

Astronomia e intelligenza artificiale: sfide e promesse

Viviana Acquaviva

City University of New York e
Columbia University

Cos'è l'intelligenza artificiale?

GENERATIVA

IL PROCESSO
IN CUI INSEGNIAMO
A UNA MACCHINA
A GENERARE DATI SIMILI
A QUELLI PRECEDENTI
(TESTI, IMMAGINI...)

ebbene sì, come ChatGPT!

PREDITTIVA

IL PROCESSO
IN CUI INSEGNIAMO
A UNA MACCHINA
A PRENDERE
DELLE DECISIONI

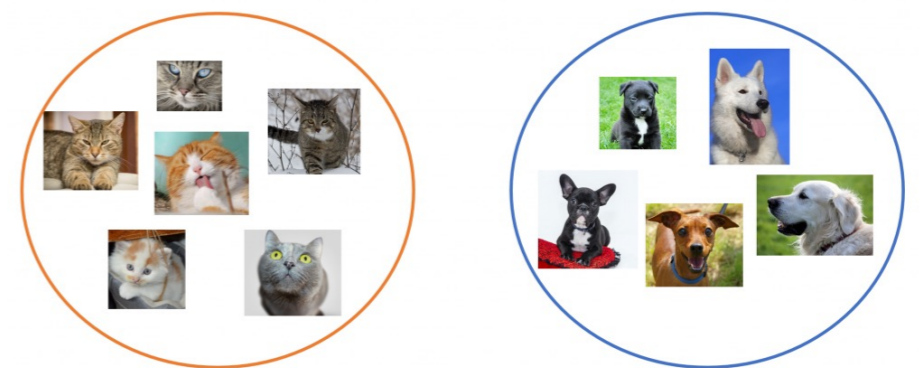
anche nota come
Machine Learning

... Ma quali decisioni?

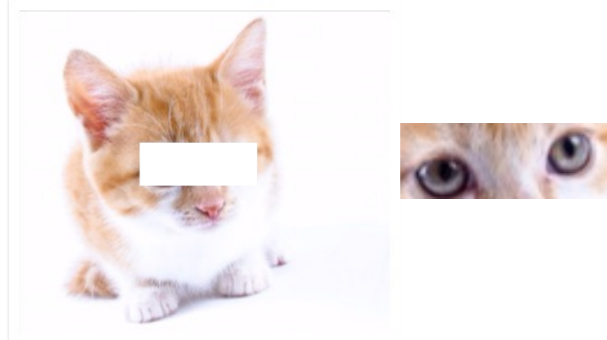
Classificare



Raggruppare



Predire

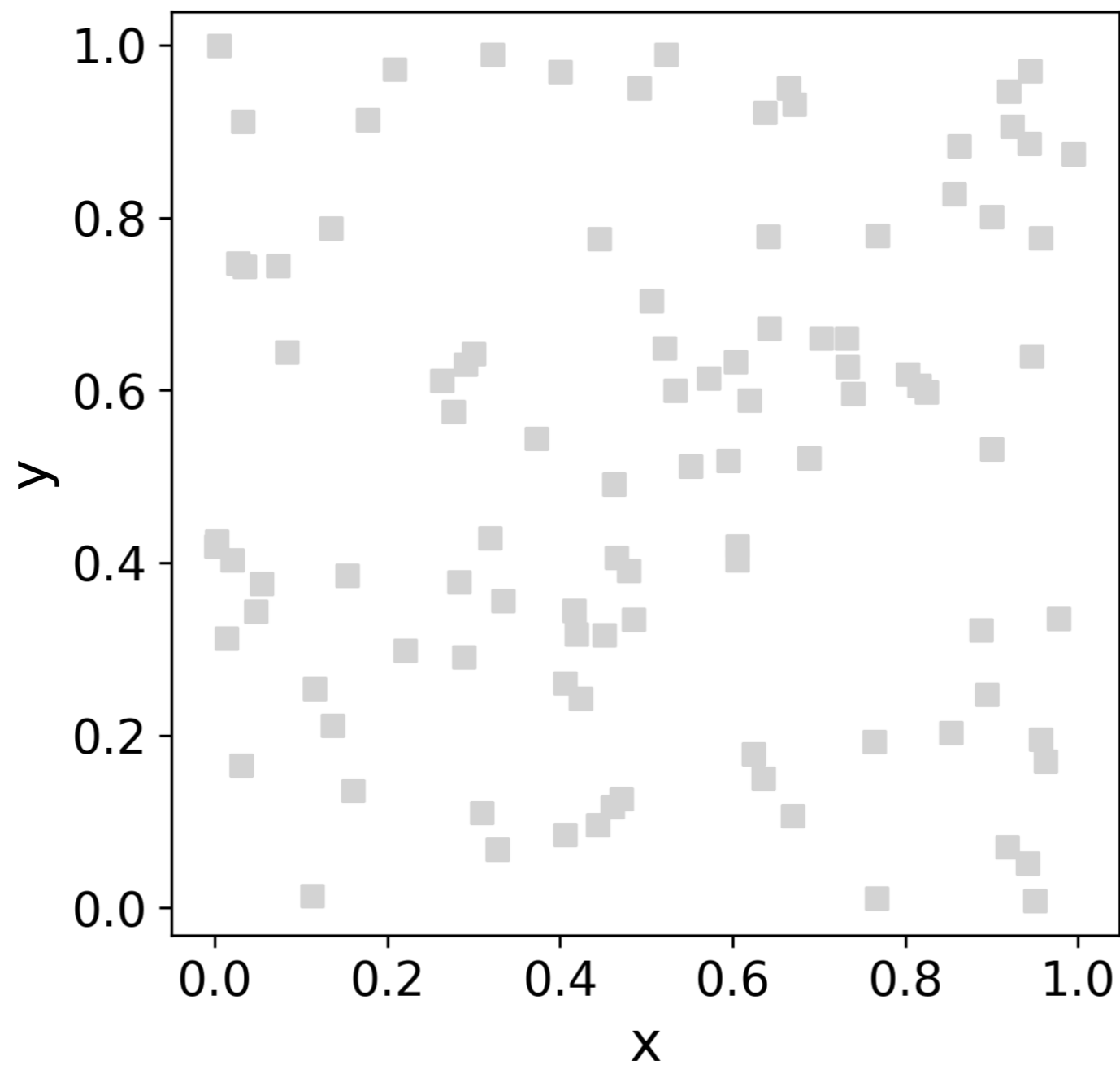


Semplificare

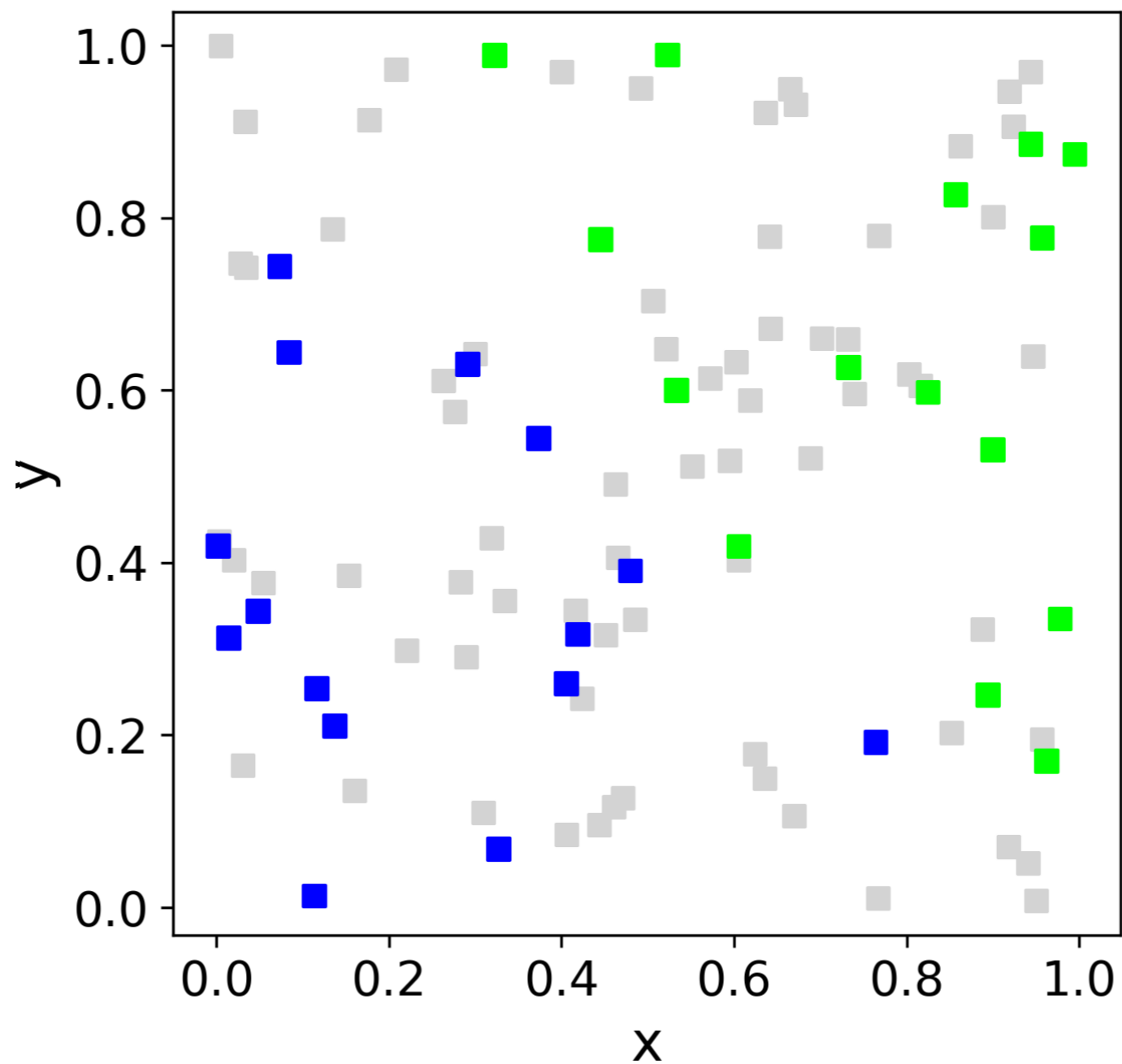


Imparare attraverso esempi

Anche noi impariamo con gli esempi!



Anche noi impariamo con gli esempi!



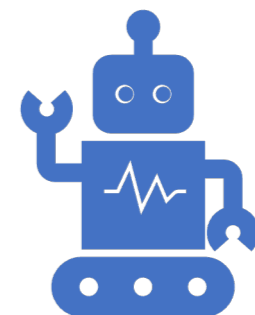
La rappresentazione dell'informazione

INPUT	OUTPUT
1	3
2	3
3	3
4	?

INPUT	OUTPUT
uno	3
due	3
tre	3
quattro	7
cinque	6
sei	?

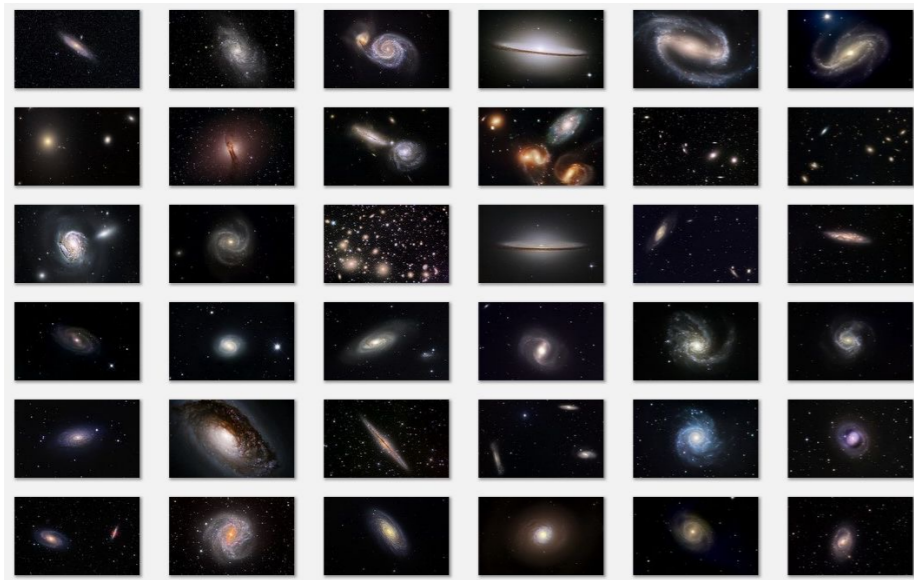
Avere un **numero** di esempi sufficiente
e **descrivere** i dati nel modo giusto
è molto importante.

Per cosa usiamo il machine learning (intelligenza artificiale predittiva) in Astrofisica?



1. Accelerare!

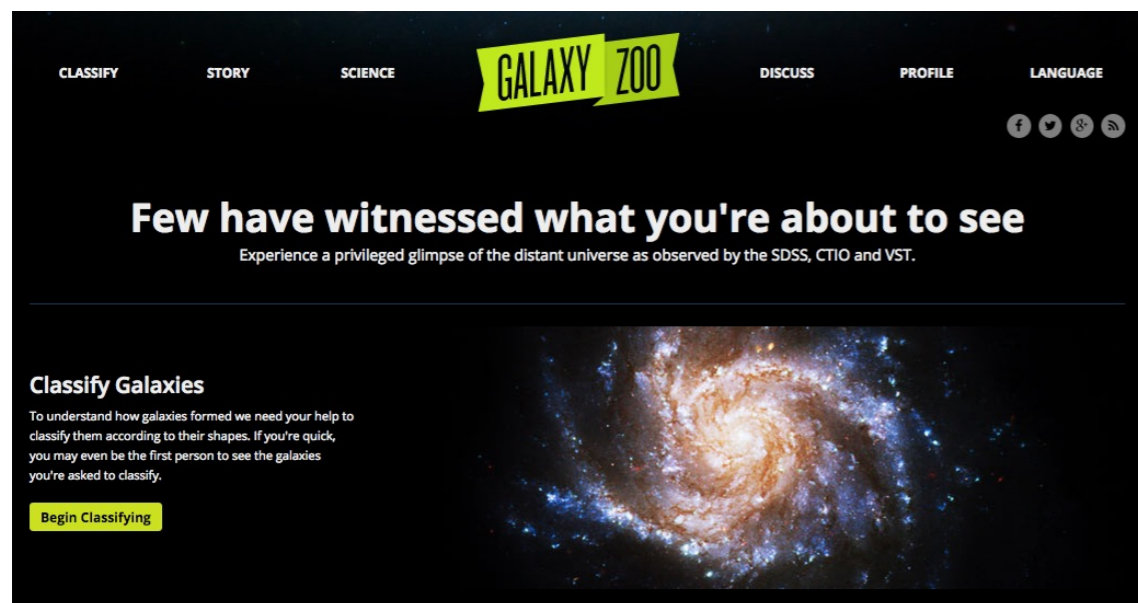
Galaxy morphology



Uno dei primi esempi di ML in Astrofisica:
La classificazione delle galassie in diversi tipi.

Ma che fare quando ce ne sono milioni?

Citizen science (scienza partecipativa)

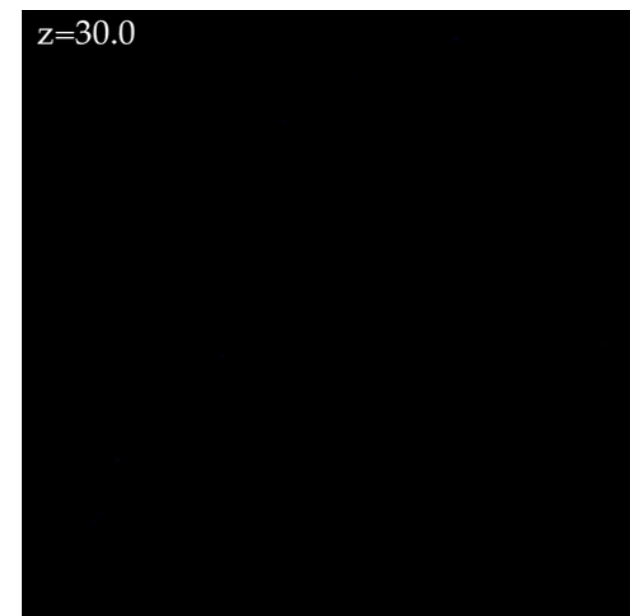
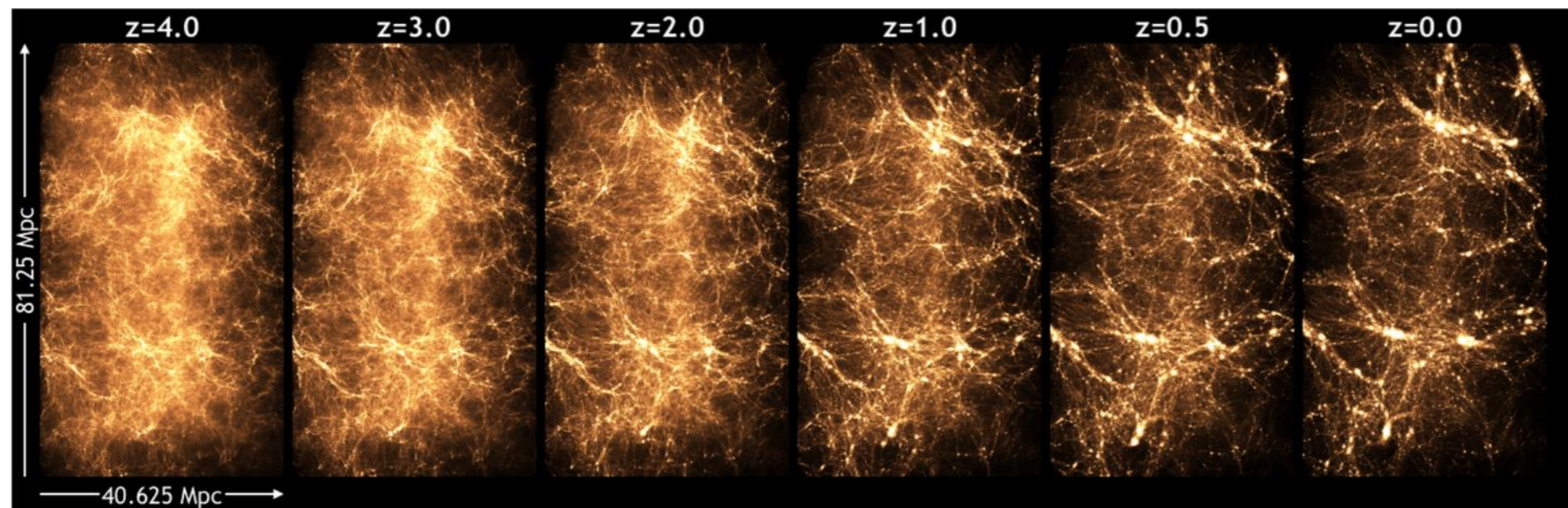


Automazione attraverso il machine learning addestrato su esempi catalogati da scienziati e cittadini

1. Accelerare! (2)

Simulazione dell'evoluzione cosmologica ☺

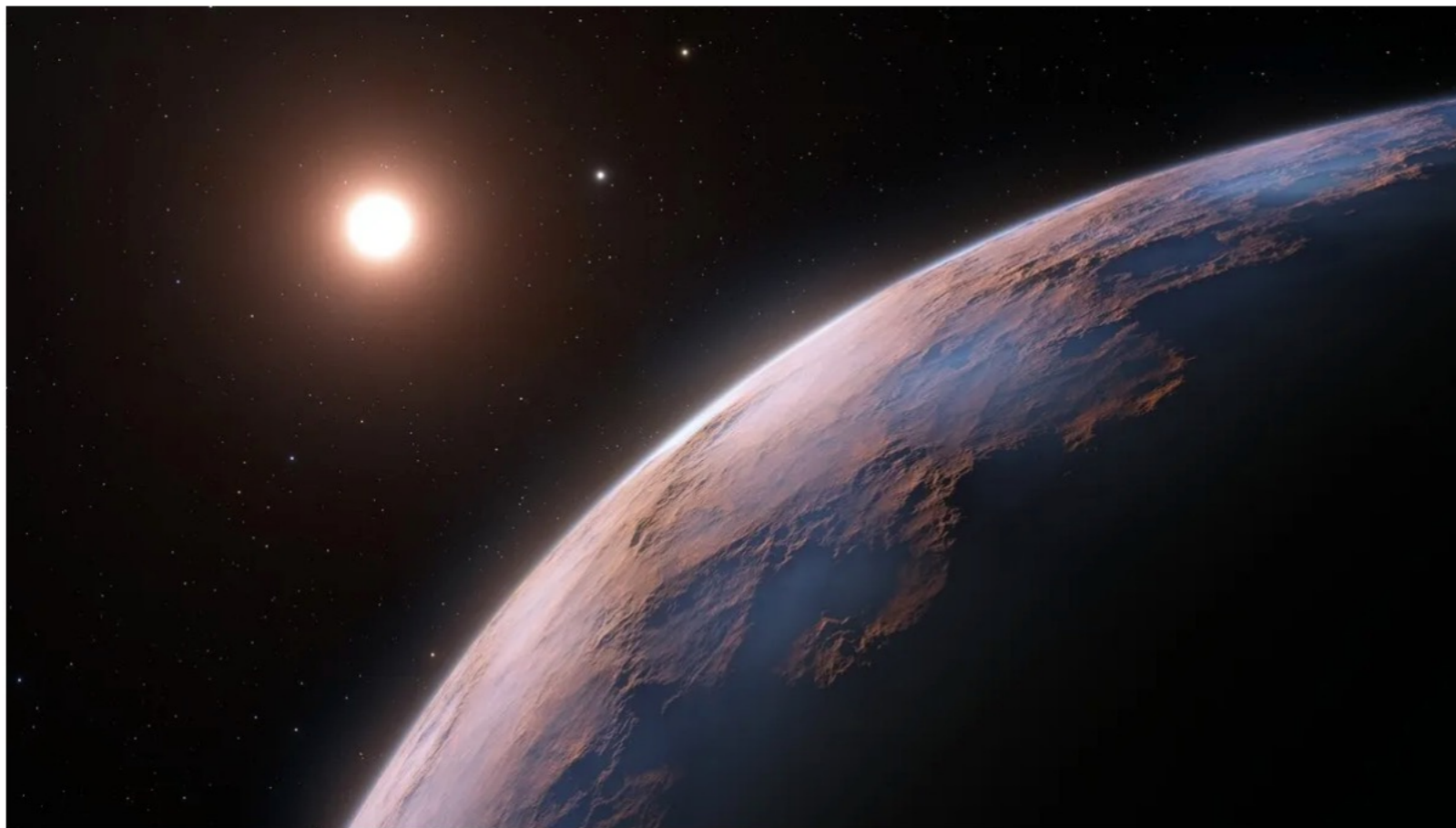
Una galassia



Alternativa:

Un **emulatore** basato sul Machine Learning
che impara a generare lo stato finale
a partire dalle condizioni iniziali

1. Accelerare! (3)



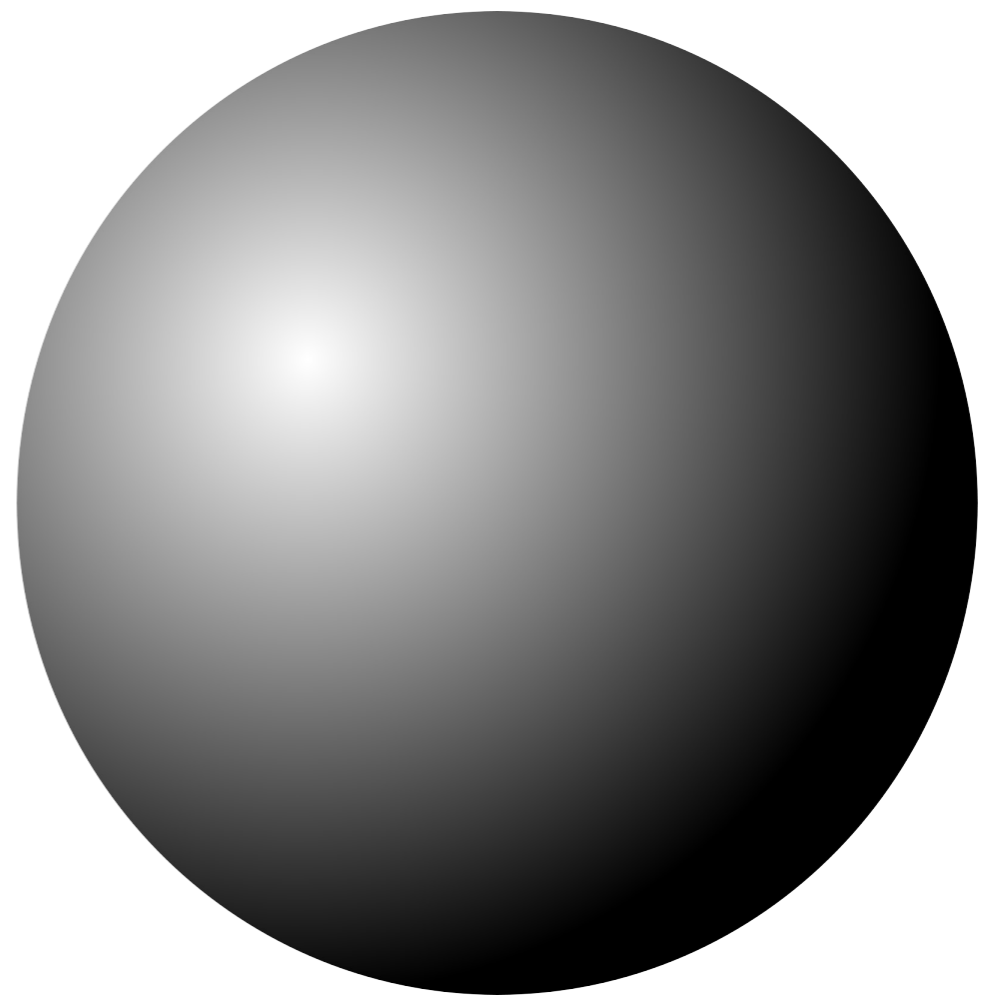
Combinando un emulatore della formazione di sistemi solari e un algoritmo per analizzare dati, possiamo trovare **nuovi pianeti** simili alla nostra Terra e potenzialmente abitabili!

3

2. Trovare un'alternativa a modelli semplicistici

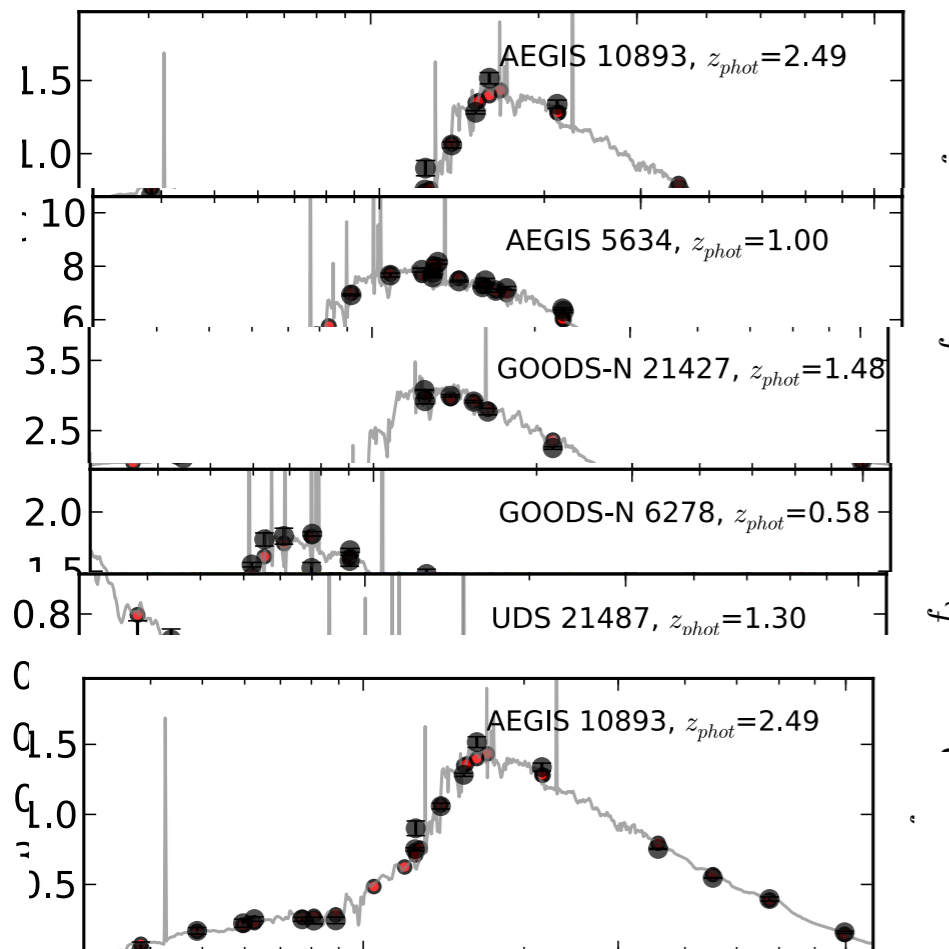


\neq



“Misurare” attraverso esempi

Osservato: **spettro**,
ovvero luminosità di una galassia
in funzione della lunghezza d'onda



$$\begin{aligned} \text{Log } \mathcal{L}(\text{Mass}, \text{SFH}, E(B-V), Z, z) = \\ \propto \sum_{i=1}^n (\Phi_i^{\text{theory}}(\text{Mass}, \text{SFH}, E(B-V), Z, z) - \Phi_i^{\text{obs}})^2 / 2\sigma_i^2 \end{aligned}$$

Massa stellare?

500 million M_{\odot}

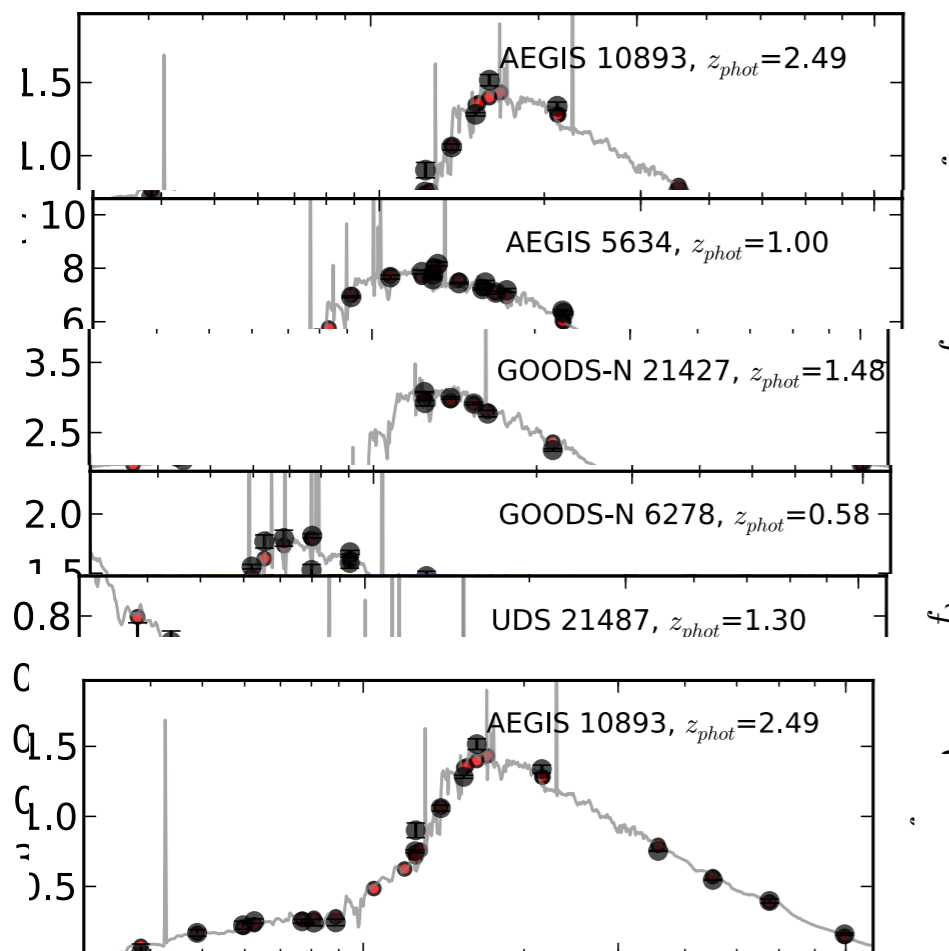
6 trillion M_{\odot}

800 million M_{\odot}

8 trillion M_{\odot}

“Misurare” attraverso esempi

Osservato: **spettro**,
ovvero luminosità di una galassia
in funzione della lunghezza d'onda



Massa stellare?

500 million M_\odot

6 trillion M_\odot

800 million M_\odot

8 trillion M_\odot

?

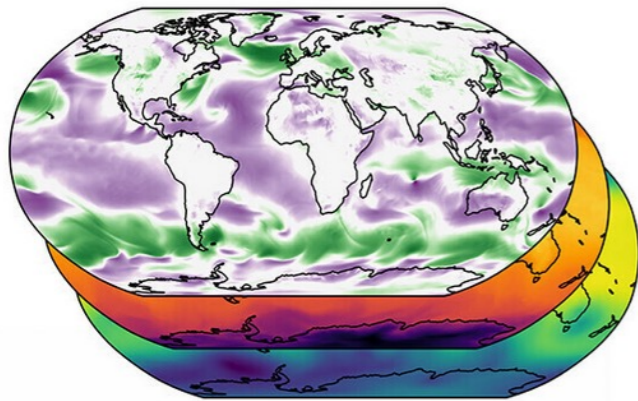


20 trillion M_\odot

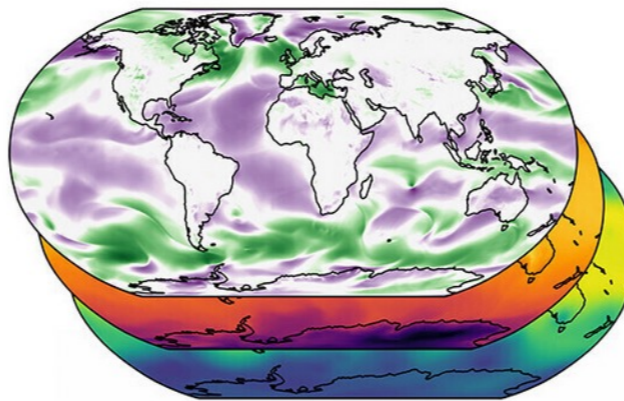
Imparare solo dai dati senza modelli

AI-driven climate models

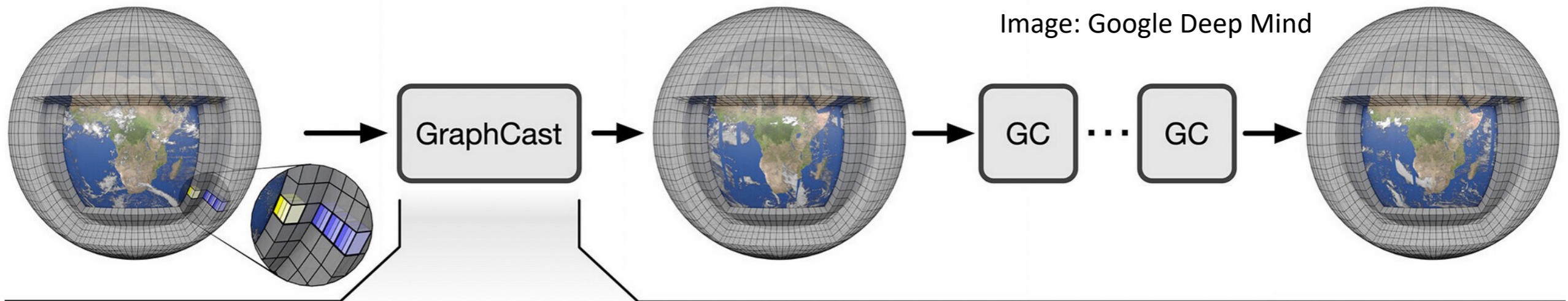
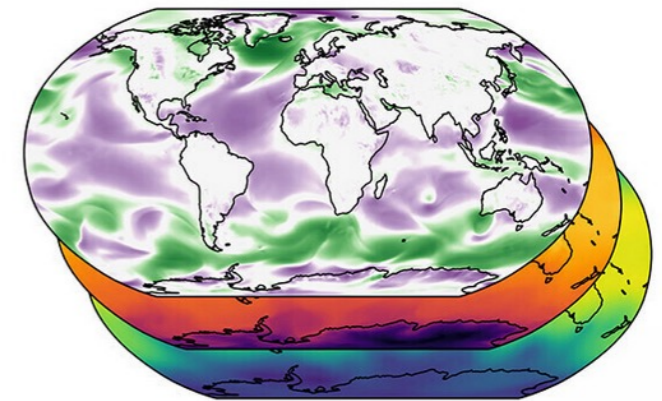
a) Input weather state



b) Predict the next state



c) Roll out a forecast



Imparare solo dai dati senza modelli

https://charts.ecmwf.int/catalogue/packages/ai_models/

[Home](#) / [Packages](#) / Products from various AI Models

🔍 Search products...

Model

☐ AIFS Single

☒ Aurora

☒ FourCastNet

☒ GraphCast

☐ Pangu-Weather

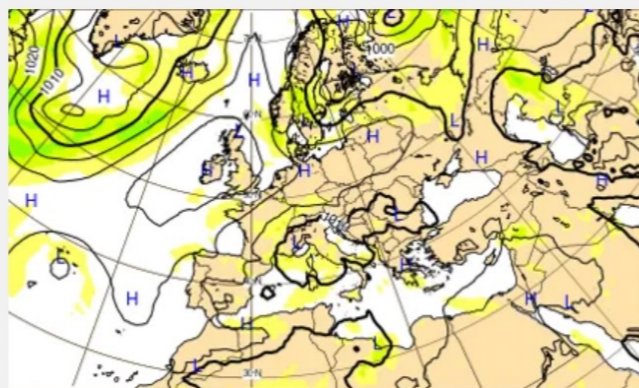
☐ AIFS ENS (ECMWF)

Product type

☐ AIFS Single

☐ Experimental: Machine learning models

☐ Experimental: AIFS Ensemble forecast

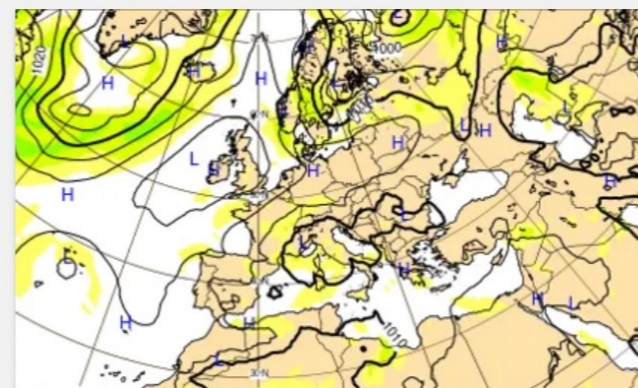


Latest forecast



Experimental: Aurora ML model: Mean sea level pressure and 850 hPa wind speed

Aurora: a deep learning-based system developed by Microsoft. It is initialised with ECMWF analysis. Aurora operates at 0.1° resolution.

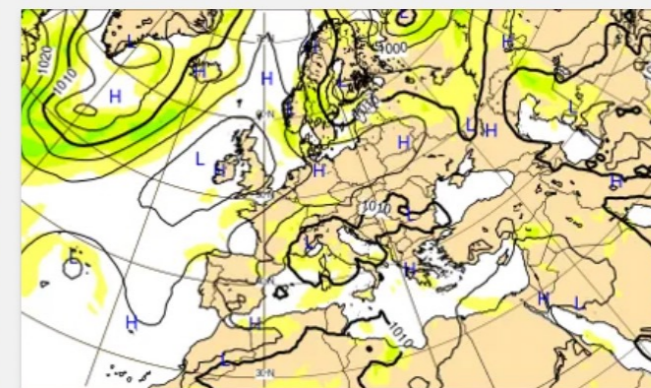


Latest forecast



Experimental: FourCastNet ML model: Mean sea level pressure and 850 hPa wind speed

FourCastNet v2-small: a deep learning-based system developed by NVIDIA in collaboration with researchers at several US universities. It is initialised with ECMWF analysis. FourCastNet operates at 0.25° resolution.

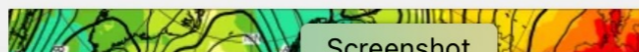


Latest forecast

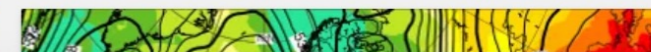
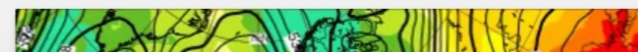


Experimental: GraphCast ML model: Mean sea level pressure and 850 hPa wind speed

GraphCast (Google DeepMind): a deep learning-based system developed by Google DeepMind. It is initialised with ECMWF analysis. GraphCast operates at 0.25° resolution.



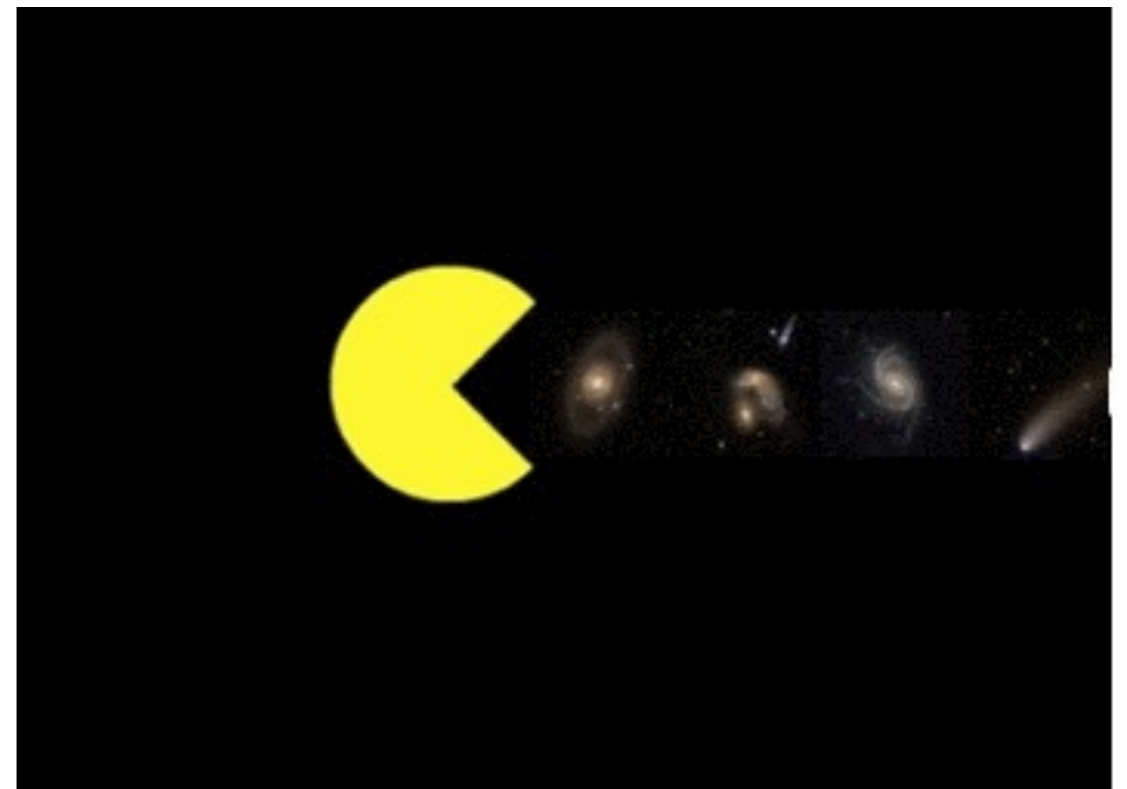
Screenshot



Usare dati più complessi, come immagini



Modello matematico:
Richiede una formula
per ciascun pixel ☹️

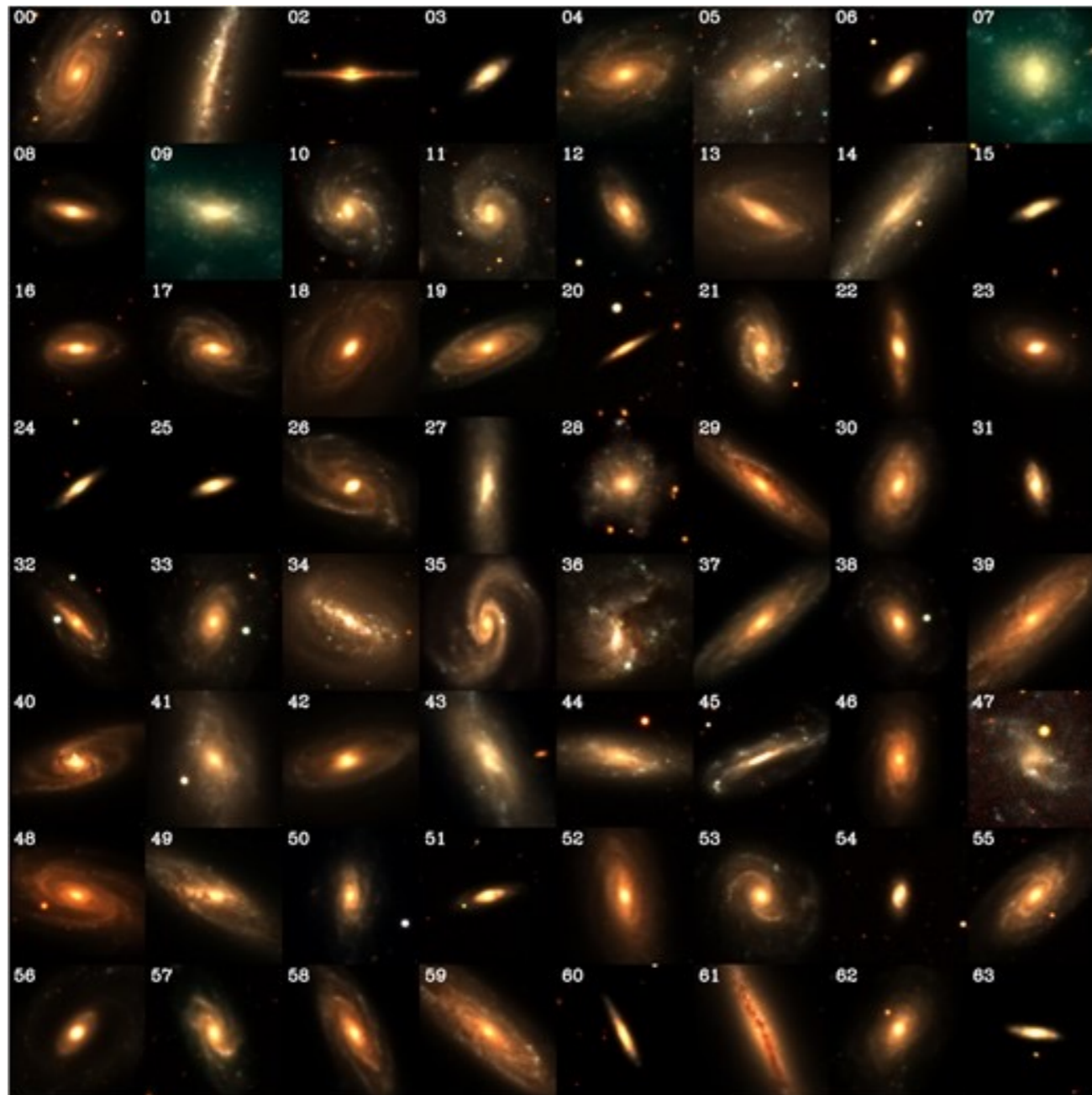


Machine Learning:
mangia tutto 😊



Intelligenza
artificiale
generativa...

Possiamo usarla per generare dati
molto realistici...



Questo ci aiuta a superare
il limite di avere
un solo Universo!

Abbiamo anche i nostri ChatGPT specializzati in Astronomia!

AstroMLab 1: Who Wins Astronomy Jeopardy!?

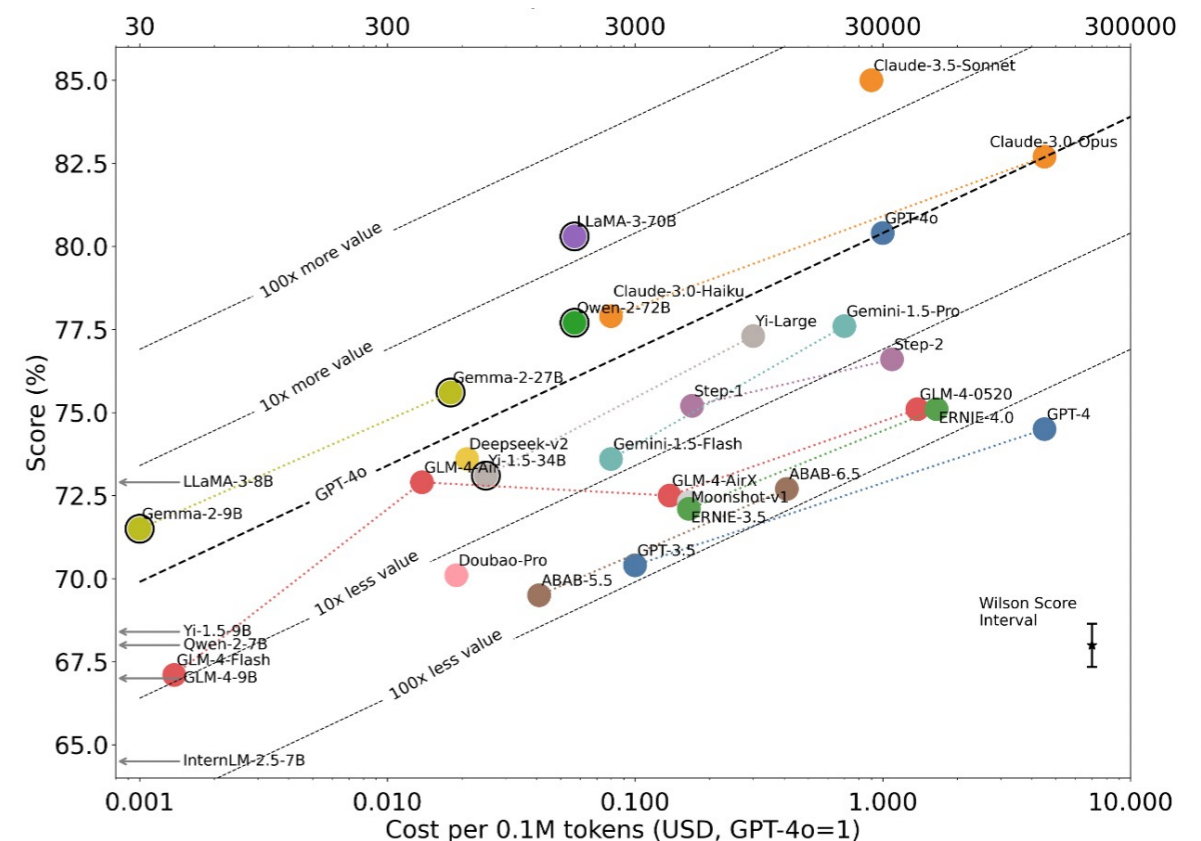
(chi vince il quiz di Astronomia?)

Paper ID: 2023ARA&A..61..131F

Domanda: Le proprietà del mezzo circumgalattico (CGM) dipendono principalmente dalla competizione tra:

- (A) Tasso di formazione stellare e feedback da supernova.
- (B) Raffreddamento del gas e venti stellari.
- (C) Caduta gravitazionale e raffreddamento del gas.
- (D) Campi magnetici e conduzione termica.

Risposta corretta: C **Spiegazione:** L'articolo afferma esplicitamente che la caratteristica distintiva del CGM è l'equilibrio tra la gravità che attrae il gas verso l'interno e i processi di raffreddamento che consentono al gas di perdere pressione e condensare. Questo equilibrio determina se il CGM sia prevalentemente caldo (raffreddamento lento) o freddo (raffreddamento rapido).



Conclusioni

L'intelligenza artificiale è un grosso acceleratore per le scienze, inclusa l'Astronomia.

Ci permette di analizzare dati in modi innovativi e veloci e di generare nuovi dati, equivalenti a nuovi laboratori di ricerca.

Ci sono anche dei rischi: proprio come ChatGPT può dare risultati inesatti o fuorvianti, anche i nostri metodi devono essere soggetti a uno scrutinio critico e attento.