

UNIVERSITY OF LEEDS

---

# Una rete encoder-decoder con attenzione per la previsione delle acque sotterranee

21/12/2021

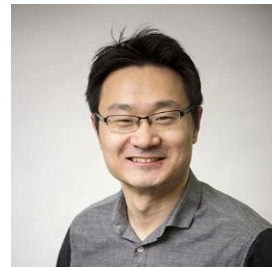
Maria Luisa Taccari



Maria Luisa Taccari  
(dottoranda)



Dr Xiaohui Chen  
(School of Civil Engineering)



Dr He Wang  
(School of Computing)



Professor Peter Jimack  
(School of Computing)

## Deltares

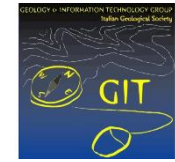


Dr Jonathan Nuttall  
(Deltares, Istituto di ricerca  
olandese)



Bennie Minnema  
(Deltares, Istituto di ricerca  
olandese)

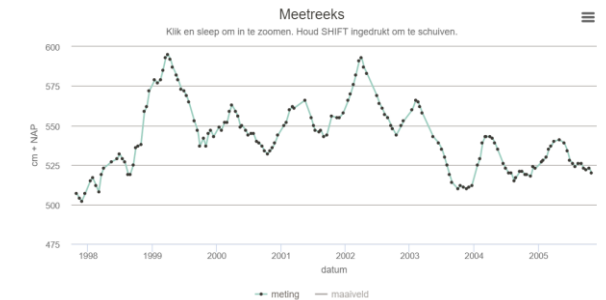
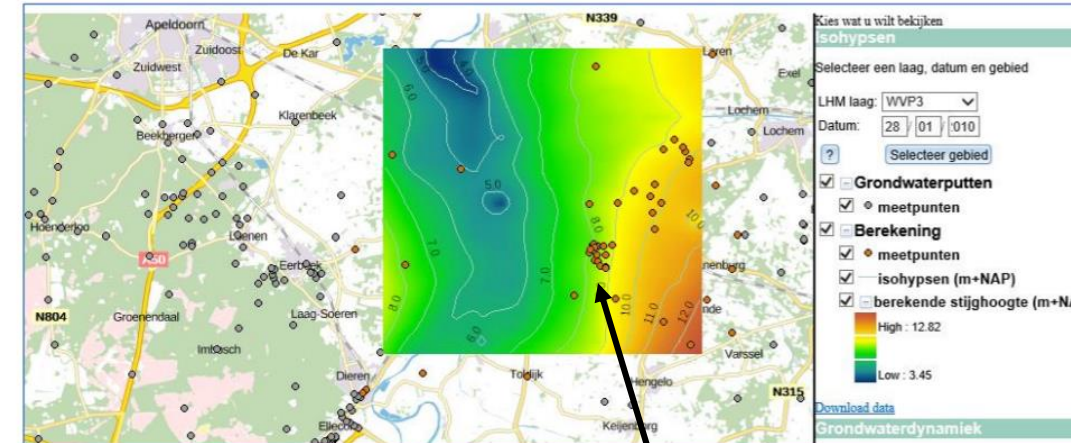
# Attuale modello di acque sotterranee



UNIVERSITY OF LEEDS

Rijkswaterstaat (agenzia esecutiva del Ministero delle infrastrutture e della gestione dell'acqua nei Paesi Bassi) esegue modelli MODFLOW a differenza finita:

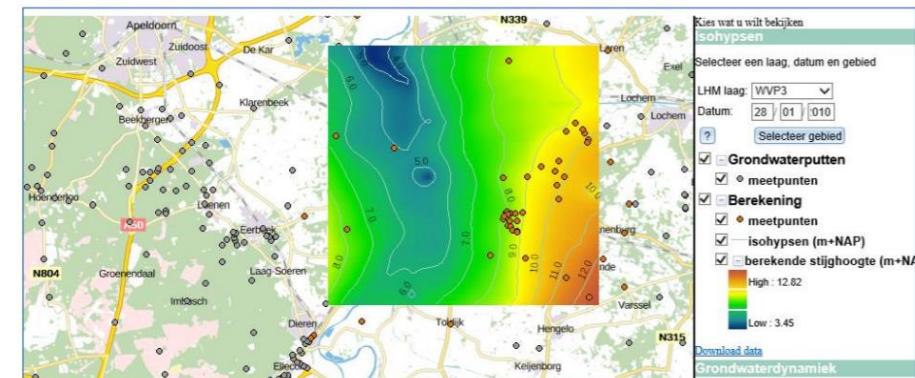
- ricopre l'area dei Paesi Bassi (risoluzione di 250 x 250 metri, 9 strati)
- ricopre l'area di una o due province (risoluzione di 25 x 25 metri, fino a 30 strati)
- la simulazione di un periodo di 100 anni (il timestep è 1 giorno) richiede 6 – 8 settimane (incluso l'uso della parallelizzazione)



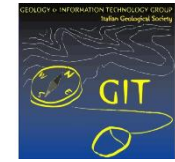
Pressante necessità di un quick-scan tool che valuti rapidamente e accuratamente i numerosi scenari di gestione sul lungo periodo.

Con le seguenti caratteristiche:

- complementare ai modelli numerici dettagliati esistenti,
- adatto ad eseguire molti (migliaia) calcoli di analisi di sensibilità,
- meno precisione è accettabile, purché l'output sia coerente con il modello numerico.



# Principali sfide delle equazioni alle derivate parziali (PDE)



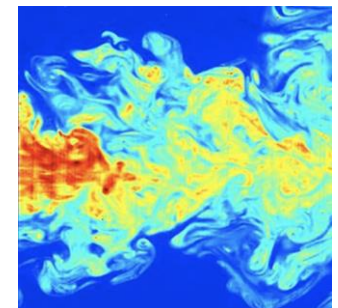
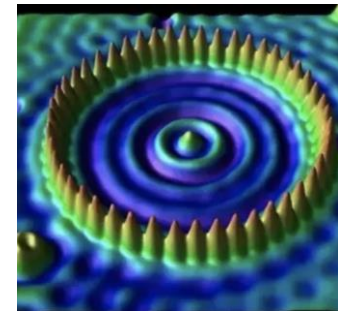
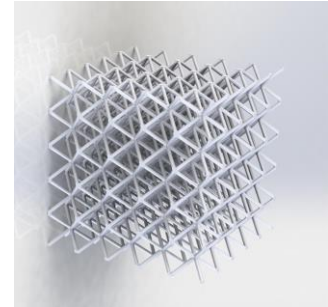
UNIVERSITY OF LEEDS

Problemi in scienza ed ingegneria si riducono alle PDE.

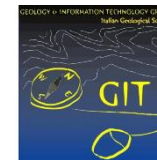
Molta ricerca negli ultimi 50 anni → vari metodi (FD, FEM, metodi spettrali, meshless,..)

Tuttavia:

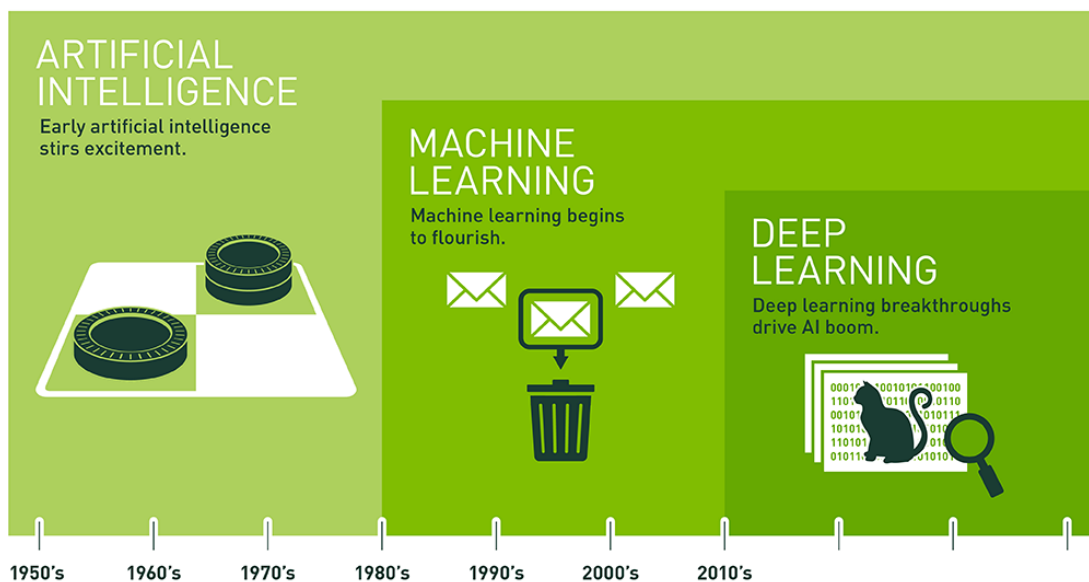
- costi computazionali elevati, in particolare per sistemi non lineari a grande scala e alta risoluzione,
- difficile incorporazione di osservazioni nel modello,
- la generazione della mesh è complessa.



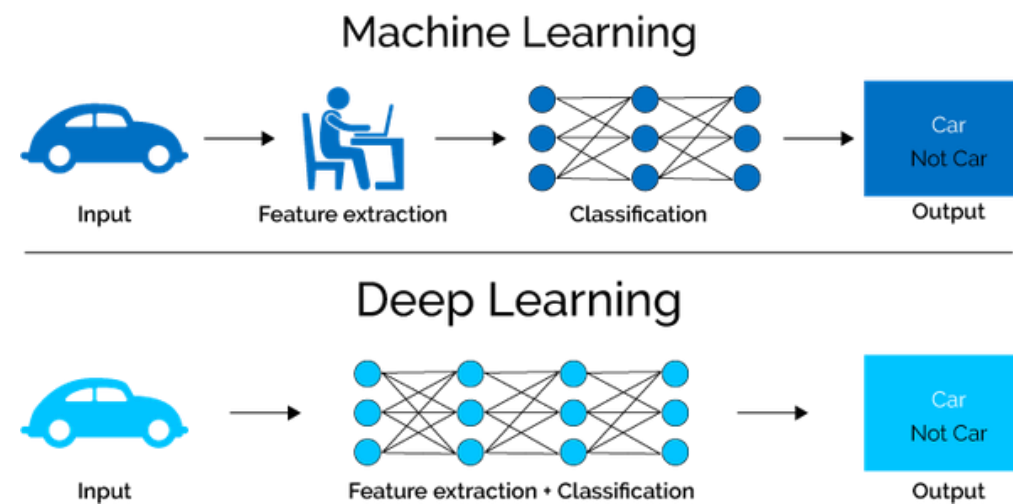
# Apprendimento profondo



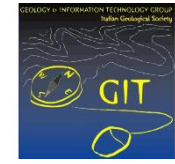
UNIVERSITY OF LEEDS



Since an early flush of optimism in the 1950s, smaller subsets of artificial intelligence – first machine learning, then deep learning, a subset of machine learning – have created ever larger disruptions.



# Applicazione nelle scienze e in ingegneria



UNIVERSITY OF LEEDS

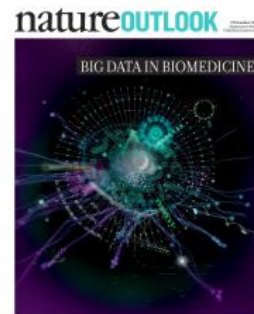
## Promise of Data Science in Transforming Scientific Discovery



**How AI is transforming science**  
Researchers are unleashing artificial intelligence (AI) on torrents of big data

*“Unlike earlier attempts ... [AI systems] can see patterns and spot anomalies in data sets far larger and messier than human beings can cope with.”*

July 7 2017 Issue

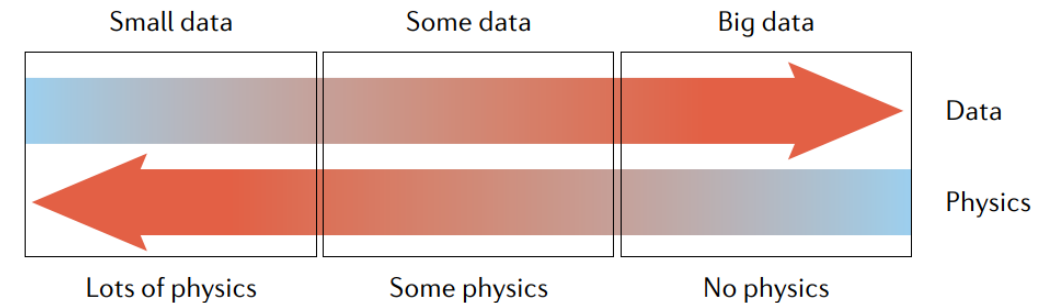


Harnessing the information explosion

Can we open the black box of AI? **nature**

Artificial intelligence is everywhere. But before scientists trust it, they first need to understand how machines learn.  
- Castelvocchi 2016

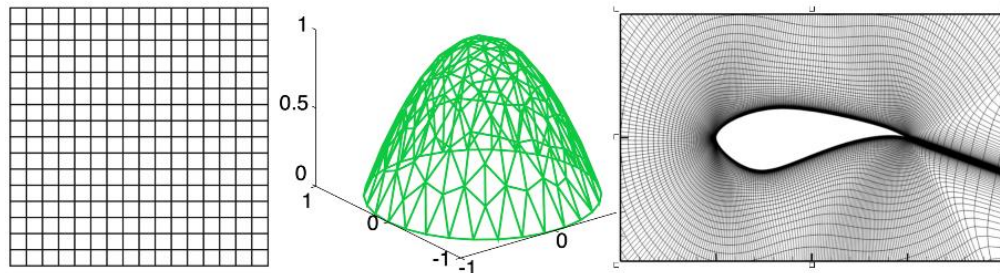
### Physics-Based Deep Learning



<https://www.nature.com/articles/s42254-021-00314-5>

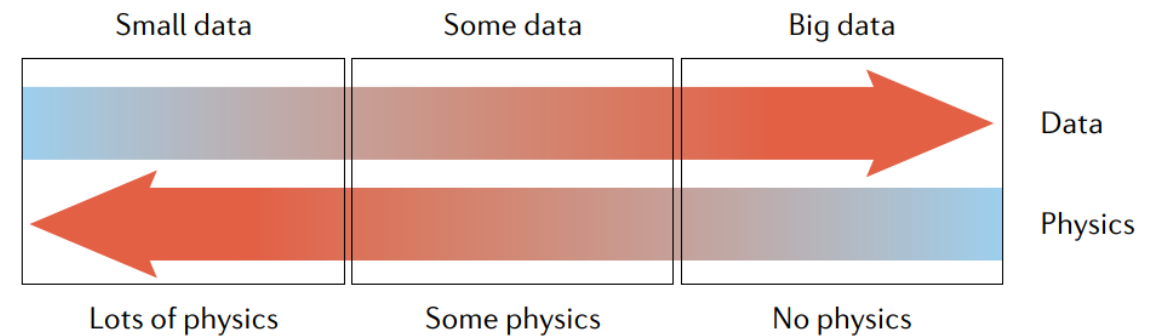
## Metodi tradizionali:

- Richiedono la conoscenza della forma esplicita della PDE,
- trade-off tra discretizzazione della mesh e tempi di risoluzione.



## Reti neurali artificiali:

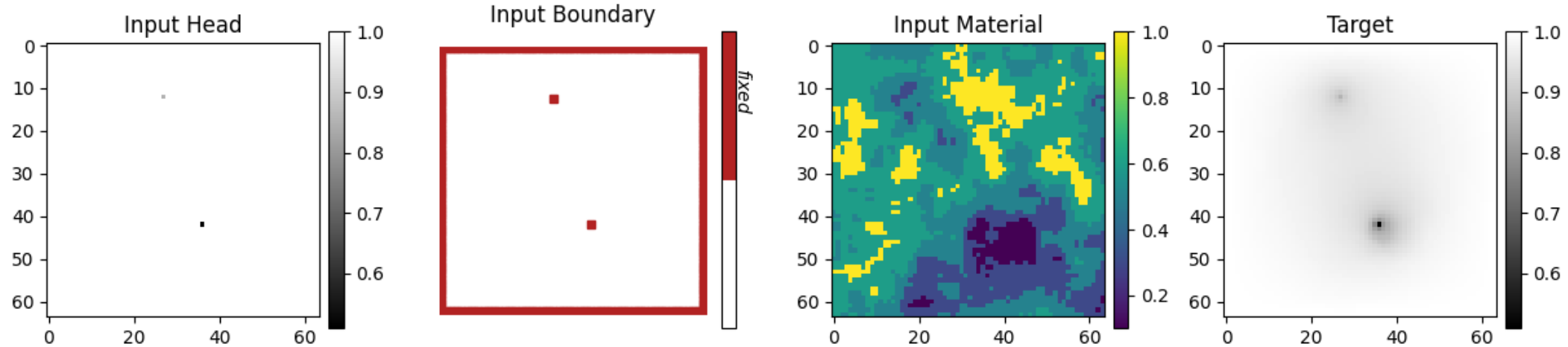
- Basate sui dati\*,
- senza griglia od invariante da essa,
- tempi di allenamento lenti; tempi di esecuzione immediati





# Modello di acque sotterranee

Flusso allo stato stazionario in un modello a strato singolo che rappresenta una falda artesianiana altamente eterogenea:



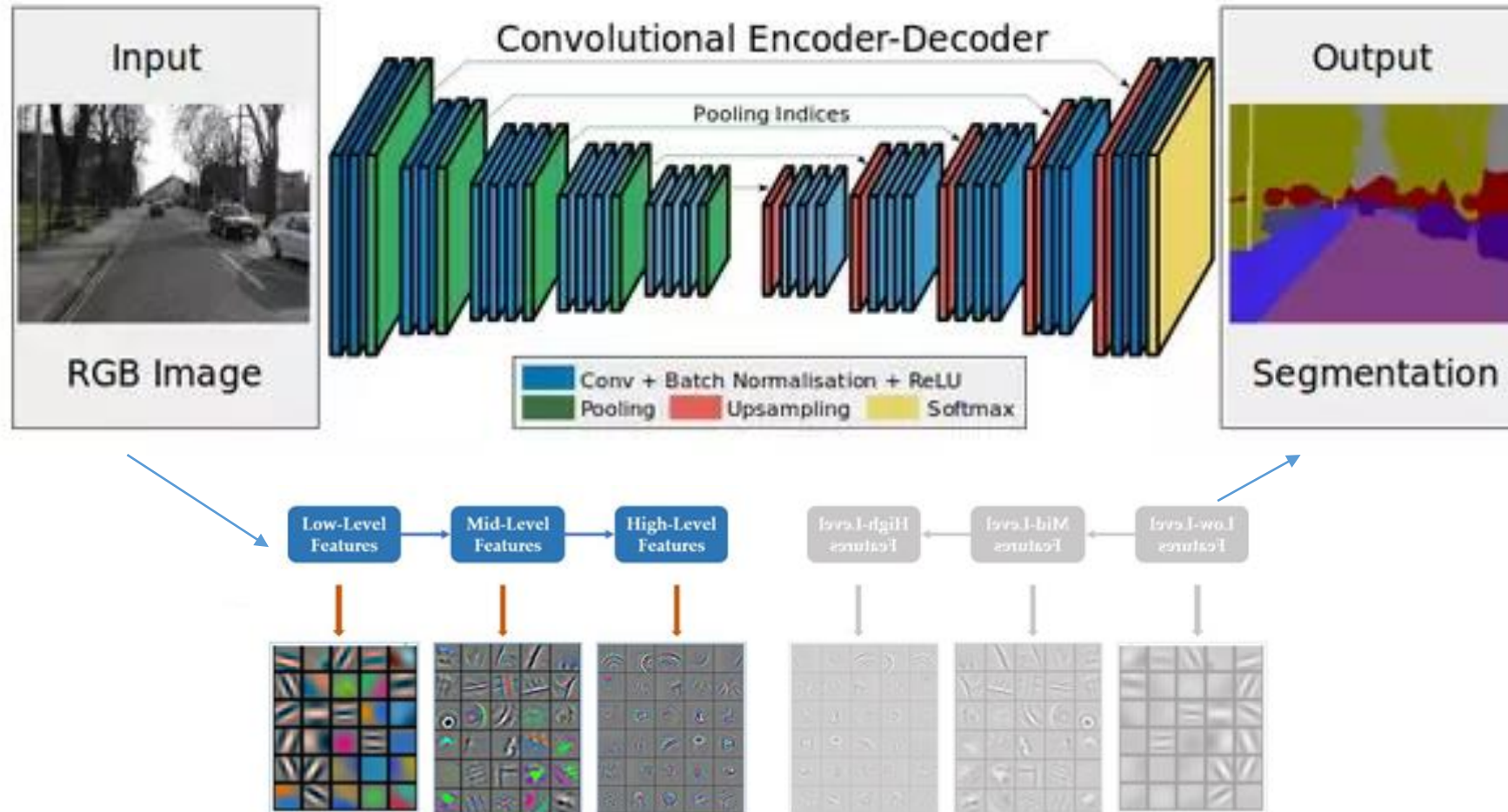
**input** (campi di conducibilità idraulica e condizioni al contorno)

**output** (la quota idraulica nel dominio)

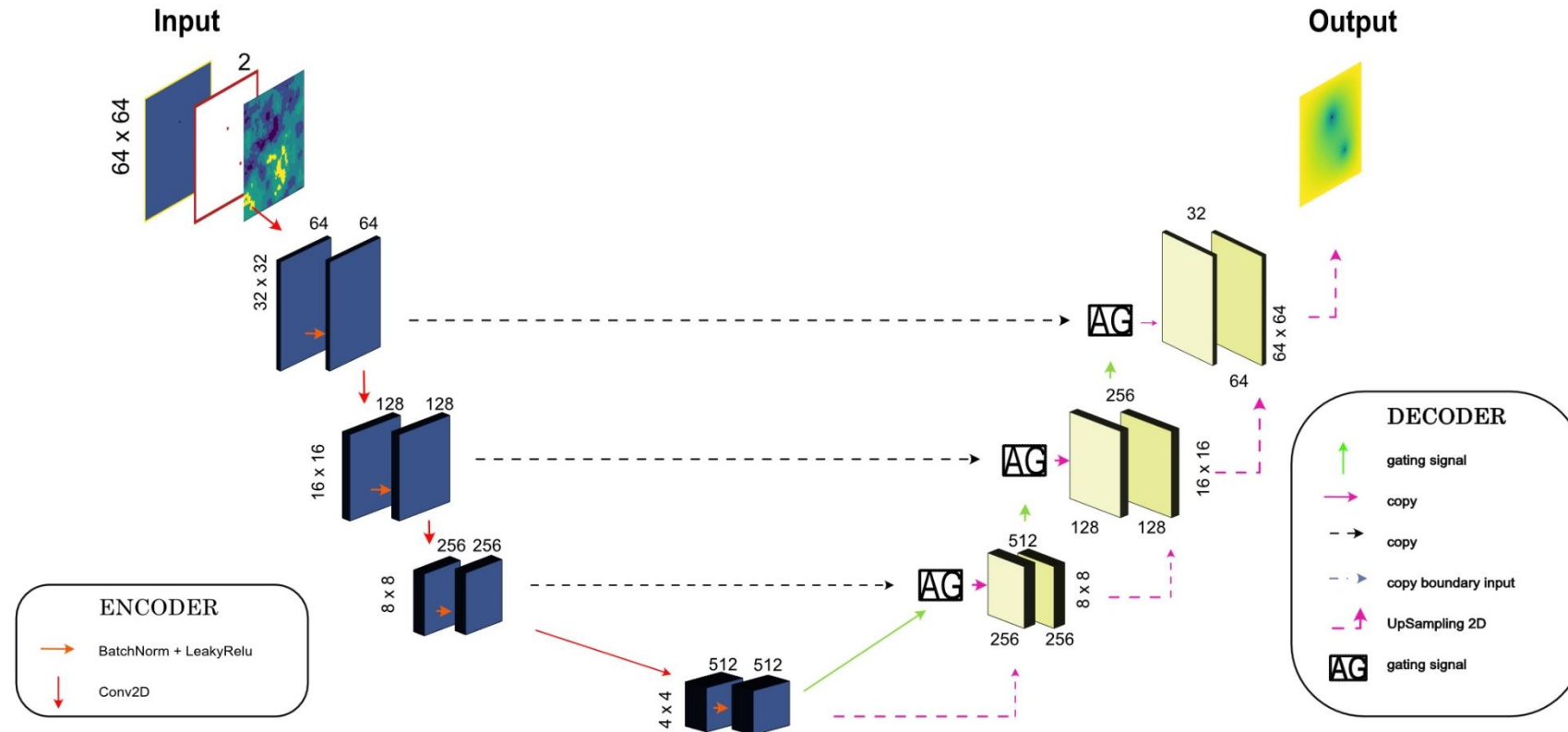
Dataset:

- 32000 train , 8000 validation , 4000 test
- Dati sintetici ottenuti dal programma a differenze finite MODFLOW

# Architettura di rete: encoder-decoder



# Architettura di rete: U-Net con attenzione



con attenzione:

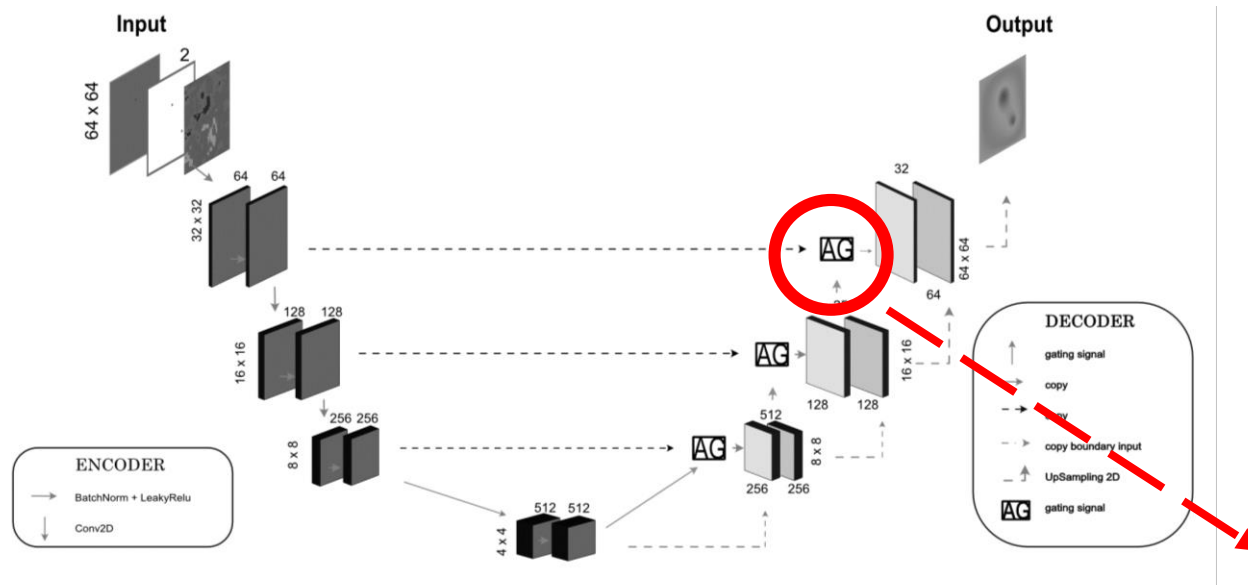


A woman is throwing a frisbee in a park.

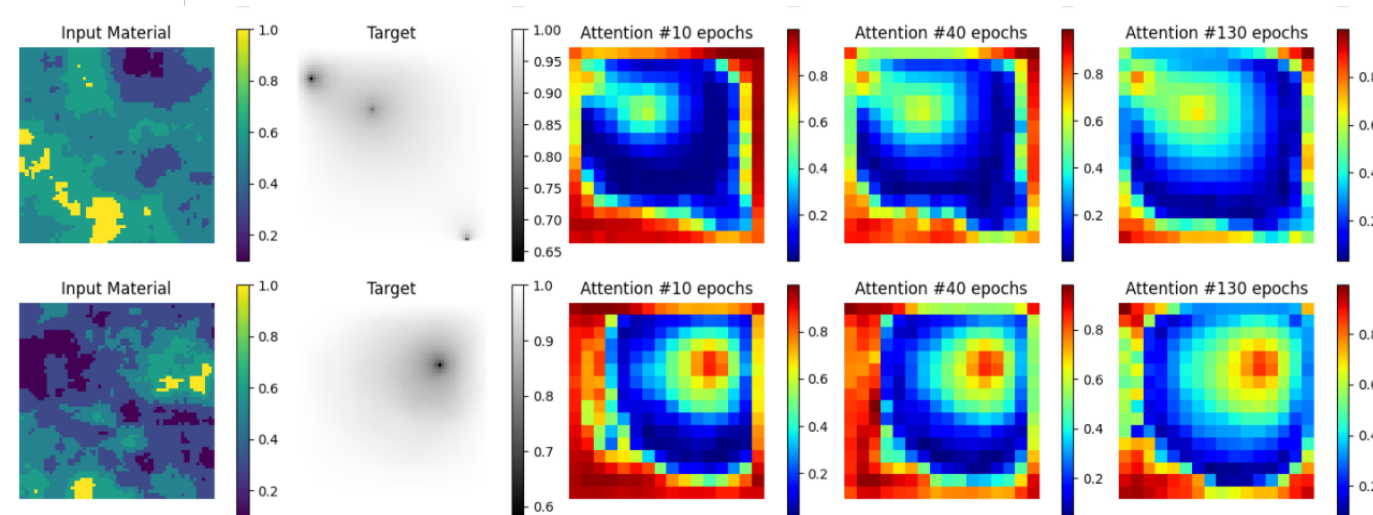
A dog is standing on a hardwood floor.

A stop sign is on a road with a mountain in the background.

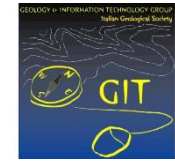
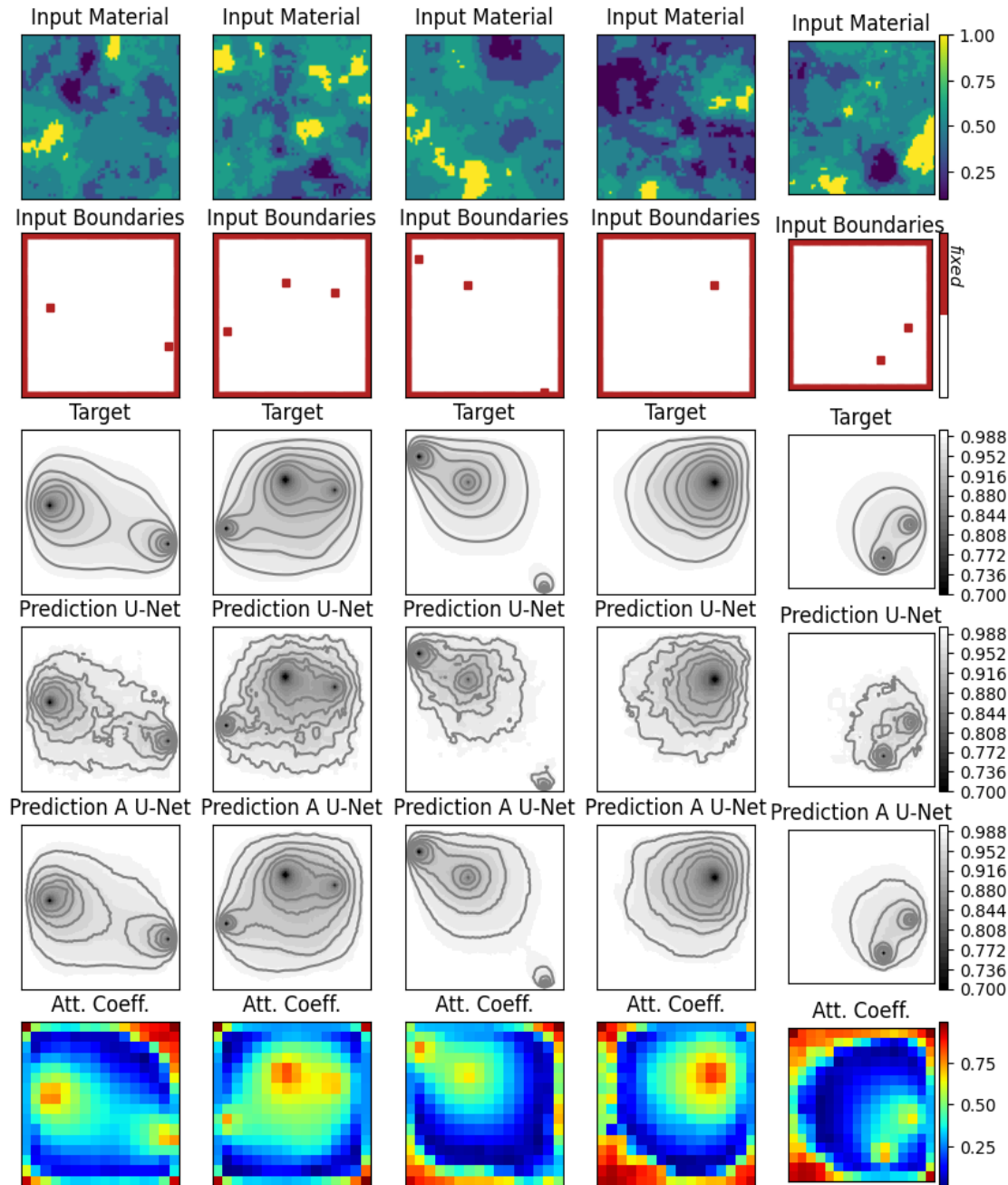
# Allenamento



$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$



# Risultati

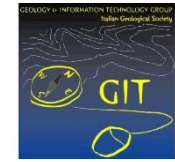


UNIVERSITY OF LEEDS

|                          | Hardware                                       | Backend          | Wall-clock time(s) |
|--------------------------|--|------------------|--------------------|
| <b>Finite Difference</b> | Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.20GHz , GPU Tesla K80 | MODFLOW<br>FloPy | 0.184              |
| <b>Attention U-Net</b>   | Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.20GHz , GPU Tesla K80 | Tensorflow       | 0.046              |

# Conclusione e ulteriori sviluppi

---

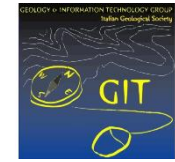


UNIVERSITY OF LEEDS

1. Il modello U-net apprende la relazione non lineare tra gli input e l'output,
2. Il modello fornisce risultati molto accurati richiedendo al tempo stesso un tempo computazionale inferiore rispetto al risolutore numerico,
3. Il meccanismo di attenzione consente alla rete neurale di identificare e concentrarsi sulle regioni salienti dell'immagine.

## Ulteriori sviluppi :

1. L'incorporazione del processo fisico (PDE) direttamente nel processo di apprendimento,
2. Sviluppare ulteriormente il modello per sistemi più complessi, più grandi ed incerti (simulazioni temporali e 3D),
3. Applicazione a casi pratici.



UNIVERSITY OF LEEDS

---

Grazie per l'attenzione!

Maria Luisa Taccari - [cnmlt@leeds.ac.uk](mailto:cnmlt@leeds.ac.uk)

Acknowledgments:



**PANORAMA**

**Deltares**