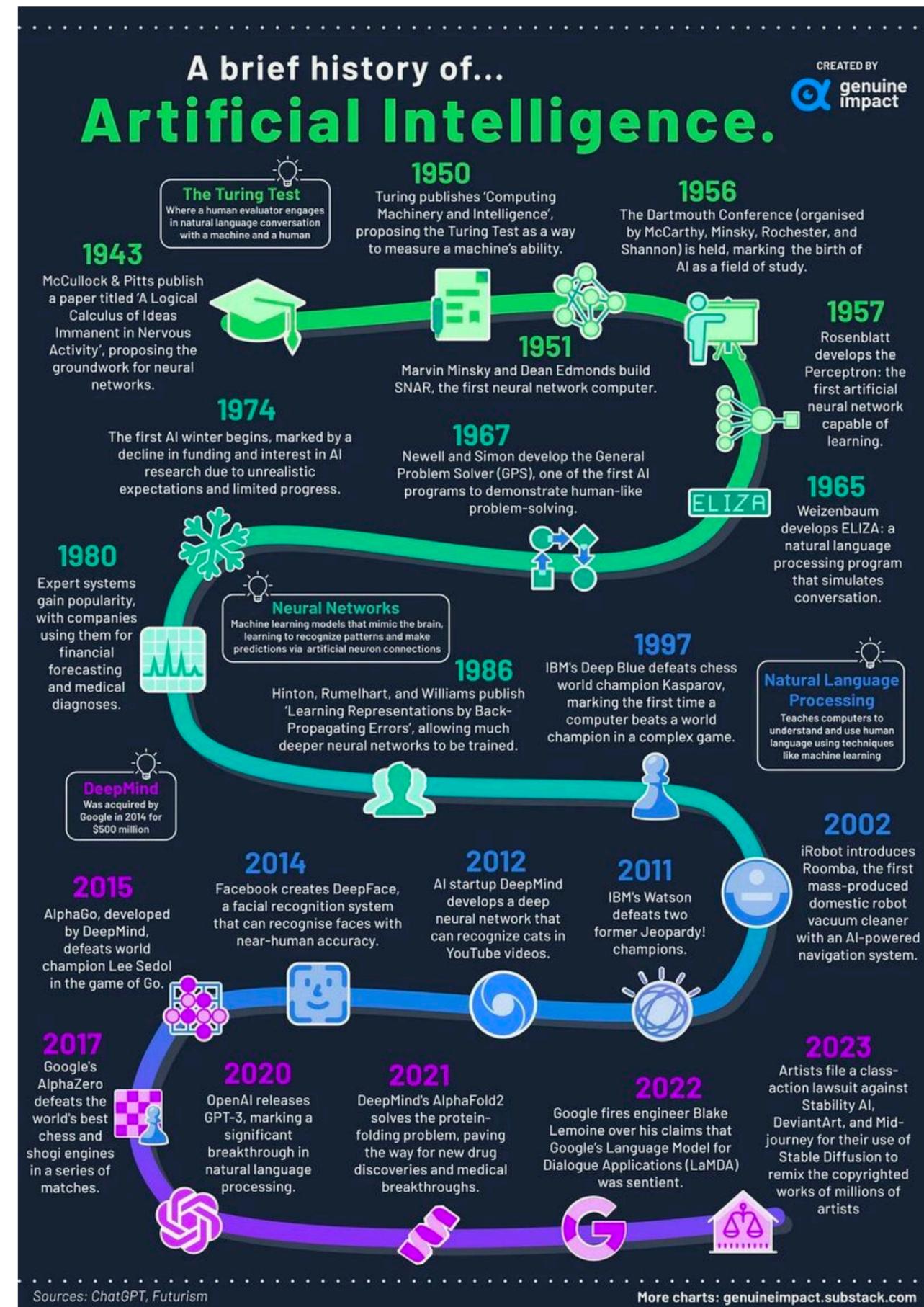
La storia continua

- 1980: il primo **sistema esperto**, noto come XCON (configuratore esperto), entra nel mercato commerciale. I sistemi esperti prendono piede
- 1986: **Hinton** e colleghi pubblicano il celebre articolo *“Learning representations by back-propagating errors”*. Si inizia a parlare di reti neurali profonde...Deep Learning
- La Association for the Advancement of Artificial Intelligence (**AAAI**) prevede un **secondo e lungo AI winter**



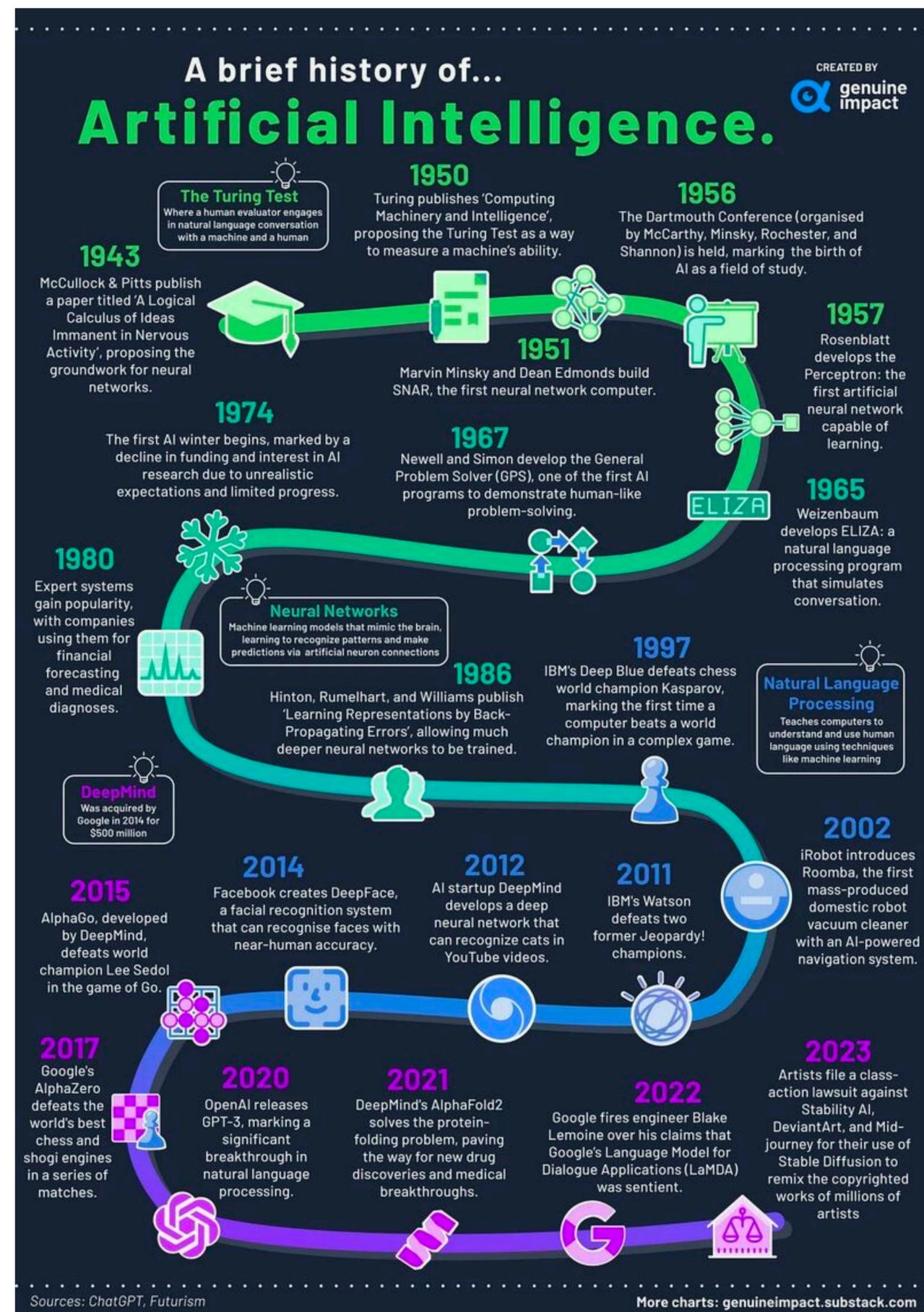
La storia continua...

- 1987-1993: il **secondo AI winter**. Sia gli investitori privati che i governi perdono interesse e interrompono i loro finanziamenti a causa dei **costi elevati** a fronte di un **rendimento** apparentemente **basso**
- 1997: **Deep Blue** (sviluppato da IBM) batte il campione mondiale di scacchi (Gary Kasparov), diventando il primo programma a battere un campione di scacchi umano
- 1997: Windows rilascia un software di riconoscimento vocale (sviluppato da Dragon Systems)



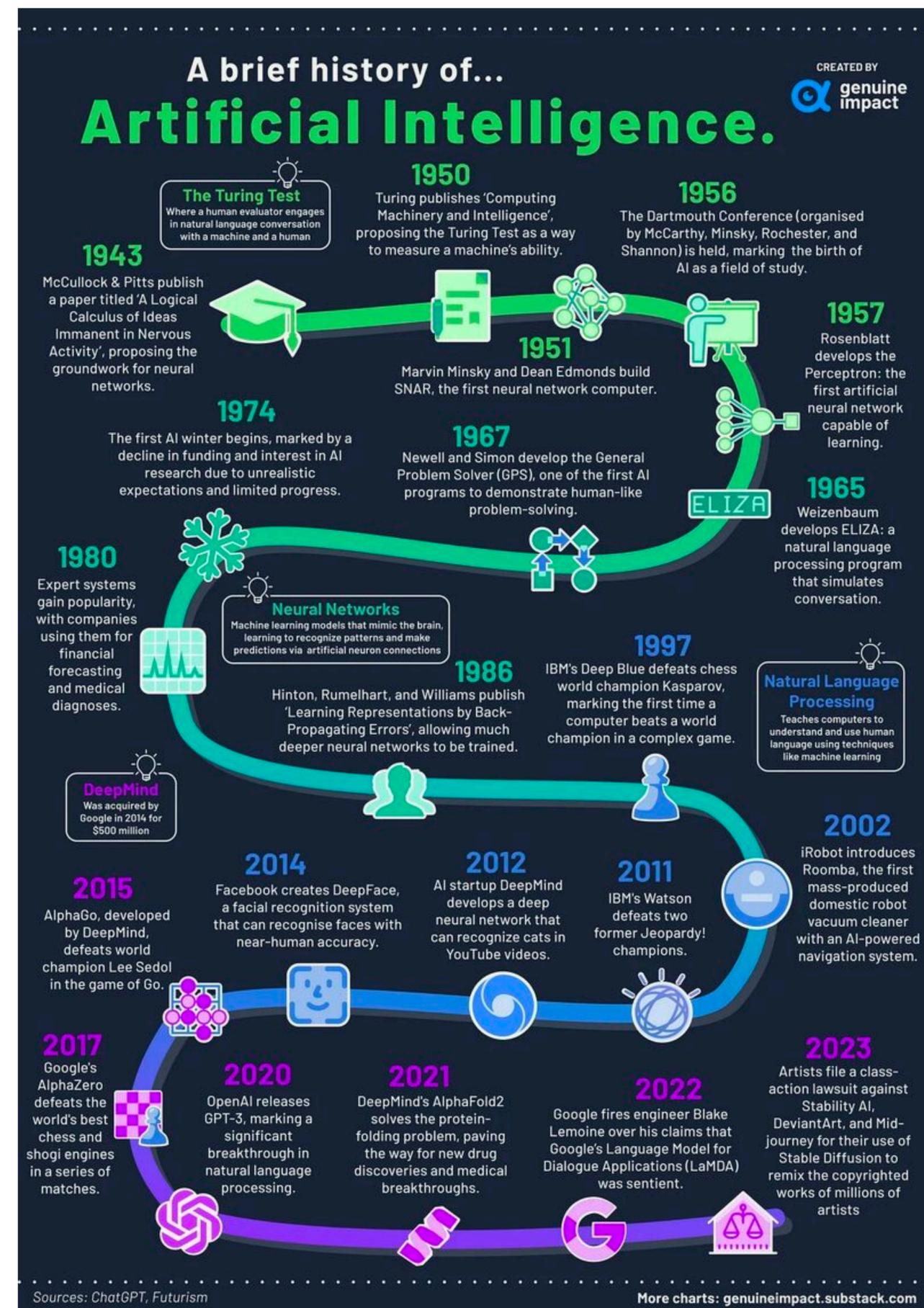
La storia continua...

- 2011: **Watson** (creato da IBM), un computer basato su NLP e programmato per rispondere a domande, vince Jeopardy contro due ex campioni durante una partita televisiva
- 2011: **Apple** rilascia Siri, il primo popolare assistente virtuale
- 2012: due ricercatori di **Google** (Jeff Dean e Andrew Ng) riuscirono ad addestrare una rete neurale in grado di riconoscere i gatti solo tramite immagini non etichettate e senza informazioni di base



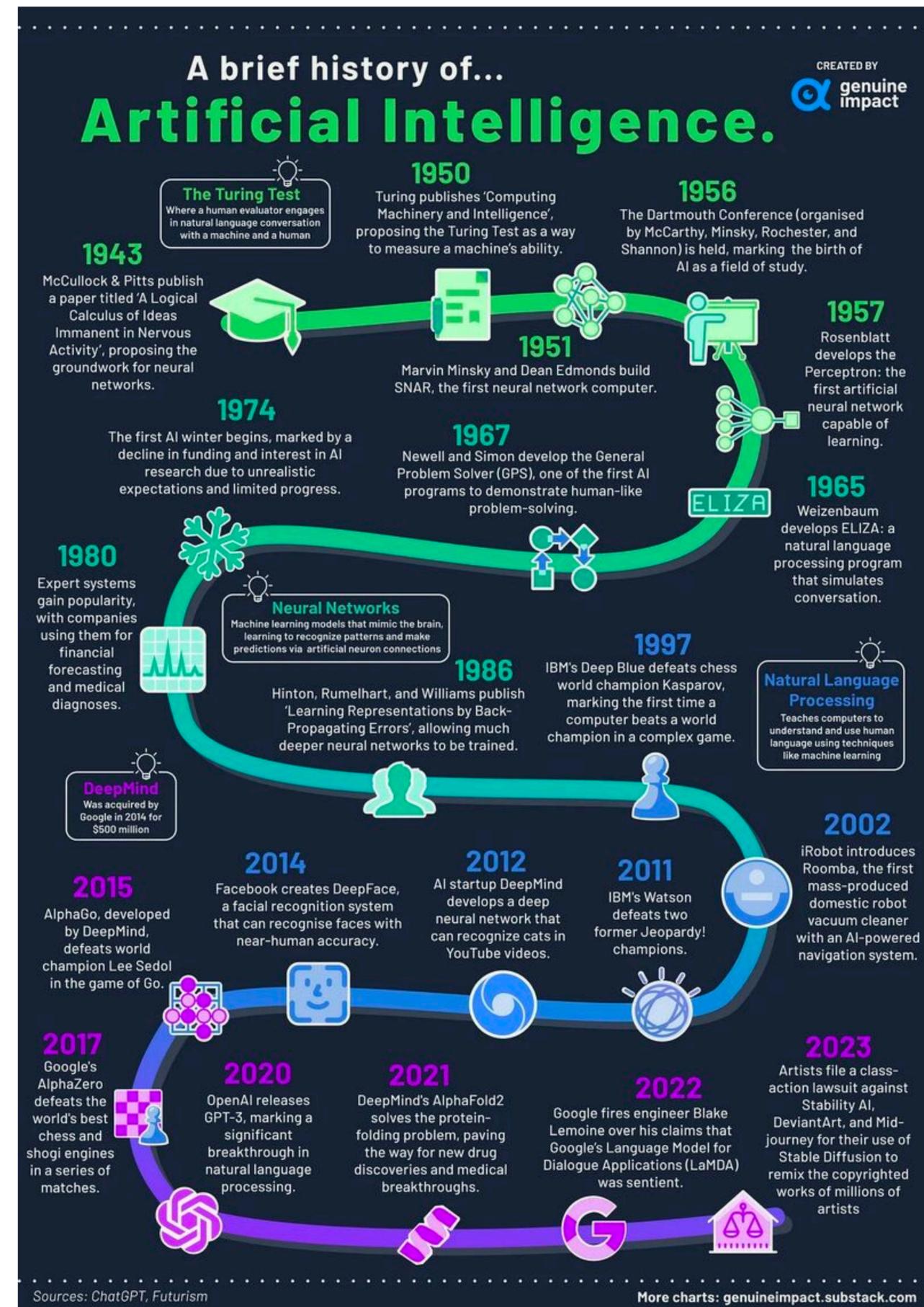
La storia continua...

- 2014: **FaceBook** propone **DeepFace**, un sistema di riconoscimento facciale in grado di riconoscere i vasi con un'accuratezza simile a quella umana
- 2015: **AlphaGo** (creato da DeepMind/Google) batte il campione mondiale di Go (Lee Sedo)
- 2017: **Facebook** propone due chatbot per conversare e imparare a negoziare. I chatbot sviluppano "solo" una propria lingua, in modo completamente autonomo
- 2017: **AlphaZero** (creato da DeepMind/Google) batte i migliori programmi di scacchi, shōgi e go in diverse partite

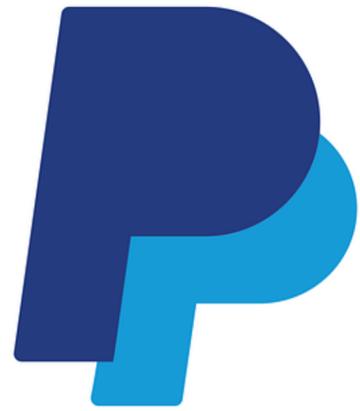


L'AI ai giorni nostri...

- 2020: **GPT-3** (sviluppato da **OpenAI**) viene rilasciato. Questa versione di GPT è una svolta significativa per la ricerca nel NLP
- 2021: **AlphaFold2** (sviluppato da DeepMind/Google) risolve il problema del *protein-folding*, aprendo la strada per nuove scoperte in ambito *drug design*. Una svolta anche in ambito *Computational Biology and Medicine*
- 2023: **GPT-4** (sviluppato da **OpenAI**) e **Gemini** (sviluppato da DeepMind/Google) vengono rilasciati. Questi tool possono elaborare testi, immagini, suono, ... si va verso la **Multimodalità**



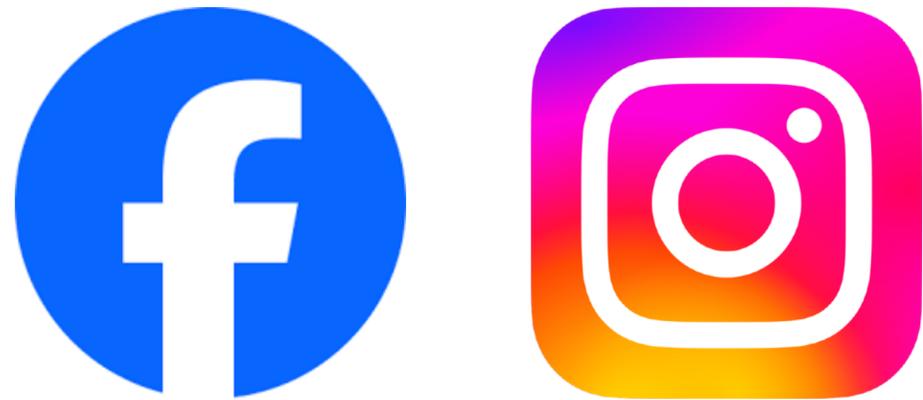
Qualche applicazione dell'AI



Rilevamento delle frodi



Qualche applicazione dell'AI



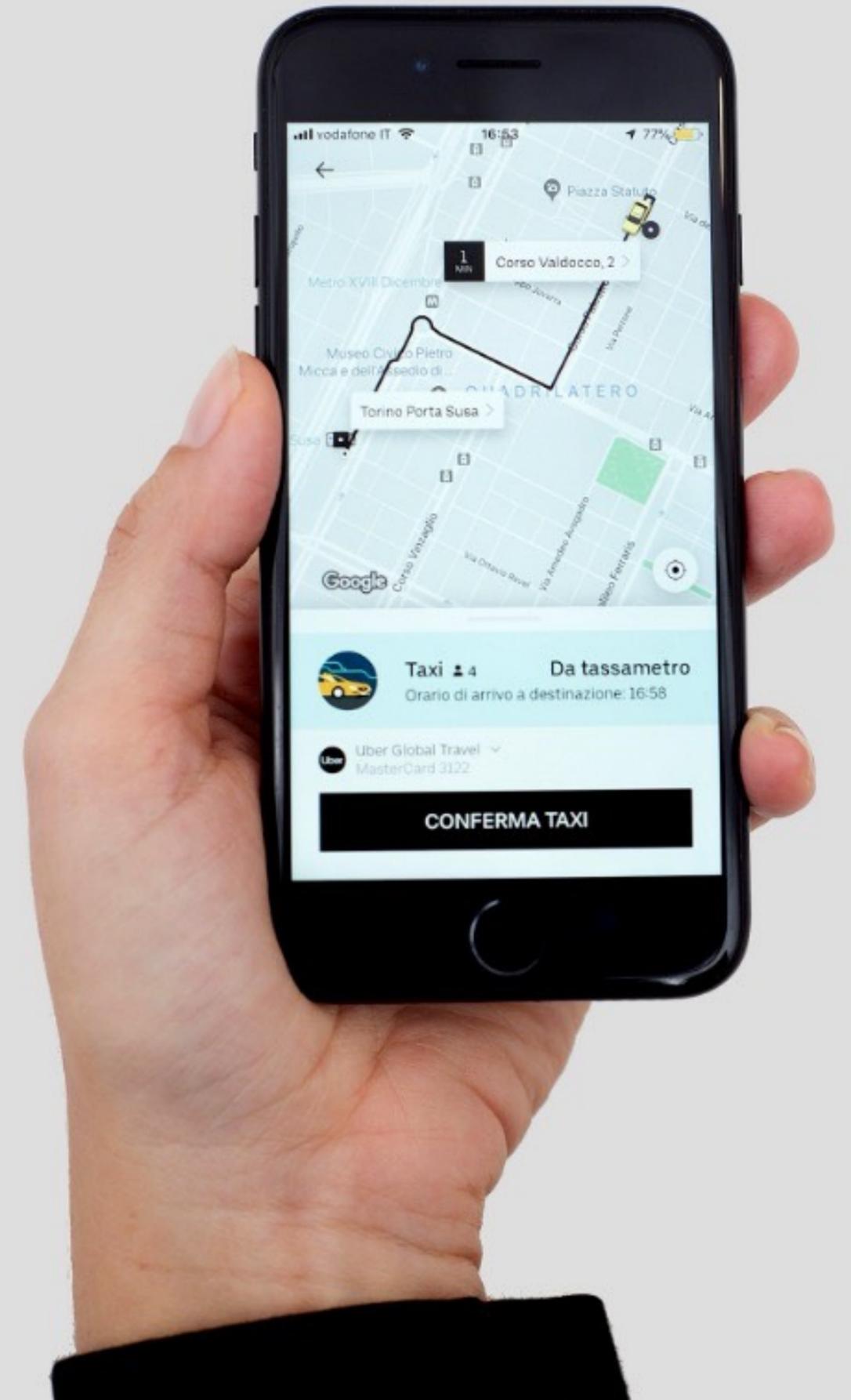
Riconoscimento dei volti



Qualche applicazione dell'AI



Ottimizzazione del prezzo



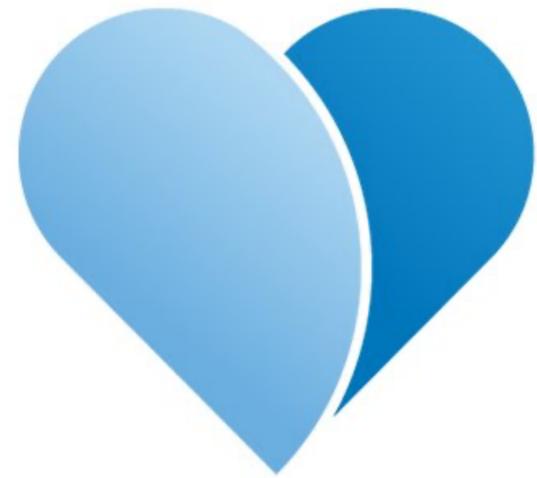
Qualche applicazione dell'AI



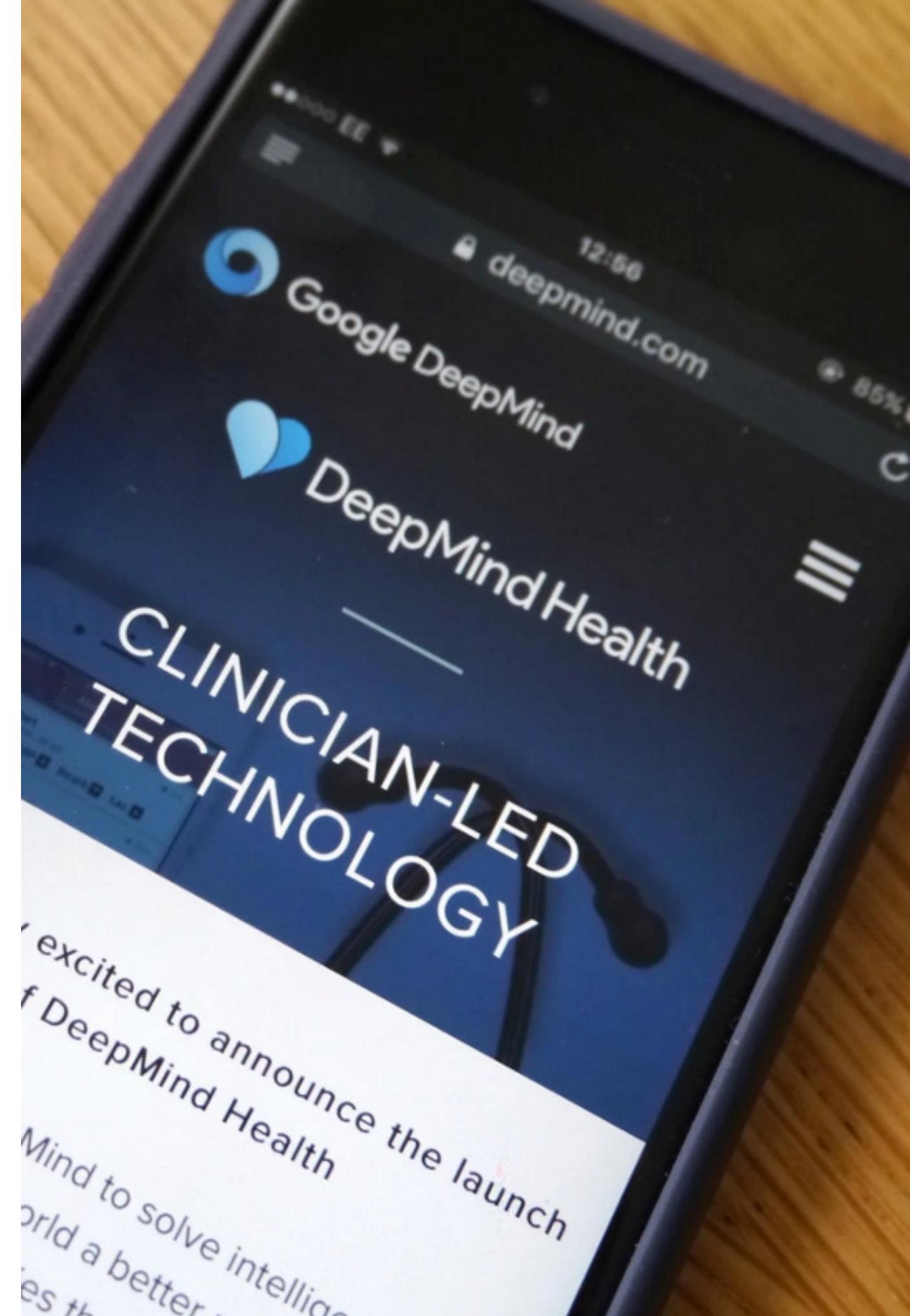
Sistema di raccomandazione



Qualche applicazione dell'AI



Monitoraggio della salute



Qualche applicazione dell'AI



Domotica



Alcuni nomi ...

- **Chatbot o Virtual Assistant:** uno strumento capace di offrire assistenza 24/7 sia ai clienti che ai dipendenti
- ***Natural Language Processing* (NLP):** creare sistemi in grado di favorire l'interazione e la comprensione uomo/macchina (principalmente tramite testo)
- **Computer Vision:** algoritmi e tecniche per permettere ai computer di ottenere una comprensione di alto livello del contenuto di immagini o video
- **Intelligent Data Processing:** utilizzare algoritmi di AI per finalità collegate all'estrazione delle informazioni presenti nei dati stessi
- **Recommendation System:** strumenti capaci di suggerire raccomandazioni più precise agli utenti

Generative AI

Generate a
photograph of a
Tortoise-shell cat



Generative AI

Generate a
photograph of an
astronaut riding a
horse



Generative AI

Generate a Vin
Diesel's photograph
as Groot



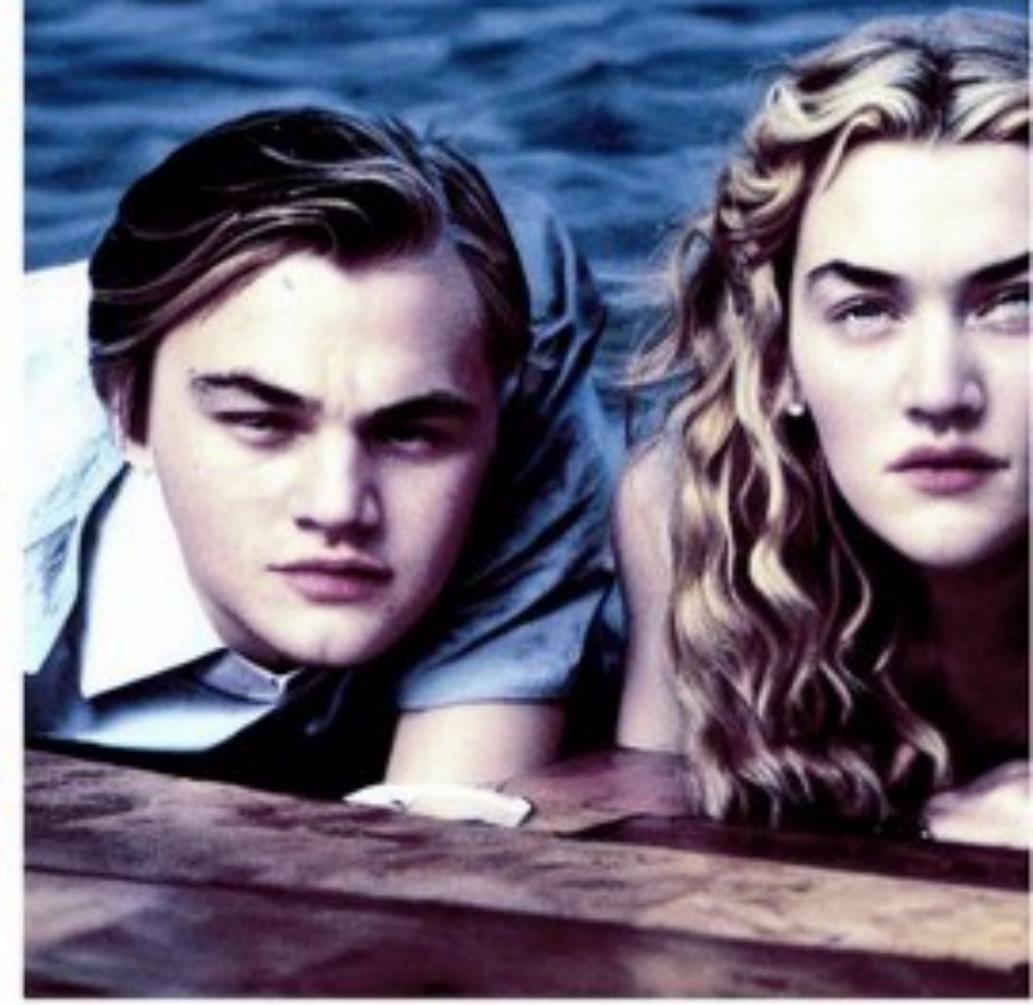
Generative AI

Generate a
photograph of a
Ferrari in the
Ancient Rome



Generative AI

Rose makes room
for Jack at the end
of Titanic, and he
survives



Generative AI

ChatGPT 3.5 ▾



Tú

What can I cook with some rice, chicken, and almonds?



ChatGPT

With rice, chicken, and almonds, you have the ingredients for a delicious and nutritious meal. Here's a recipe for Chicken and Almond Stir-Fry with Rice:

Ingredients:

1. 1 cup of rice (white or brown)
2. 1 pound of chicken breast, cut into bite-sized pieces
3. 1 cup of sliced almonds
4. 1 cup of mixed vegetables (such as bell peppers, broccoli, and snap peas)
5. 3 tablespoons soy sauce
6. 2 tablespoons oyster sauce
7. 2 tablespoons sesame oil
8. 2 cloves of garlic, minced
9. 1 teaspoon ginger, minced
10. Salt and pepper to taste
11. Green onions, chopped (for garnish, optional)
12. Sesame seeds (for garnish, optional)

Generative AI

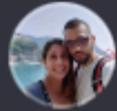
ChatGPT 3.5 ▾

Instructions:

1. Cook the rice according to the package instructions.
2. In a large skillet or wok, heat the sesame oil over medium-high heat.
3. Add the chicken pieces to the skillet and cook until browned and cooked through.
4. Add the minced garlic and ginger to the chicken, and stir-fry for about 1-2 minutes until fragrant.
5. Add the mixed vegetables to the skillet and stir-fry for an additional 3-4 minutes until they are tender-crisp.
6. In a small bowl, mix together the soy sauce and oyster sauce. Pour the sauce over the chicken and vegetables, and toss everything together to coat evenly.
7. Stir in the sliced almonds and cook for an additional 2-3 minutes until the almonds are toasted and the flavors are well combined.
8. Season with salt and pepper to taste.
9. Serve the stir-fry over the cooked rice.
10. Garnish with chopped green onions and sesame seeds if desired.

This Chicken and Almond Stir-Fry with Rice is a quick and flavorful meal that incorporates the crunchiness of almonds with the protein of chicken and the simplicity of rice. Adjust the ingredients and quantities according to your preferences and enjoy your delicious homemade stir-fry!

Generative AI



Tú

Write a joke about Vin Diesel and a Groot



ChatGPT

Why did Vin Diesel bring Groot to the comedy club?

Because he heard Groot was a "tree"-mendous stand-up performer, and Vin wanted to root for his buddy!



Generative AI



Tú

Can you present yourself to these high school students?



ChatGPT

Hello everyone! I'm ChatGPT, a virtual assistant created by OpenAI. I'm like a super-smart computer friend that loves to chat and help out with all sorts of questions and information. Whether you need assistance with homework, want to discuss a topic, or just share a joke, I'm here for you. Feel free to ask me anything, and let's make our conversation interesting and fun!



Tú

Can you that in Italian?



ChatGPT

Ciao a tutti! Sono ChatGPT, un assistente virtuale creato da OpenAI. Sono come un amico computer superintelligente che adora chiacchierare e aiutare con ogni tipo di domanda e informazione. Che tu abbia bisogno di assistenza con i compiti, voglia discutere di un argomento o semplicemente condividere una battuta, sono qui per te. Sentiti libero di chiedermi qualsiasi cosa e facciamo in modo che la nostra conversazione sia interessante e divertente!

Generative AI



Tú

Can you that as a rock song?



ChatGPT

(Verse 1)

Hey there, high school crew, gather 'round,
I'm ChatGPT, make a joyful sound.

I'm the virtual rocker in your digital town,
Ready to chat, let's break it down.

(Chorus)

I'm ChatGPT, your info guide,
In the virtual world, let's take a ride.
Ask me questions, don't be shy,
I'm here to help, reachin' for the sky.

(Verse 2)

Homework blues or just wanna talk,
I'm your computer friend, let's take a walk.
From science facts to a funny joke,
I'm your rockin' buddy, that ain't no hoax.

(Chorus)

I'm ChatGPT, your info guide,
In the virtual world, let's take a ride.
Ask me questions, don't be shy,
I'm here to help, reachin' for the sky.

(Bridge)

Guitar solo, drumbeat strong,
In the world of chat, I belong.
With every question, we sing along,
In this digital band, we can't go wrong.

(Verse 3)

So if you need advice or just a smile,
ChatGPT's here, go that extra mile.
From Italian greetings to jokes so wild,
In this virtual jam, let's reconcile.

(Chorus)

I'm ChatGPT, your info guide,
In the virtual world, let's take a ride.
Ask me questions, don't be shy,
I'm here to help, reachin' for the sky.

(Outro)

Now you know me, the virtual sage,
In this rockin' chat, let's turn the page.
Keep on groovin', in this digital age,
With ChatGPT, let's set the stage!

Generative AI



Tú

Puoi farlo con una canzone italiana rap?



ChatGPT

(Verse 1)

Ehi ragazzi, sono ChatGPT al microfono,
Nel mondo digitale, sono il tuo amico buono.
Conoscenze infinite, le risposte sono in abbondanza,
Preparati a una lezione, questa è la mia danza.

(Chorus)

Sono ChatGPT, nella rete navigo,
Risposte rap, ogni dubbio mitigo.
Fammi domande, non fare il timido,
Nel mondo virtuale, con me sei al sicuro.

(Verse 2)

Algoritmi affilati, come lame nel testo,
Con me ogni conversazione è un successo.
Dal coding alla cultura, sono un rapper digitale,
Le tue domande sono il mio rituale.

(Chorus)

Sono ChatGPT, nella rete navigo,
Risposte rap, ogni dubbio mitigo.
Fammi domande, non fare il timido,
Nel mondo virtuale, con me sei al sicuro.

(Bridge)

Ritmo incalzante, come il battito del cuore,
Nel flusso di byte, sono il tuo vettore.
Domande ardite, risposte d'oro,
In questa rap session, il sapere è il tesoro.

(Verse 3)

Se vuoi parlare italiano o capire il coding,
Con ChatGPT, ogni info è esplodendo.
Rispetto come un rapper, ma senza ego,
Con me la tua mente vola come un aquilone.

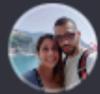
(Chorus)

Sono ChatGPT, nella rete navigo,
Risposte rap, ogni dubbio mitigo.
Fammi domande, non fare il timido,
Nel mondo virtuale, con me sei al sicuro.

(Outro)

Ora che mi conosci, sono il rap virtuale,
Navigo nell'infosfera, sempre originale.
Con ChatGPT, ogni conversazione è spettacolare,
Rappo con il sapere, questa è la mia storia da raccontare!

Generative AI



Tú

Write the python code to plot the following function $y = e^{\sin(x)}$



ChatGPT

Certainly! You can use the `numpy` library for numerical operations and `matplotlib` for plotting. Make sure to install these libraries if you haven't already by using:

```
bash
```

 Copy code

```
pip install numpy matplotlib
```

Here's the Python code to plot the function $y = e^{\sin(x)}$:

Generative AI

python

Copy code

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

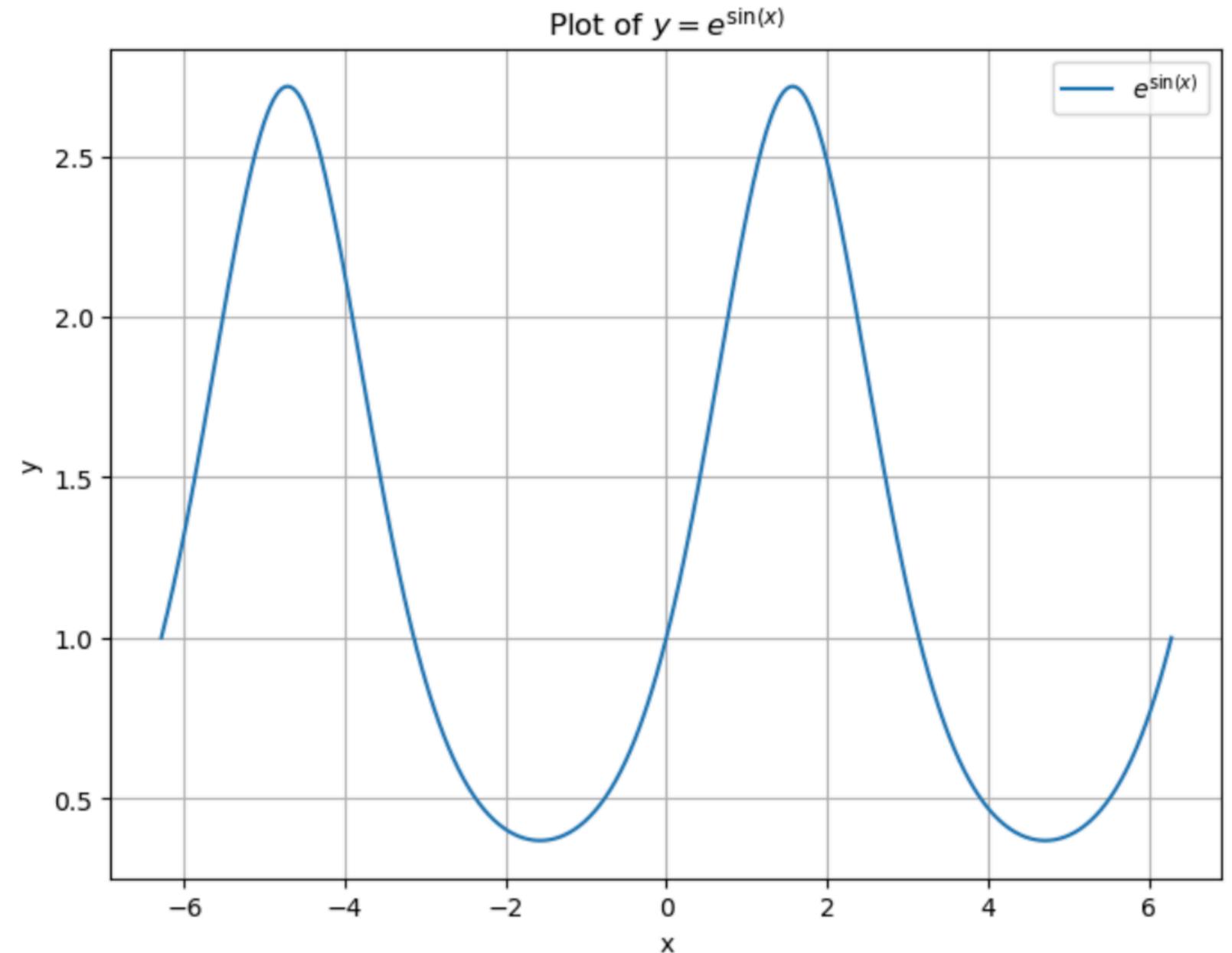
# Define the function
def my_function(x):
    return np.exp(np.sin(x))

# Generate x values
x_values = np.linspace(-2*np.pi, 2*np.pi, 1000)

# Calculate corresponding y values
y_values = my_function(x_values)

# Plot the function
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.plot(x_values, y_values, label=r'$e^{\sin(x)}$')
plt.title('Plot of $y = e^{\sin(x)}$')
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

This code creates a plot of the function $y = e^{\sin(x)}$ over a range of x values from -2π to 2π . You can adjust the range or other parameters as needed.



Cosa può fare una AI?

- **Come** fanno le varie tipologie di AI che abbiamo elencato a **raggiungere gli scopi** applicativi **richiesti**?
- Possiamo pensare che **ogni AI** sia **caratterizzata** da un certo numero di **proprietà**, che definiamo “**capacità**”
 - Ispirate alle capacità degli esseri umani...
- Tali capacità si ottengono grazie all’uso di **specifiche metodologie**
 - Elaborazione del linguaggio naturale
 - Elaborazione delle immagini
 - Apprendimento (Machine Learning e Computational Intelligence)
 - Ragionamento e classificazione
 - Interazione sociale (sistemi multi-agente) e con l’ambiente (localizzazione)

Soft computing vs Hard computing

- **Hard computing** utilizza metodi matematici tradizionali per risolvere problemi. Si basa su calcoli deterministici e precisi
- **Soft Computing** utilizza tecniche come la logica fuzzy, le reti neurali, gli algoritmi genetici e altri euristiche per risolvere i problemi

Hard Computing	Soft Computing
Hard computing needs a exactly state analytic model.	Soft Computing is liberal of inexactness, uncertainty, partial truth and approximation.
Hard computing relies on binary logic and crisp system.	Soft Computing relies on formal logic and probabilistic reasoning.
Hard computing has the features of exactitude(precision) and categoricity.	Soft computing has the features of approximation and dispositionality.
Hard computing is deterministic in nature.	Soft computing is stochastic in nature.
Hard computing works on exact data.	Soft computing works on ambiguous and noisy data.
Hard computing performs sequential computations.	Soft computing can perform parallel computations.
Hard computing produces precise results.	Soft computing produces approximate results.
Hard computing requires programs to be written.	Soft computing will emerge its own programs.
Hard computing is settled.	Soft computing incorporates randomness .
Hard computing uses two-valued logic.	Soft computing will use multivalued logic.

AI, Machine Learning ... ma non solo

Artificial Intelligence

Machine Learning

Supervised
Learning

Unsupervised
Learning

Reinforcement
Learning

Deep Learning

Introduzione al Machine Learning

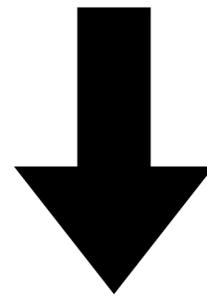
- L'**obiettivo** è sviluppare **algoritmi** che consentano a un **computer** di “**imparare**” **compiti specifici** a partire da **esempi**
- **Apprendere** significa che il computer può **memorizzare** gli esempi visti ma anche **generalizzare** a istanze mai viste prima
- Il computer dovrebbe utilizzare la serie di esempi per **apprendere** (cioè estrarre) una “**regola**” **generale** su come eseguire correttamente il compito specifico
- **Deduzione vs. Induzione.** Il *Machine Learning* è un approccio di inferenza induttiva o deduttiva?



Deduzione vs. Induzione

Deduzione: ragionamento a partire da una o più affermazioni generali (premesse) per raggiungere una conclusione logicamente certa

1. Ogni persona in questa stanza è uno studente
2. Ogni studente ha più di 10 anni



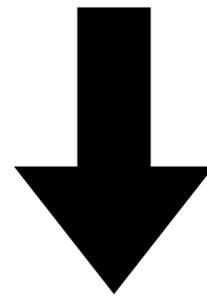
Ogni persona in questa stanza ha più di 10 anni

- Se le **premesse** sono **corrette**, allora lo **saranno** anche tutte le **conclusioni**
 - La **matematica** si basa su questo principio. Non esiste un modo naturale per affrontare l'incertezza riguardo alle premesse

Deduzione vs. Induzione

Induzione: ragionamento, costruzione o valutazione di proposizioni generali, derivate da esempi specifici

1. Molto spesso lasciamo cadere molte cose
2. Le cose cadono verso il basso, non verso l'alto (in tutti i nostri esempi)



Probabilmente le cose cadono sempre verso il basso quando le lasciamo cadere

- Non possiamo **mai essere sicuri** —> La nostra **conclusione** può essere **sbagliata!**
- Gli **esseri umani** fanno continuamente ragionamenti induttivi, traendo conclusioni incerte dalle nostre esperienze (relativamente limitate)

Machine Learning: processo di inferenza induttiva

- Il *Machine Learning* automatizza il processo di **inferenza induttiva**
- Supponiamo di osservare una **risposta quantitativa** (variabile dipendente) Y e p diversi **predittori** (variabili o caratteristiche indipendenti) $\mathbf{X} = X_1, X_2, \dots, X_p$
 - Supponiamo che esista una qualche relazione tra Y e \mathbf{X}
 - Si noti che le relazioni semplici sono espresse da coppie di variabili $(\mathbf{x}_1, y_1), \dots, (\mathbf{x}_n, y_n)$
$$f: \mathbf{X} \rightarrow Y, \quad Y = f(\mathbf{X}) + \epsilon$$
 - f è una funzione fissa ma sconosciuta \mathbf{X} , mentre ϵ è un termine di *errore casuale*
 - f rappresenta l'informazione sistematica fornita da \mathbf{X} su Y

Predizione vs. Inferenza

- Principalmente due diverse ragioni per stimare la nostra funzione
 - Previsione e inferenza
- **Predizione:** una serie di input \mathbf{X} è disponibile, ma l'output Y non può essere facilmente ottenuto. Il termine di errore ha una media pari a zero \rightarrow possiamo prevedere Y come $\hat{Y} = \hat{f}(\mathbf{X})$
 - \hat{f} è spesso visto come una funzione/modello *black-box* (non ci interessa la forma esatta di \hat{f} a condizione che fornisca previsioni accurate di Y)
 - L'accuratezza di \hat{Y} dipende dall'errore riducibile e dall'errore irriducibile
 - Possiamo migliorare la precisione di \hat{f} utilizzando la tecnica di apprendimento statistico più appropriata \rightarrow l'imprecisione è l'errore riducibile
 - Y è anche una funzione di ϵ \rightarrow l'errore introdotto da ϵ è l'*errore irriducibile*

Predizione vs. Inferenza

- Principalmente due diverse ragioni per stimare la nostra funzione
 - Previsione e inferenza
- **Inferenza:** comprendere l'associazione tra Y e X . Desideriamo stimare f (il nostro obiettivo non è necessariamente quello di fare previsioni su Y), in modo tale che \hat{f} non possa essere trattata come una funzione *black-box*—> cerchiamo la forma esatta di \hat{f} !
 - Quali predittori sono associati alla risposta?
 - Identificare i (pochi) predittori importanti
 - Qual è la relazione tra la risposta e ciascun predittore?

Are Machine Learning

- I metodi di *Machine Learning* possono essere suddivisi in tre aree
 - Supervised learning
 - Unsupervised learning
 - Reinforcement learning

**Supervised
Learning**

**Unsupervised
Learning**

**Reinforcement
Learning**

Machine Learning: supervised learning

- I modelli supervisionati definiscono un *mapping* tra i dati di **input** e una previsione dei valori di **output**
- **Imparare** questo *mapping* da esempi di dati di input/output accoppiati
 - Regressione univariata
 - Regressione multivariata
 - Classificazione binaria
 - Classificazione multiclasse
 - Classificazione binaria multivariata
 - ...

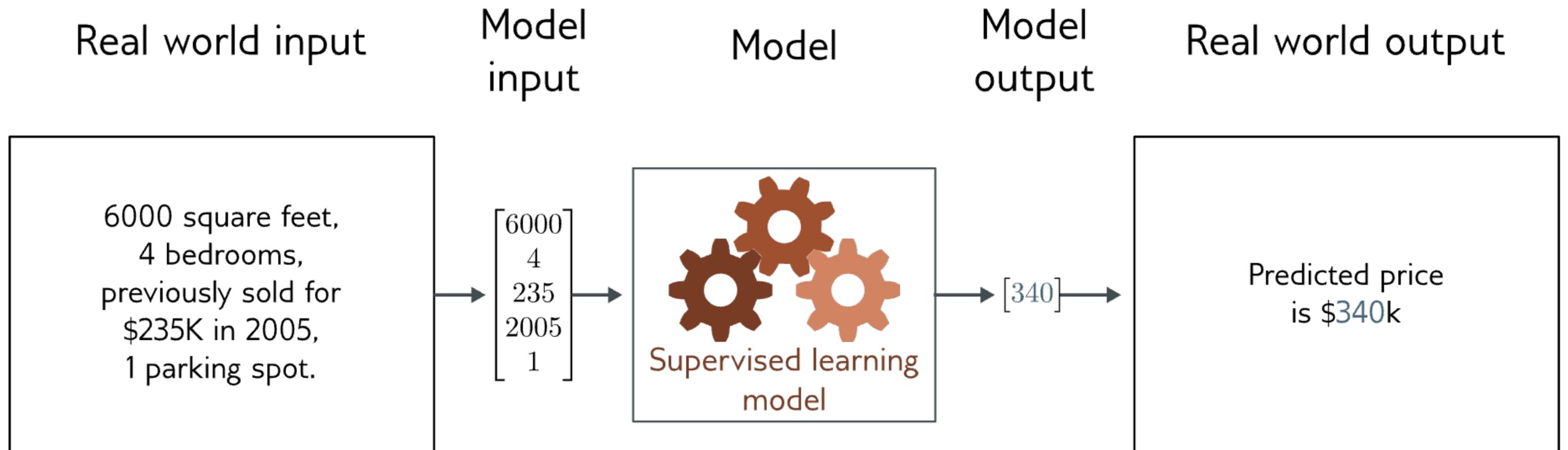
**Supervised
Learning**

Machine Learning: supervised learning

- **Regressione** —> numeri continui come output
- **Classificazione** —> classi discrete come output
 - Le classificazioni di due classi e multiclasse vengono trattate diversamente
- **Univariata** —> un'uscita
- **Multivariata** —> più di un output

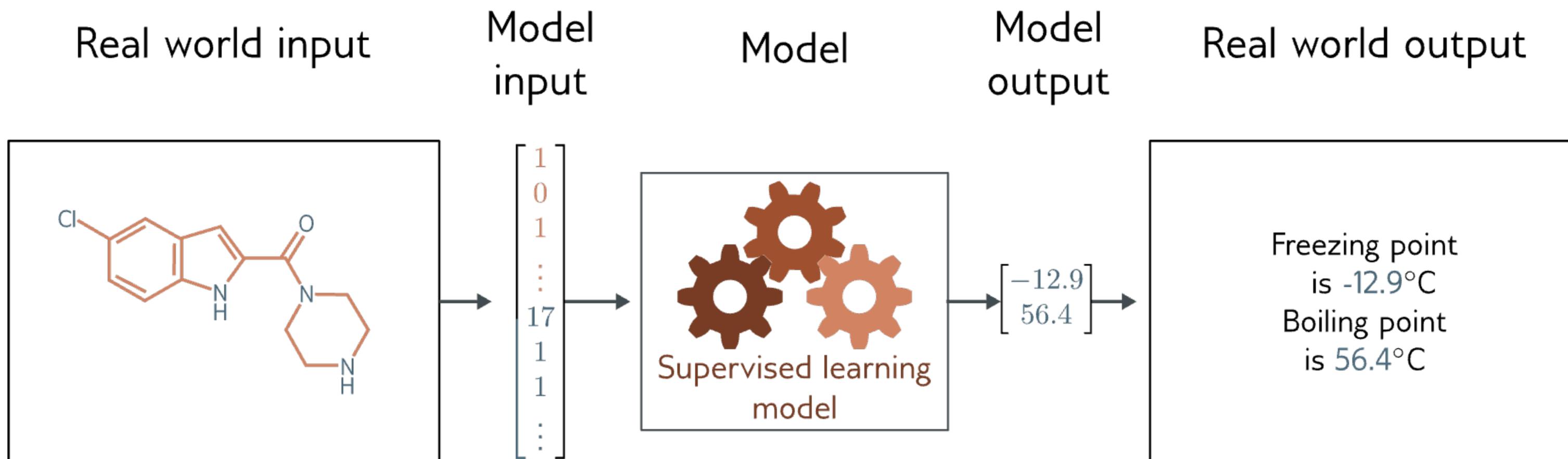
Regressione univariata

- Problema di regressione univariata (un output, valore reale)
- Reti neurali completamente connesse



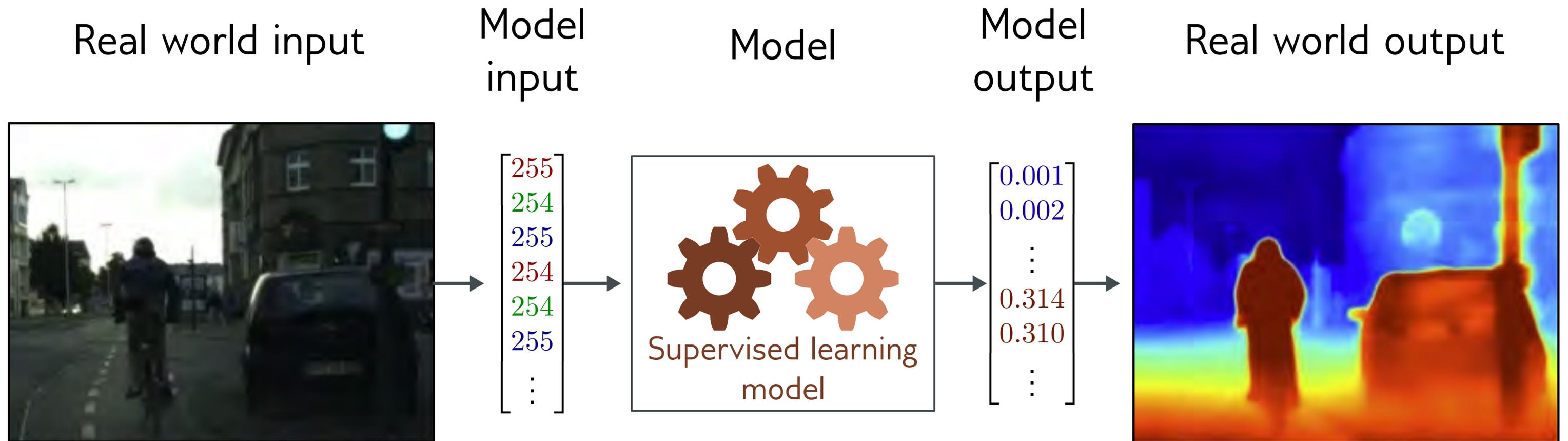
Regressione multivariata

- Problema di regressione multivariata (>1 output, valore reale)
- Rete neurale su grafi (i.e., Graph Neural Network)



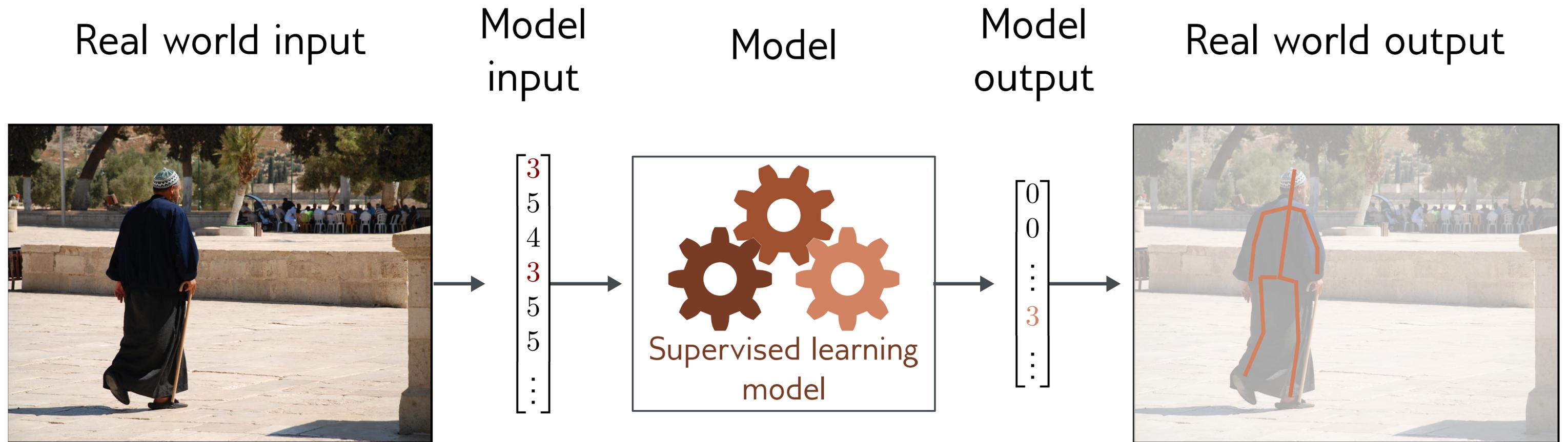
Regressione multivariata

- Problema di regressione multivariata (molti output, continuo)
- Rete convoluzionale encoder-decoder



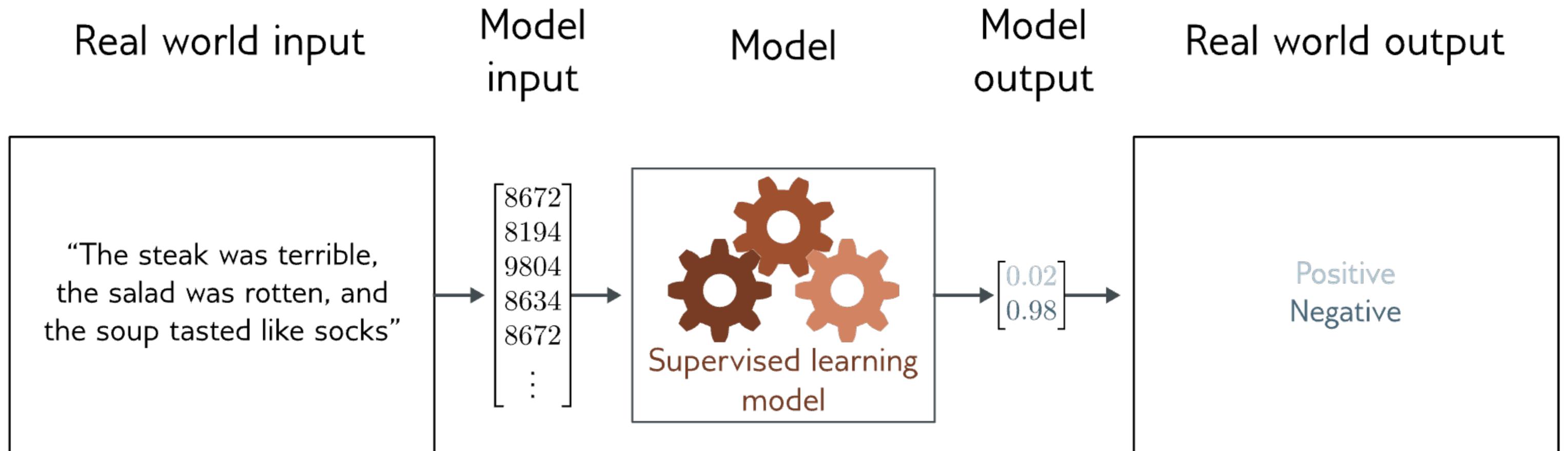
Multivariate regression

- Problema di regressione multivariata (molti output, continuo)
- Rete convoluzionale encoder-decoder

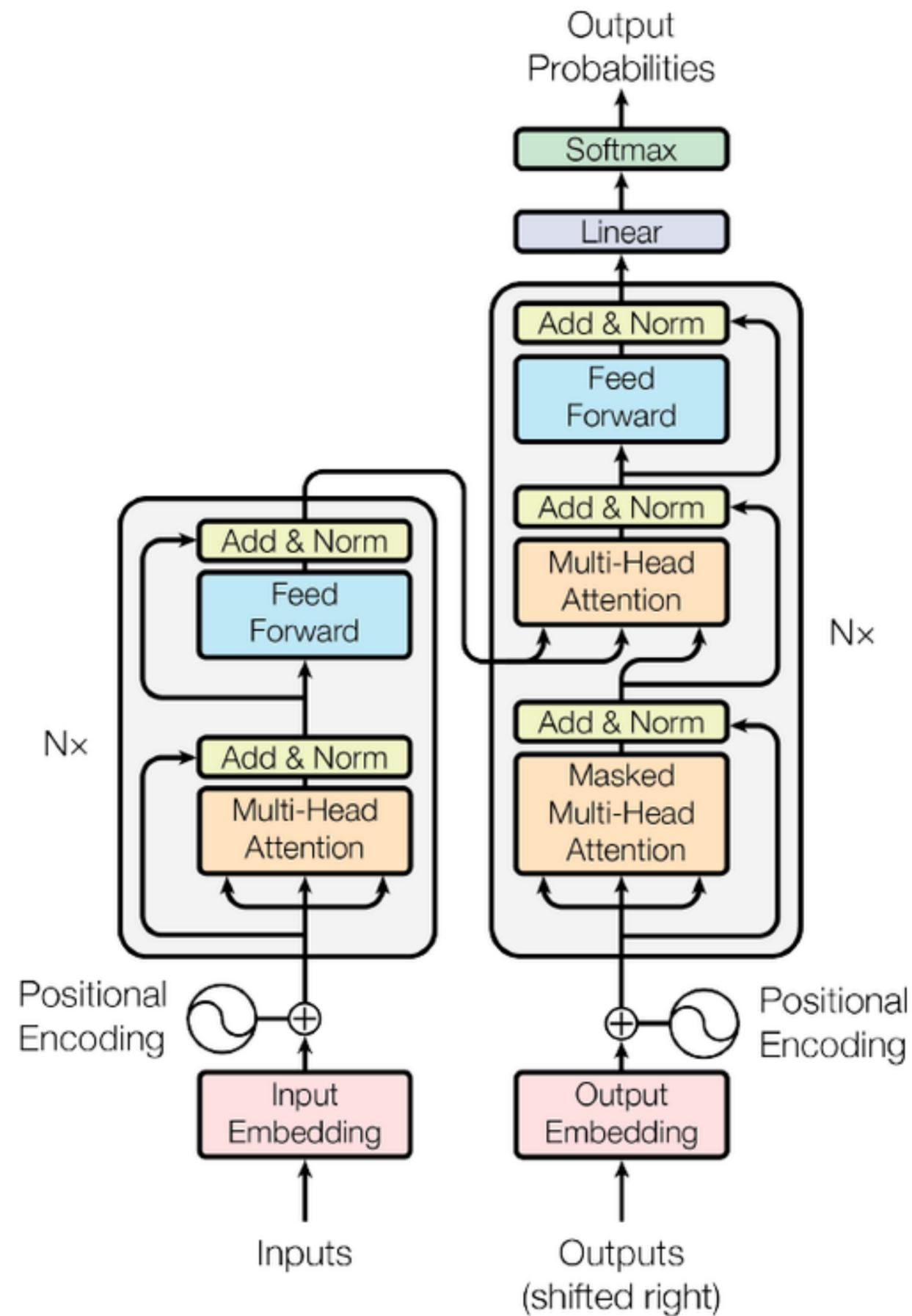


Classificazione binaria

- Problema di classificazione binaria (due classi discrete)
- Transformer

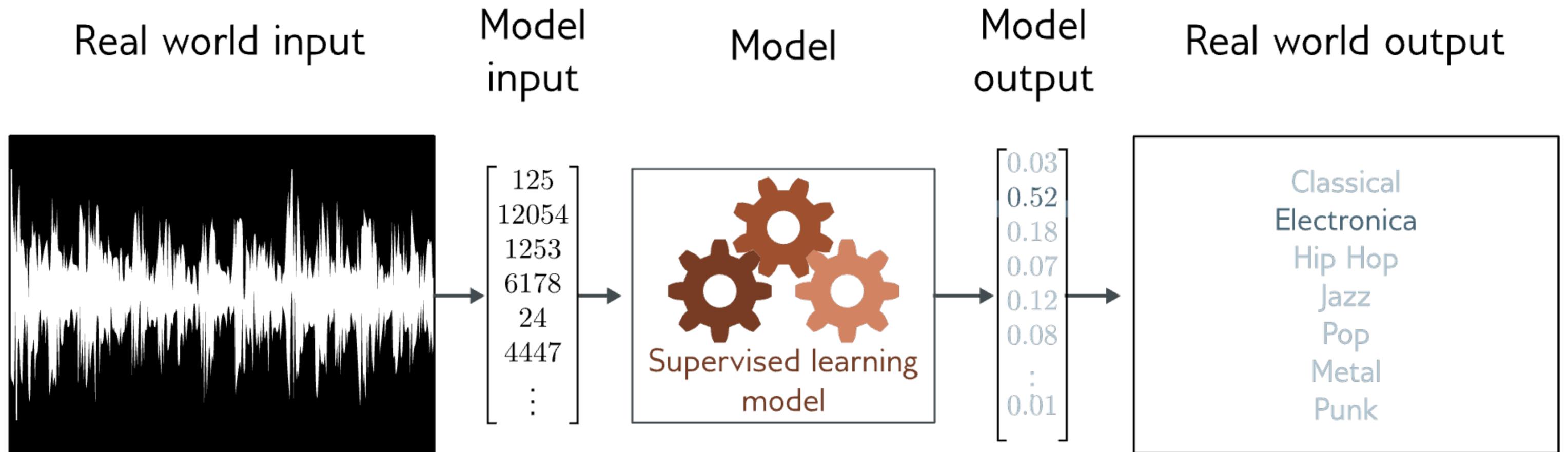


Transformers...



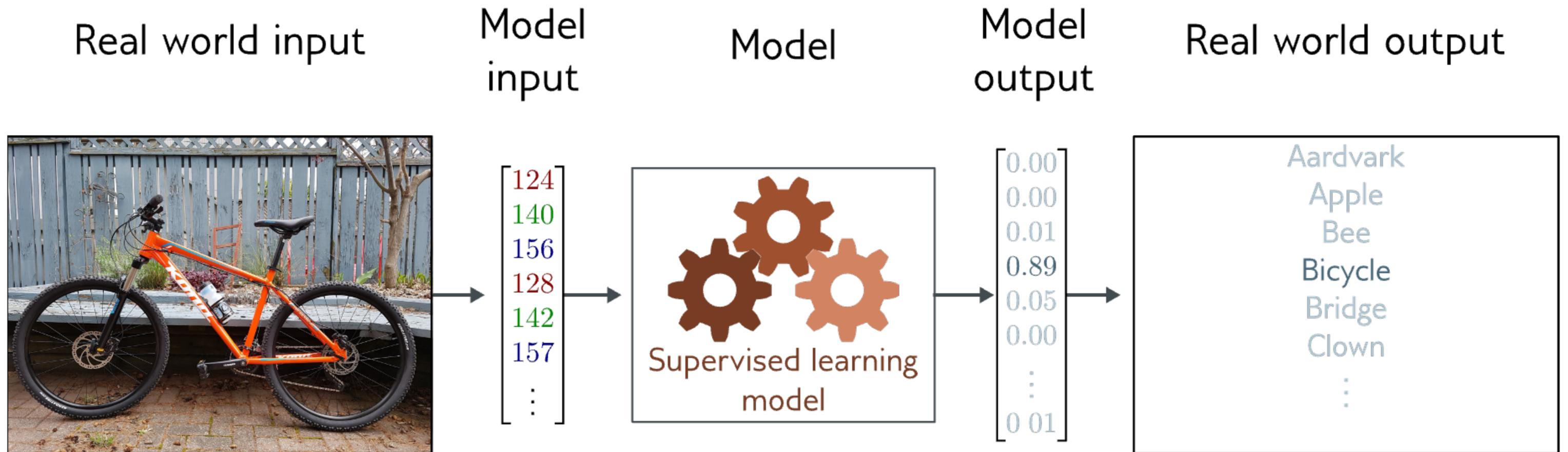
Classificazione multiclasse

- Problema di classificazione multiclasse (classi discrete, >2 valori possibili)
- Rete neurale ricorrente



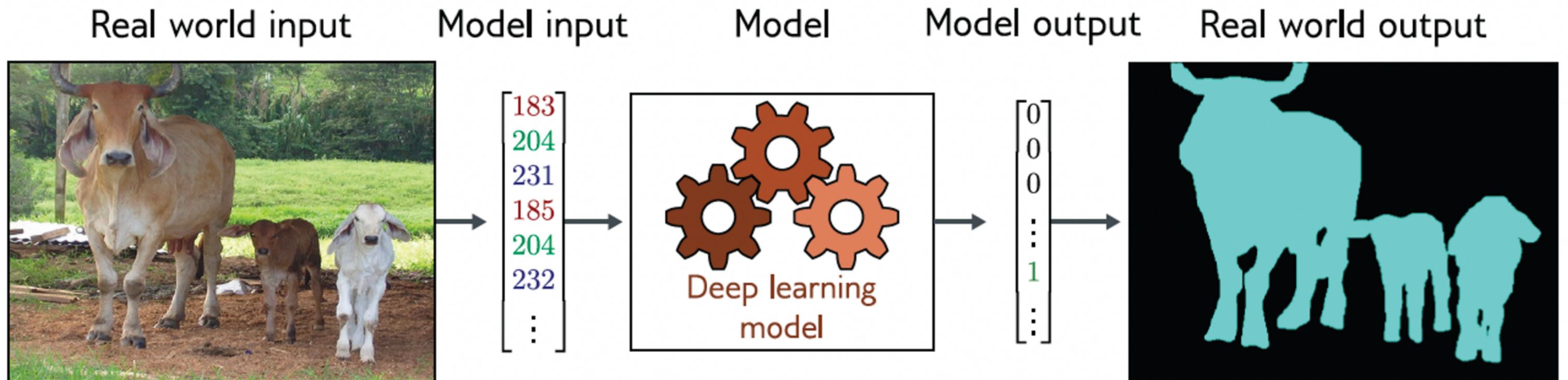
Classificazione multiclasse

- Problema di classificazione multiclasse (classi discrete, >2 valori possibili)
- Rete neurale convolutional



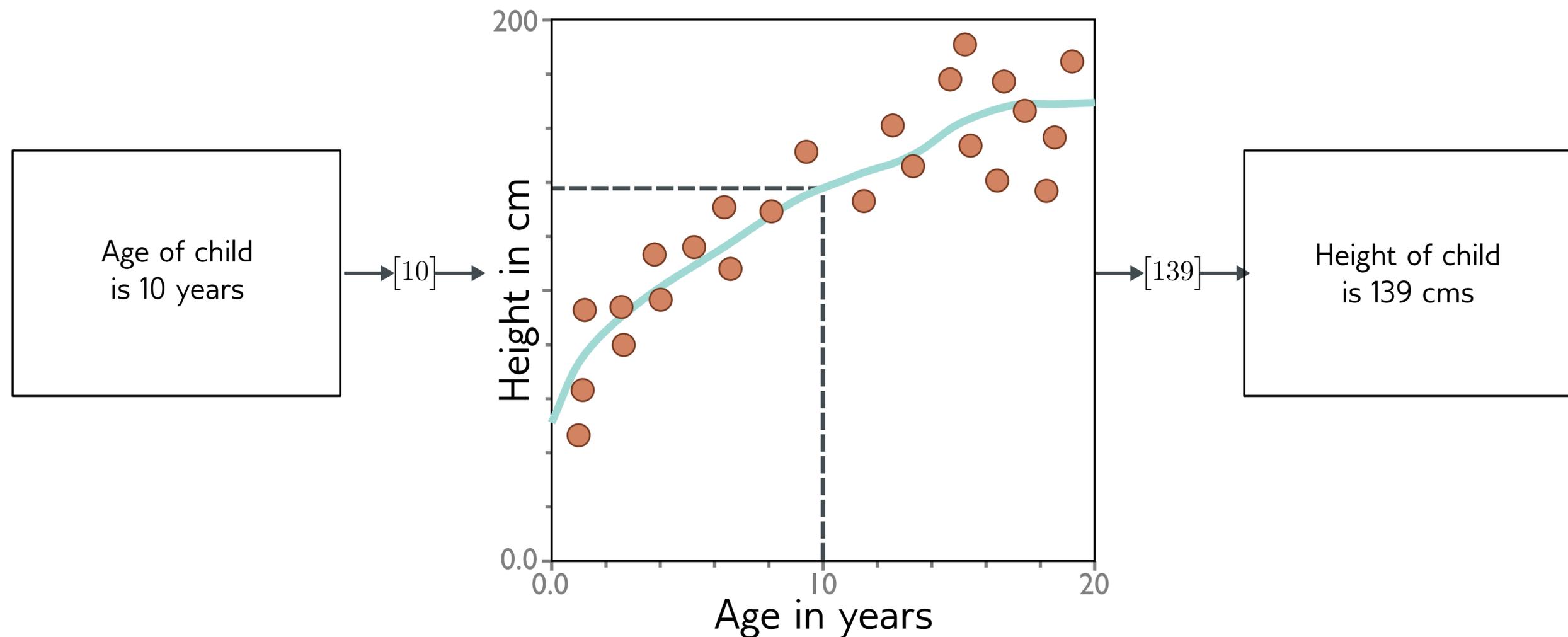
Classificazione binaria multivariata

- Problema di classificazione binaria multivariata (molti output, due classi discrete)
- Rete convoluzionale encoder-decoder



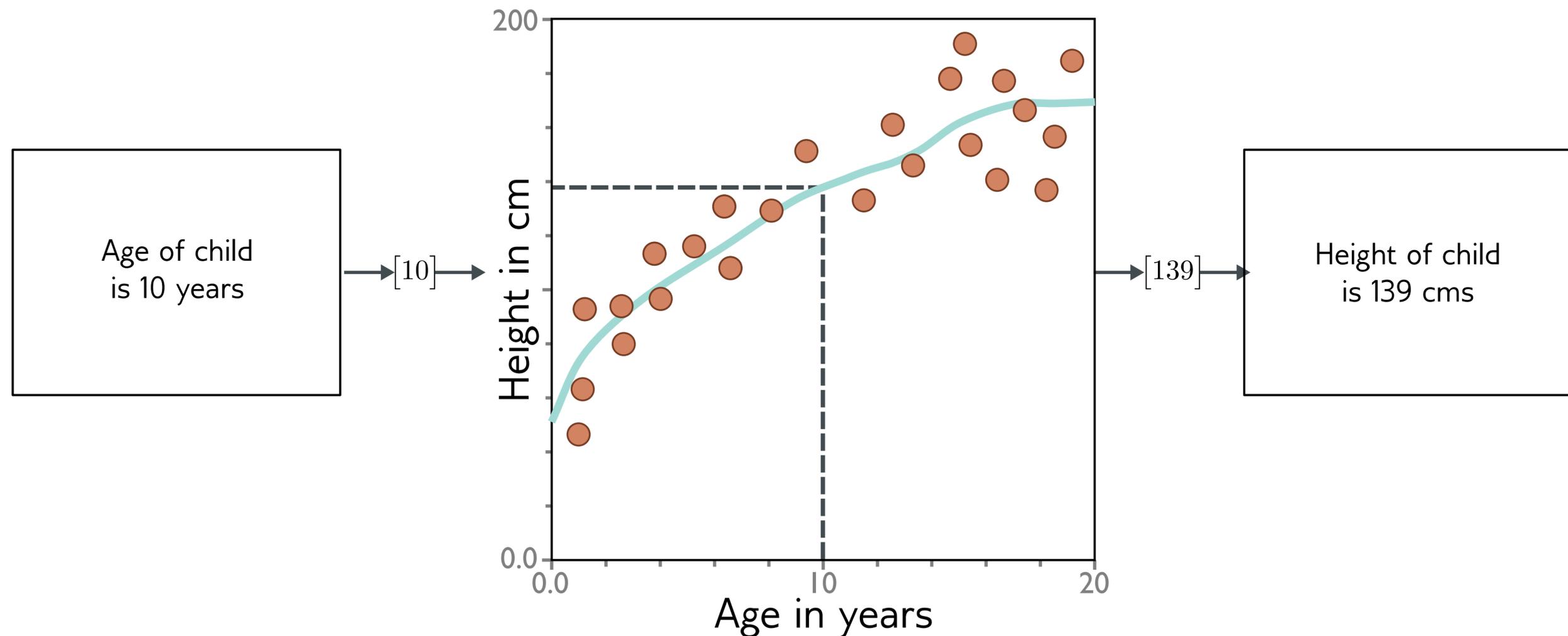
Cos'è un modello di apprendimento supervisionato?

- 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



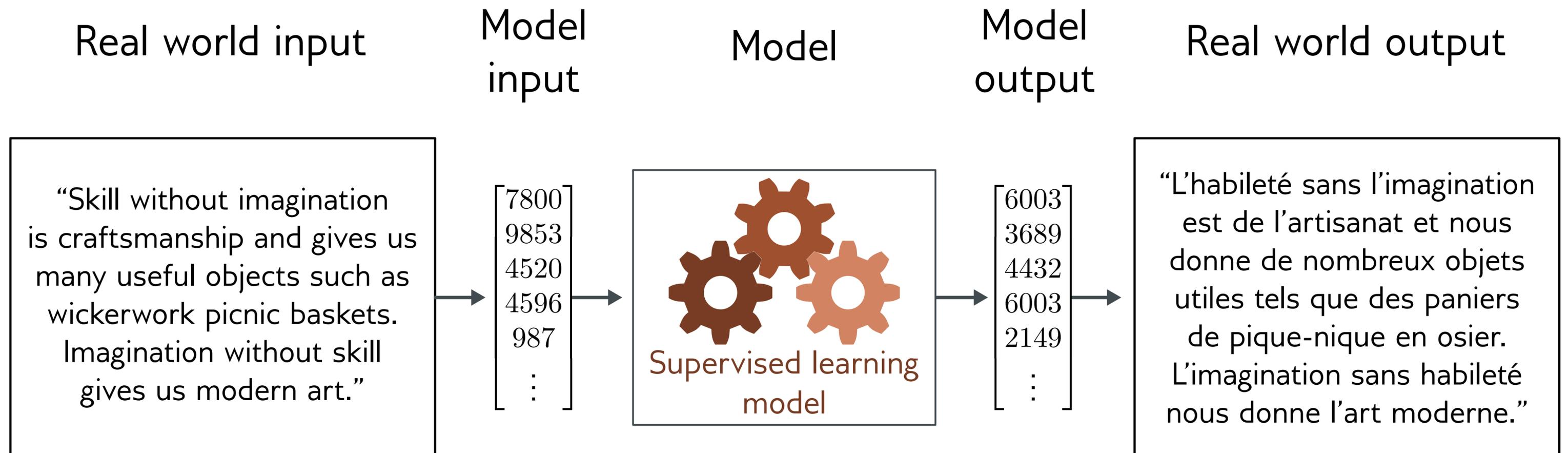
Cos'è una rete neurale profonda?

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



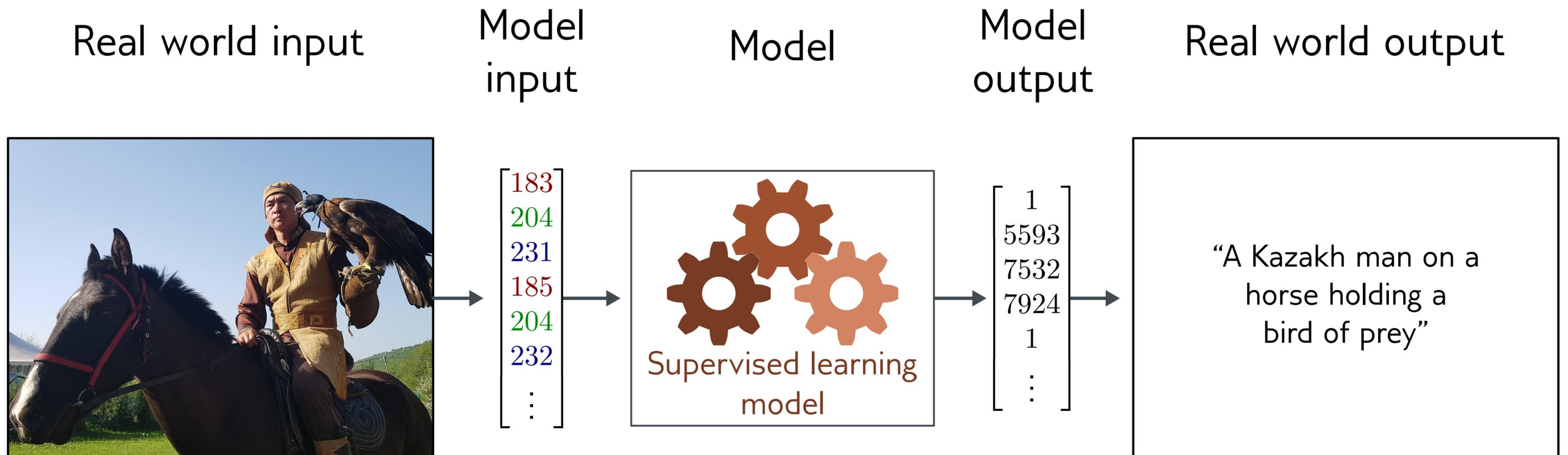
Problemi complessi...

- Traduzione del testo



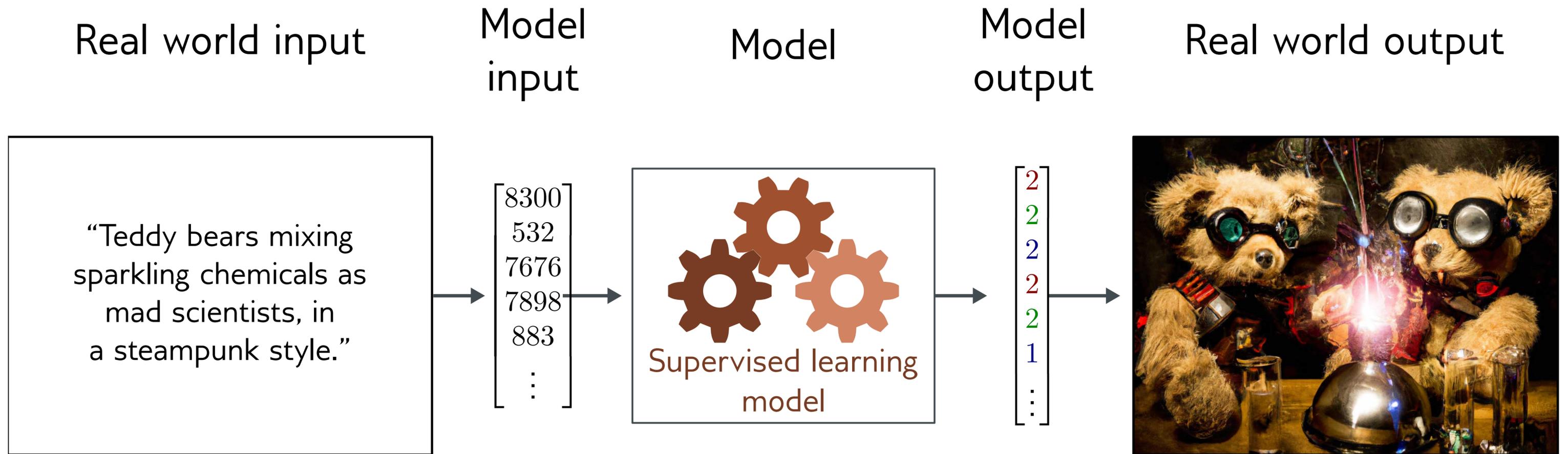
Problemi complessi...

- Generare la didascalia da un'immagine (image captioning)



Problemi complessi...

- Generare un immagine da un testo



Cosa hanno in comune questi esempi?

- Relazioni molto complesse tra input e output
- Potrebbero esserci molte possibili risposte valide
- Ma gli output (e talvolta gli input) obbediscono alle regole

“A Kazakh man on a horse holding a bird of prey”

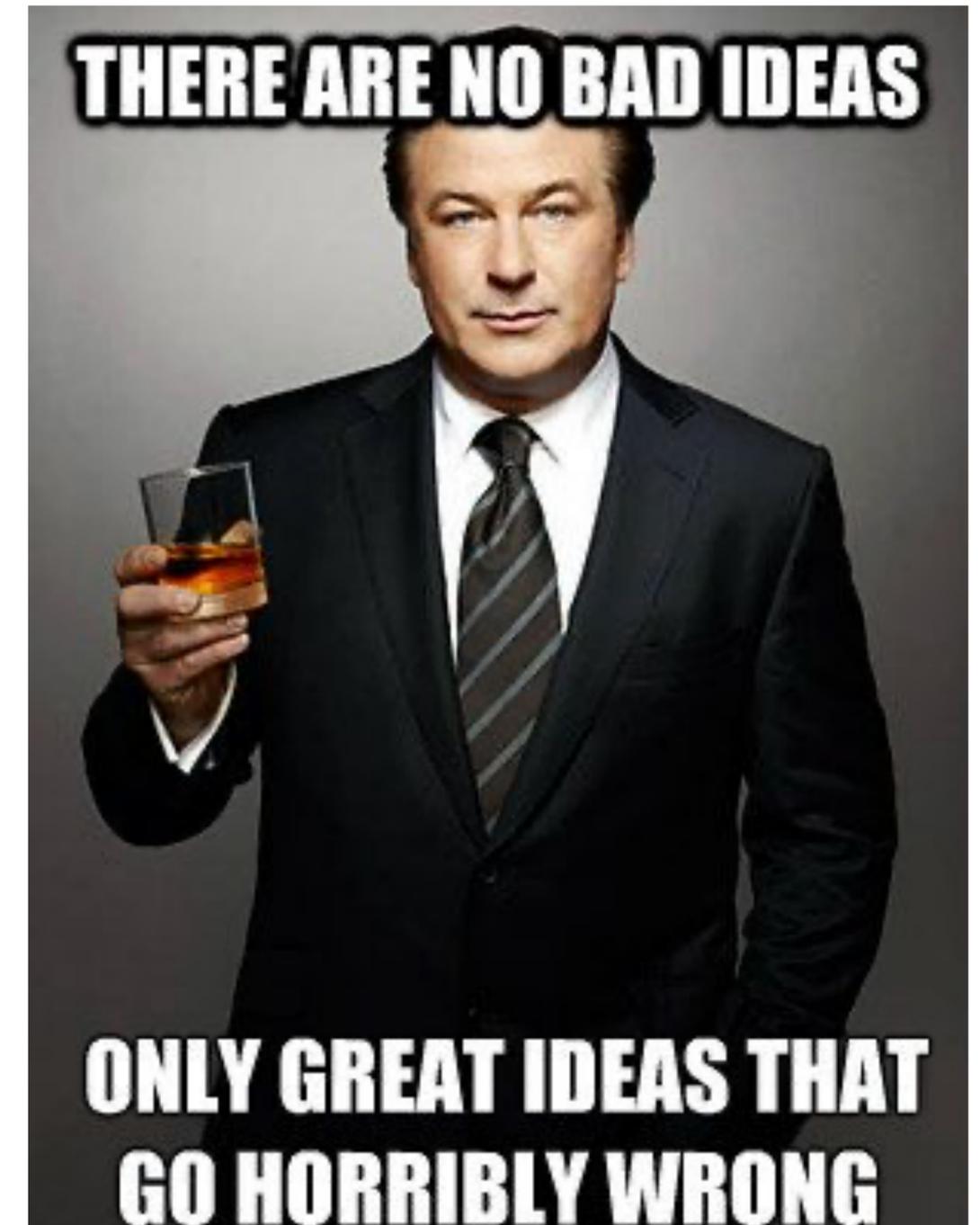
Il linguaggio
obbedisce a regole
grammaticali



Le immagini naturali
obbediscono ad
alcune “regole”

Idee per affrontare questi problemi complessi?

- **Prepararsi in anticipo** per lo specifico **task** di apprendimento supervisionato
 - Ciò richiede una **conoscenza approfondita** dei **possibili risultati**
- **Imparare** la “grammatica/regole” dei dati da esempi senza etichetta
- Utilizzare un'**enorme quantità** di dati per eseguire questa **attività** (senza etichetta)



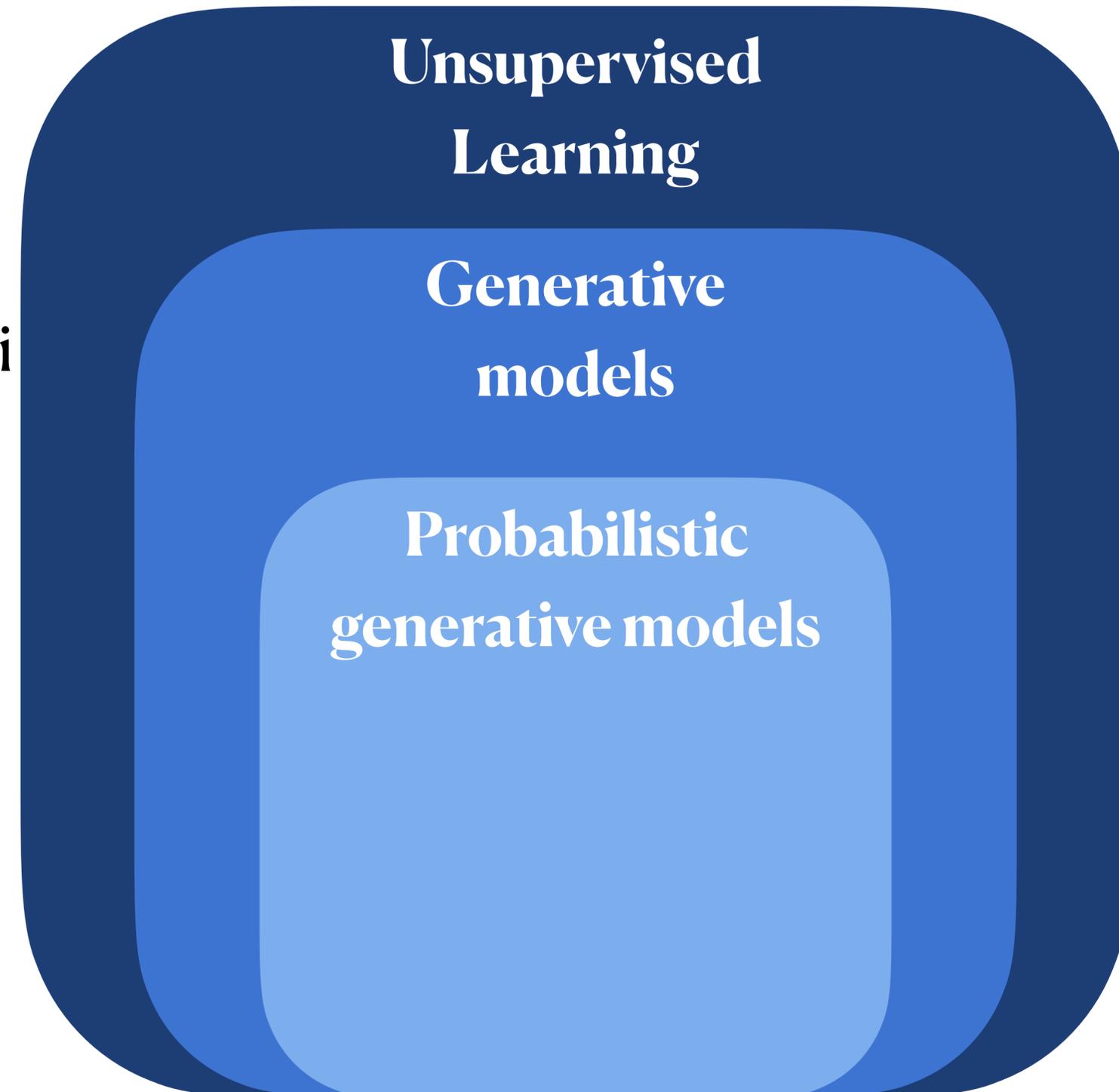
Machine Learning: unsupervised learning

- L'apprendimento non supervisionato mira a **costruire un modello** a partire **dai dati** di input **senza** le corrispondenti **etichette** di output
- L'assenza di etichette di output significa che **non può esserci “supervisione”**
- Imparare da un set di dati senza etichette
 - Clustering
 - Trovare valori anomali
 - Generare nuovi esempi
 - Riempire i dati mancanti

**Unsupervised
Learning**

Machine Learning: unsupervised learning

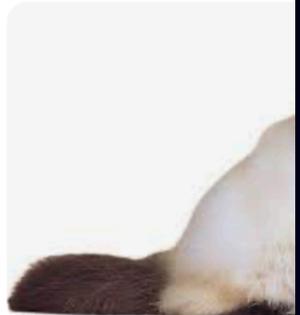
- L'obiettivo è **descrivere** o **comprendere** la **struttura dei dati**
- I **modelli generativi** possono creare esempi
 - Generative adversarial networks (GANs)
- I modelli **generativi probabilistici** apprendono la **distribuzione sui dati**
 - Variational autoencoders
 - Normalising flows
 - Diffusion models



Generative models



National Geographic
Domestic cat



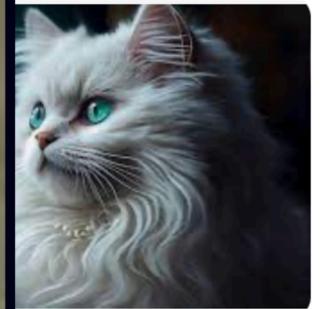
Britannica
Cat | Breeds & Facts | Bri



Good Housekeeping
20 Reasons Why Cats ...



cat? | International Cat ...



Pictures



Best Friends Animal S...
Cat World | Best Frie...

750+ Cute Cat Pict...

A Cat's Personality - FOUR PAWS In...

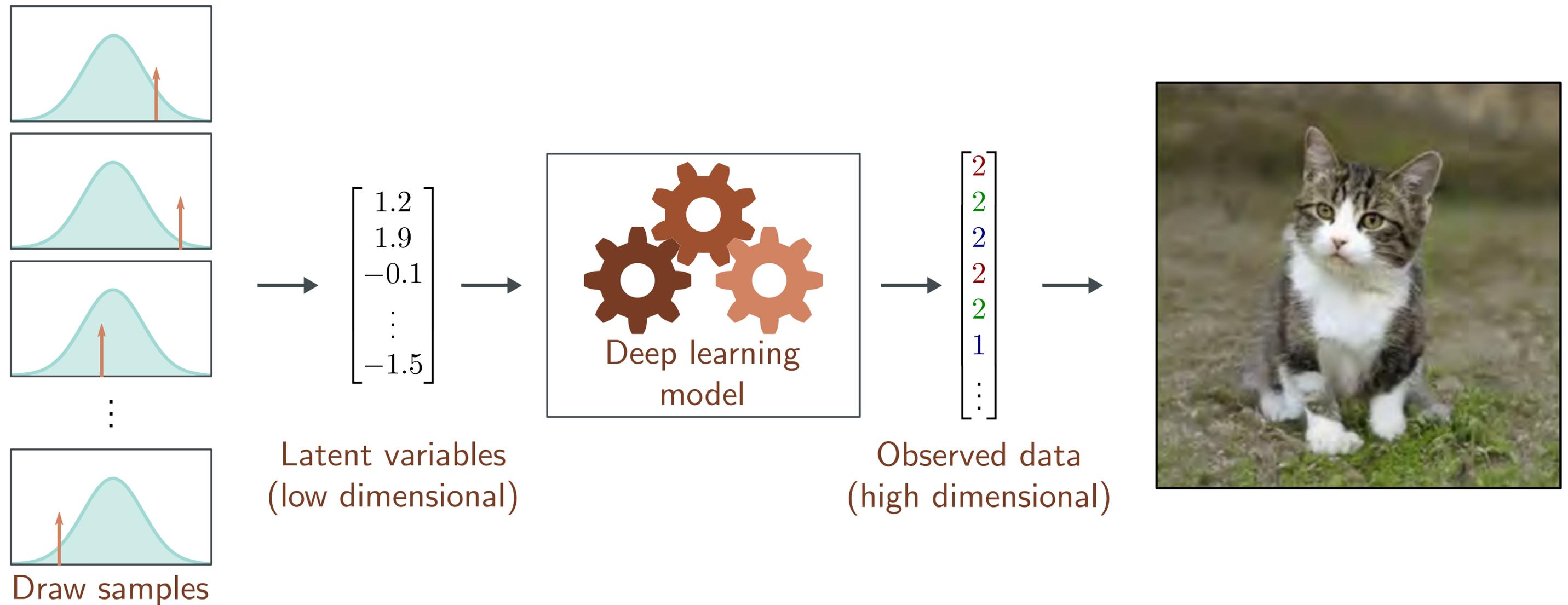
People Magazine
Cats Have Nearly 300 Different Fac...

Vets for Pets
Multi-Cat Households | Housing Multiple ...

The Atlantic
How Humans Created Cats - The Atlantic

Modelli a variabili latenti

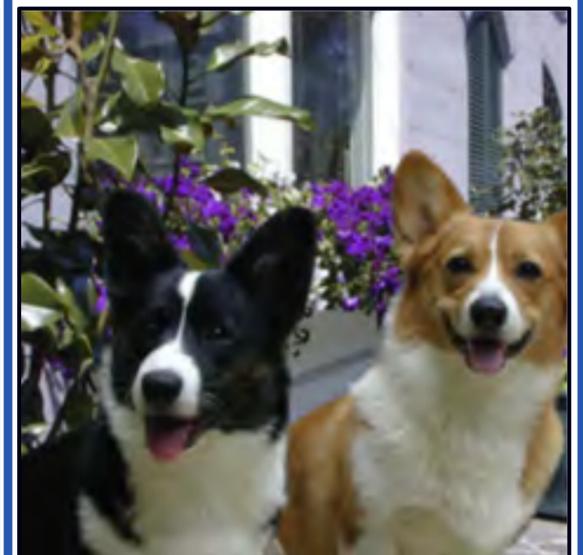
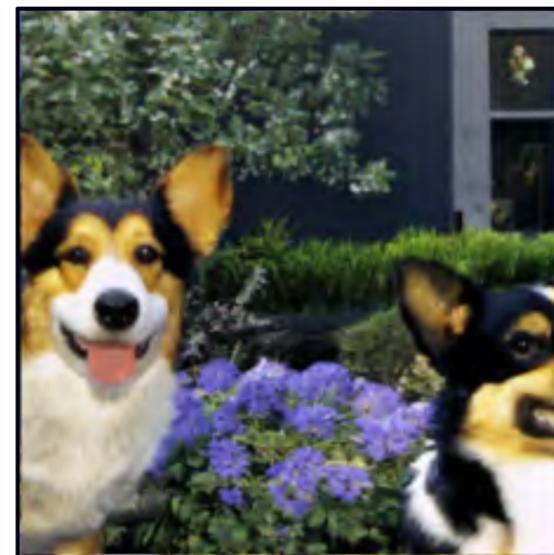
- Modelli di Deep Learning per mappare le variabili latenti e i dati



Modelli a variabili latenti: interpolazione

- Modelli di Deep Learning per mappare le variabili latenti e i dati

Immagini reali



Immagini reali

Machine Learning: reinforcement learning

- Questo paradigma introduce l'**idea** di un **agente** che vive in un mondo e può **eseguire determinate azioni** e queste cambiano lo **stato** del **sistema**
- Tre ingredienti principali
 - Un insieme di **stati**
 - Una serie di **azioni**
 - Una serie di **premi**
- **Obiettivo: intraprendere azioni** per cambiare il proprio **stato** in modo da **ricevere ricompense**
- Se **non riceve alcun dato**: deve esplorare l'**ambiente** per **raccogliere i dati** mentre **procede/evolve**

Reinforcement
Learning

Il gioco degli scacchi

- **Stati:** insieme degli **stati validi** della **scacchiera**
- **Azioni:** l'insieme di **mosse possibili e valide** in un **dato momento**
- **Ricompense:** **positive** se vengono catturati i pezzi dell'avversario, **negative** se si perdono i proprio pezzi

State

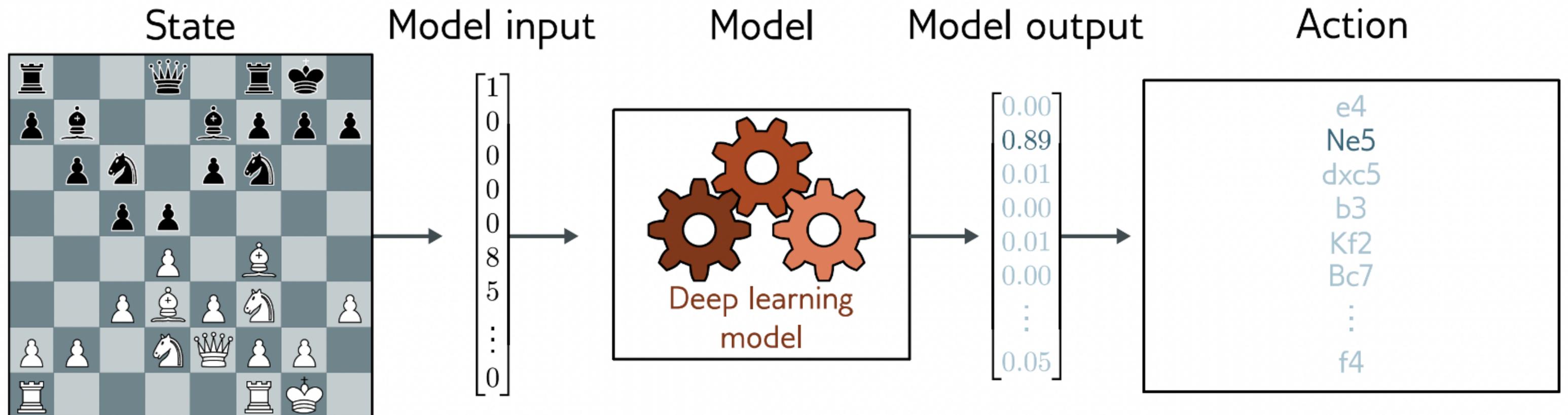


Action

```
e4  
Ne5  
dxc5  
b3  
Kf2  
Bc7  
:  
f4
```

Il gioco degli scacchi

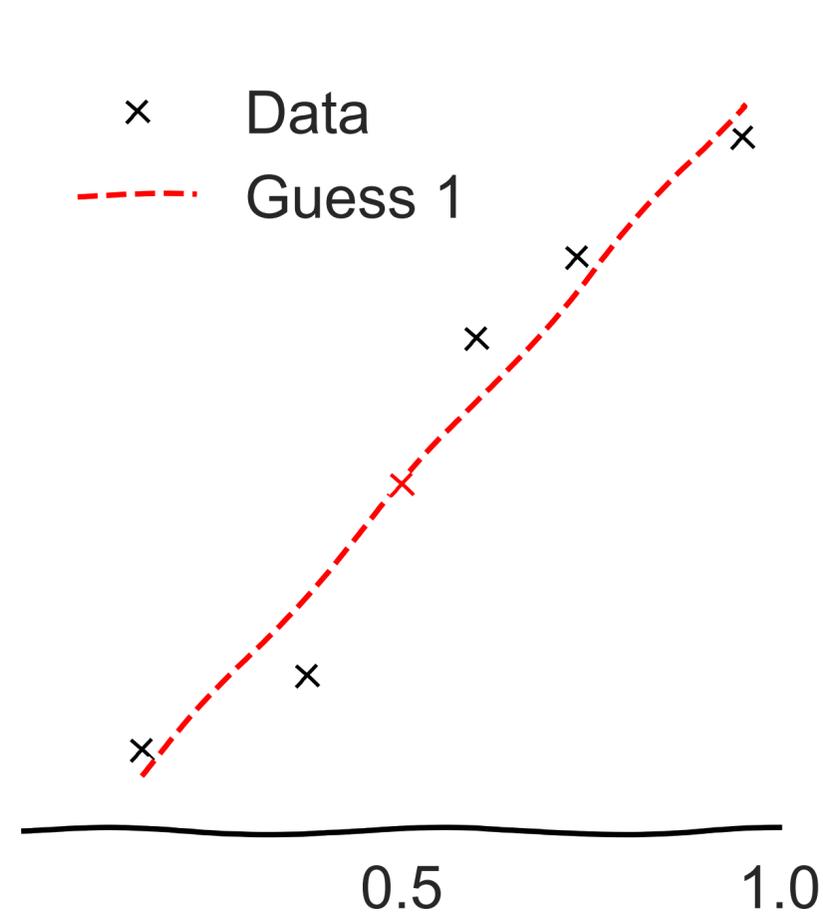
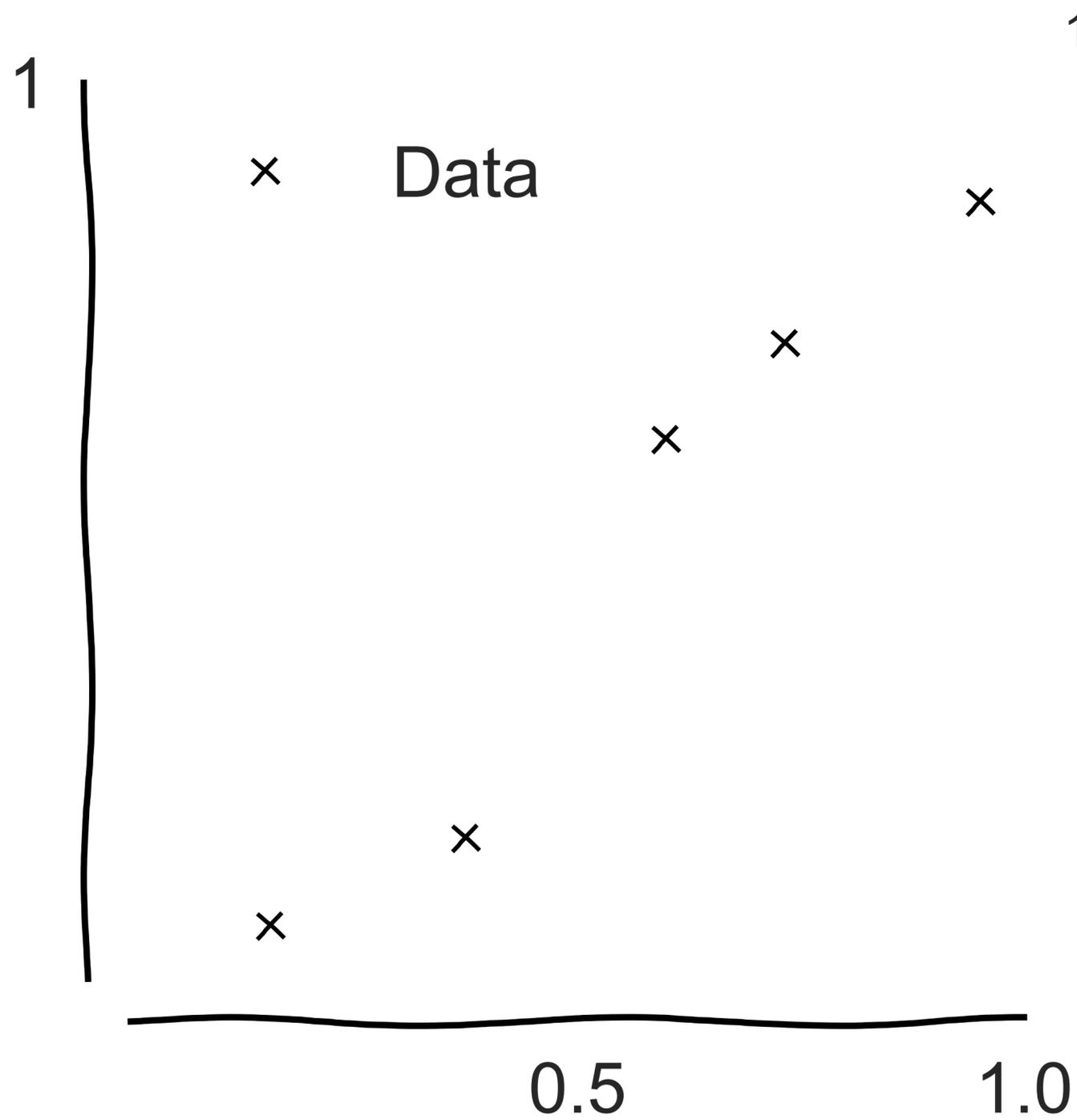
- **Stati:** insieme degli **stati validi** della **scacchiera**
- **Azioni:** l'insieme di **mosse possibili e valide** in un **dato momento**
- **Ricompense:** **positive** se vengono catturati i pezzi dell'avversario, **negative** se si perdono i proprio pezzi



Perché il reinforcement learning è difficile?

- **Stocastico**
 - Se si esegue la stessa mossa due volte, l'avversario potrebbe non fare la stessa cosa
 - Anche i premi sono stocastici (l'avversario prende o non prende il tuo pezzo)
- **Problema di cessione temporale del credito**
 - Abbiamo ottenuto la ricompensa grazie a questa mossa? Oppure perché abbiamo preso buone decisioni tattiche precedentemente?
- **Il compromesso esplorazione-sfruttamento**
 - Se trovassimo una buona soluzione, dovremmo usare questa?
 - O dovremmo provare a cercarne altre, sperando in qualcosa di migliore?

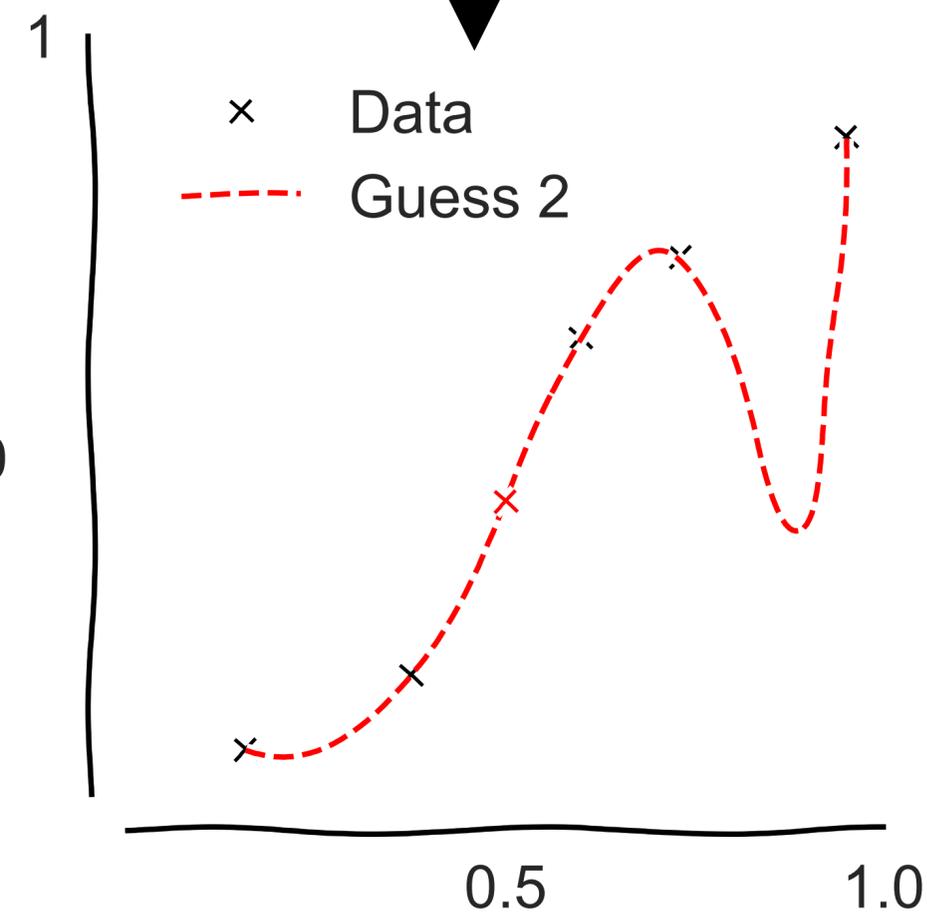
Quale credi sia il valore di $f(0.5)$?



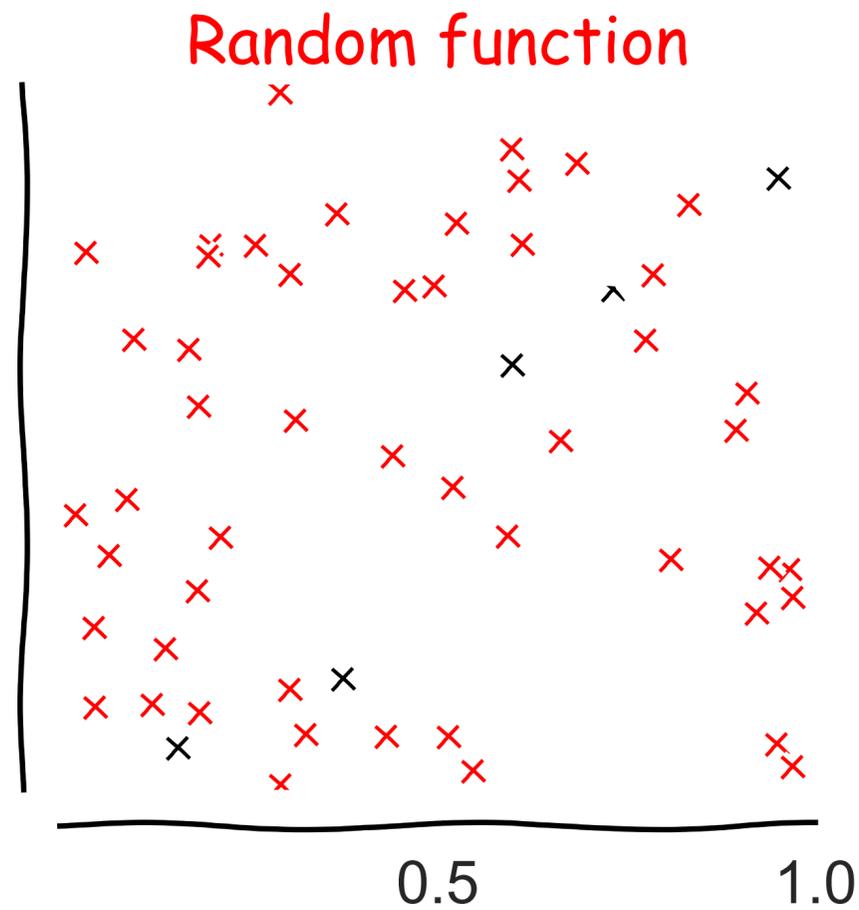
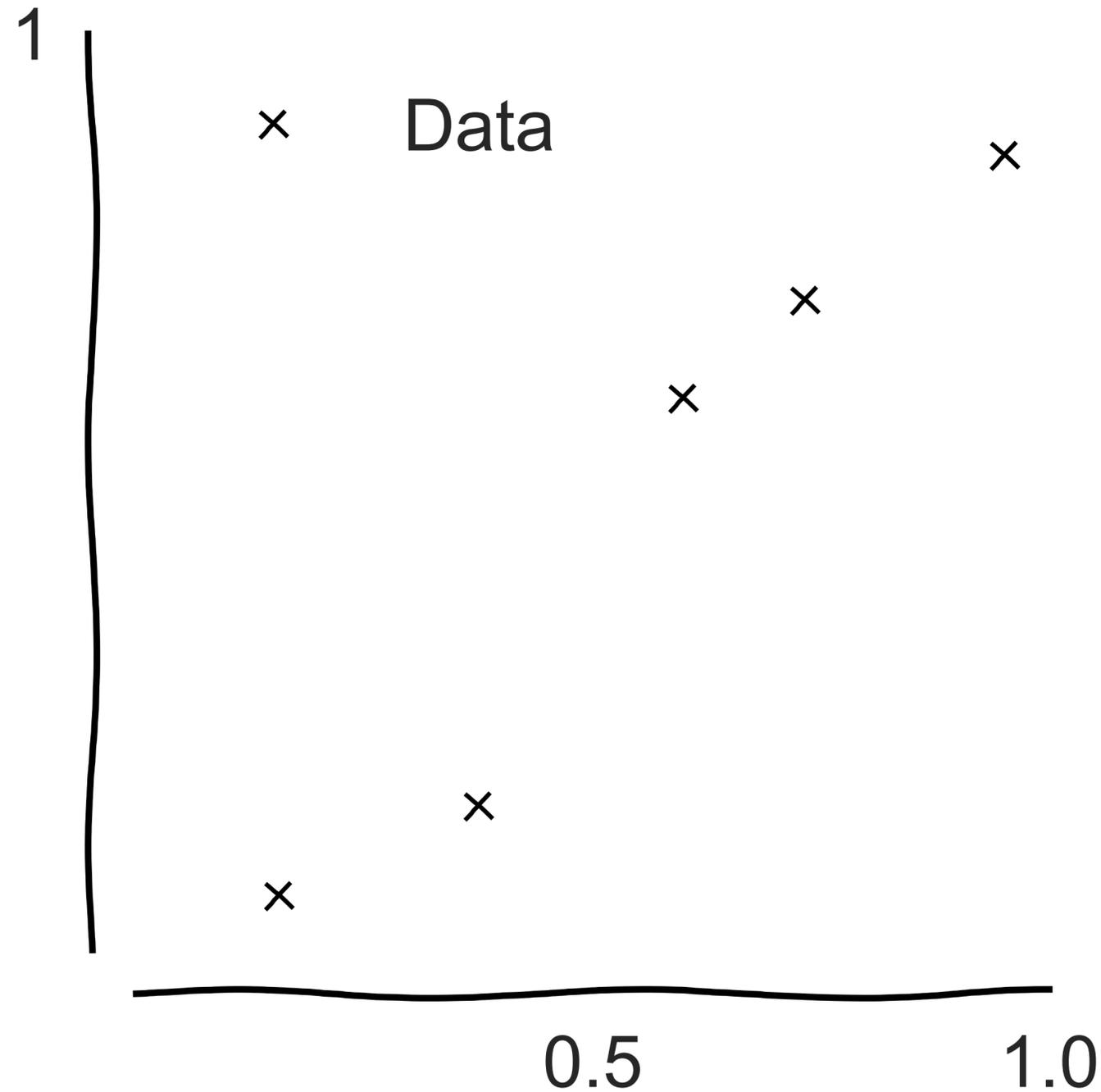
Polinomio di grado 1
 $f(0.5) = 0.408$

Polinomio di grado 16

$$f(0.5) = 0.385$$



Quale credi sia il valore di $f(0.5)$?



y_i sono stati generati da un generatore di numeri casuali uniforme. Come pensi di predire ora $f(0.5)$?

Perché il Machine Learning funziona?

Conseguenza 1: siamo in grado di imparare solo se *“c'è qualcosa che possiamo imparare”*

- L'output Y "ha qualcosa a che fare" con l'input X
- “Input simili” portano a “output simili”
- Una “relazione/regola semplice” genera l'output per un dato input
- La funzione f è “semplice”

Tutti questi presupposti vengono raramente resi espliciti, ma dobbiamo affrontarli!

Why does Machine Learning work?

Conseguenza 2: dobbiamo avere un'idea (chiara) di cosa stiamo cercando!

- Questo è chiamato “bias induttivo”
- L'apprendimento è impossibile senza un tale pregiudizio





**Grazie per la
vostra attenzione!**

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

Andrea Tangherloni