

# **Titolo: Sviluppo di tecniche Machine Learning di monitoraggio geofisico per la previsione in tempo reale delle variazioni parametriche associate alle attività di stoccaggio di CO<sub>2</sub> in reservoir geologici**

**Tutor: Maurizio Fedi**

**Co-tutor(s): Maurizio Milano**

**Proposta di ricerca:** *Lo stoccaggio geologico di CO<sub>2</sub> è attualmente considerato come uno dei principali strumenti per ridurre le emissioni di anidride carbonica nell'ambiente e contrastare i cambiamenti climatici. Il monitoraggio geofisico in ambito CCS (Carbon Capture and Storage) è di fondamentale importanza per verificare ed interpretare l'evoluzione degli equilibri del sottosuolo e per valutare eventuali criticità. Attraverso l'interpretazione di dati geofisici 4D è infatti possibile tracciare in remoto la formazione e l'evoluzione del plume di CO<sub>2</sub> e fornire informazioni fondamentali per poter mitigare i potenziali rischi di dispersione. La maggior parte degli attuali studi, tuttavia, si basa sullo sviluppo di simulazioni multifisiche le quali, all'aumentare del grado di complessità dei siti in questione, richiedono notevoli capacità e tempi di calcolo nonché informazioni sulle variazioni temporali di numerosi parametri fisici. Questo progetto di dottorato mira, quindi, alla definizione di nuovi strumenti di monitoraggio e previsione multifisica attraverso lo sviluppo di tecniche Machine Learning, le quali sono in grado di risolvere problemi geofisici non lineari di notevole complessità mediante meccanismi di autoapprendimento. Sarà adottato un sistema di tipo Supervised Learning, dove la fase di apprendimento del modello sarà condotta attraverso la generazione di dataset geofisici time-lapse sintetici sulla base di simulazioni multifisiche realistiche. Tali tecniche saranno applicate a dataset geofisici generati a diversi intervalli temporali per la previsione real-time delle variazioni parametriche spaziali e temporali associate alle attività di stoccaggio di CO<sub>2</sub>.*

**Programma di ricerca:** *Il dottorando dovrà sviluppare innanzitutto una fase di simulazione di stoccaggio all'interno di reservoir geologici Tali simulazioni saranno elaborate sulla base delle proprietà del sito in esame (porosità, permeabilità, profondità, temperatura, pressione, elementi strutturali) ad intervalli temporali regolari, nonché valutando diversi parametri operativi, quali ad esempio il tasso di iniezione ed i tempi di iniezione/post-iniezione. In tal modo verrà ottenuta una serie di potenziali modelli di reservoir che tengano conto di tutti i possibili scenari geologici, ovvero tutte le possibili combinazioni di proprietà che non possono essere escluse dalle conoscenze geologiche a disposizione. Da tali modelli verranno quindi stimate le risposte geofisiche ad ogni passo temporale. I modelli forniti dalle simulazioni e i dataset geofisici associati saranno utilizzati per sviluppare la fase di apprendimento delle reti neurali, le quali verranno addestrate a riconoscere output (le 'data labels', ossia dati geofisici) sia di tipo numerico (ad es. livello di saturazione) che di categoria (ad es. predisposizione a leakage), attraverso le relazioni fisiche che legano le variazioni*

*parametriche ai dati geofisici time-lapse. Date le dimensioni del problema, verranno utilizzate le reti CNN (Convolutional Neural Network), come ad esempio l'algoritmo ResNet (Residual Neural Network), grazie alle quali è necessario memorizzare un numero inferiore di parametri, riducendo così i requisiti di memoria del modello e migliorando la sua efficienza.*

=====

**Title: Development of geophysical monitoring Machine Learning techniques for real-time prediction of parametric variations associated with CO<sub>2</sub> storage activities in geological reservoirs.**

**Tutor: Maurizio Fedi**

**Co-tutor(s): Maurizio Milano**

**Proposal** *The geological storage of CO<sub>2</sub> is currently considered as one of the main tools for reducing carbon dioxide emissions into the environment and preventing climate change. Geophysical methods in the field of CCS (Carbon Capture and Storage) is of fundamental importance for monitoring and interpreting the evolution of the reservoir and for assessing any critical issues. Through the interpretation of 4D geophysical data it is in fact possible to remotely trace the development and evolution of the CO<sub>2</sub> plume and provide fundamental information to mitigate the potential risks of leakage. Most of the current studies, however, are based on the development of multiphysics simulations which, as the degree of complexity of the site increases, require considerable capacities and calculation times as well as information on the temporal variations of numerous physical parameters. This PhD project aims, therefore, at the definition of new geophysical monitoring and forecasting tools through the development of Machine Learning techniques, which are able to solve non-linear problems of considerable complexity through self-learning mechanisms. A Supervised Learning type system will be adopted, where the training phase of the model will be conducted through the generation of synthetic time-lapse geophysical datasets based on realistic multiphysics simulations. These techniques will be applied to geophysical datasets generated at different time intervals for the real-time prediction of the spatial and temporal parametric variations associated with CO<sub>2</sub> storage activities.*

**Research Program**

*First of all, the PhD student will have to develop a storage simulation phase within geological reservoirs. These simulations will be conducted based on the available reservoir properties (e.g.*

*porosity, permeability, depth, temperature, pressure, structural elements) at regular time intervals, as well as assuming different operating information, such as the injection rate and injection/post-injection times. In this way, a series of potential reservoir models will be carried out, representing all the possible geological scenarios, that is all combinations of reservoir properties that cannot be excluded from the available geological knowledge. These models are then used to estimate the geophysical responses at each time step. The models provided by the simulations and the related geophysical datasets will be used to develop the training phase of the neural networks, which will be trained to recognize the output (the 'data labels') both of numeric type (e.g. saturation level) and of category (e.g. predisposition to leakage), through the physical relationships that link the parametric variations to the time-lapse geophysical data. Given the size of the problem, Convolutional Neural Networks (CNNs) will be used, such as the ResNet (Residual Neural Network) algorithm, whereby fewer parameters need to be stored, thus reducing model memory requirements and improving its efficiency.*

=====