

Università di Pisa

Corso di dottorato in Geoscienze e Ambiente

Offerta didattica per l'aa 2025-26

APPROCCI ANALITICI DI LABORATORIO NELLE SCIENZE GEOLOGICHE E AMBIENTALI

- **High pressure-high temperature experiments in piston cylinder (8 ore)**

M. Masotta

Il corso è organizzato in una sola giornata ed è suddiviso in una prima parte di lezione frontale (4 ore), seguita da una parte di lezione in laboratorio (4 ore), dove è prevista la realizzazione di un esperimento ad alta pressione-alta temperatura utilizzando il piston cylinder. Durante il corso saranno affrontati i principali utilizzi delle tecniche di alta pressione negli ambiti delle Scienze della Terra, con particolare riferimento ad applicazioni tecniche e scientifiche. L'esperimento sarà realizzato dai partecipanti e inizierà con la realizzazione di un assembly sperimentale e si concluderà con l'osservazione di un campione sperimentale realizzato in precedenza. La tipologia di esperimento verrà definita in base agli interessi scientifici dei partecipanti.

- **LA-ICP-MS technique and application in Earth Sciences (8 ore)**

M. Masotta

Il corso è organizzato in una sola giornata ed è suddiviso in una prima parte di lezioni frontali (4 ore), seguita da una parte di lezione in laboratorio (4 ore), dove è prevista la realizzazione di una sessione di analisi presso il laboratorio Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-ICP-MS), appartenente alla rete di strumentazione del CISUP.

Il corso sarà organizzato nel modo seguente:

Lezione 1: Principi di funzionamento della tecnica LA-ICP-MS

Lezione 2: Analisi degli elementi in traccia in matrici geologiche tramite LA-ICP-MS

Lezione 3: Applicazioni del LA-ICP-MS per geocronologia U-Th-Pb

Lezione Lab. 1: Sessione di analisi LA-ICP-MS

Lezione Lab. 2: Tecnica di riduzione dei dati

- **Principi ed applicazioni pratiche del microscopio a trasmissione elettronica (TEM) (16 ore)**

E. Mugnaioli

Lezioni frontali: Principi di microscopia elettronica ed accenni sull'interazione fra elettroni e materia. Accenni di cristallografia dei nanomateriali. Descrizione tecnica dello strumento TEM. Tecniche di preparativa TEM per campioni biologici ed inorganici. Principi di imaging TEM e STEM con risoluzione atomica. Tecniche convenzionali ed avanzate di diffrazione elettronica (SAED, NED, CBED, 3D ED, ED-mapping). Analisi chimica tramite energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX/EDS). Attività di laboratorio: applicazioni pratiche delle tecniche sopra descritte.

- **Tecniche diffrattometriche a raggi X (8 ore)**

M. Pasero/C. Biagioni

Lezione (2h): su “Teoria della diffrazione X”.

Esercitazione 1 (3h): Laboratorio raggi X: Raccolta dati di diffrazione da polvere su matrice contenente cristalli di granato. Lettura, indicizzazione dei riflessi e raffinamento dei parametri di cella da diffrattogramma di polvere (spessartina). Montaggio camera Gandolfi (spessartina).

Esercitazione 2 (3h): Laboratorio raggi X: Raccolta dati di diffrazione da cristallo singolo (spessartina). Sviluppo e lettura pellicola Gandolfi (andradite). Raffinamento strutturale di spessartina. Raccolta dati di diffrazione da cristallo singolo (andradite).

Esercitazione 3 (2h): Laboratorio raggi X: Lettura e interpretazione del diffrattogramma su matrice (80% dolomite, 20% quarzo + mica). Raffinamento strutturale di andradite.

- **Electron probe microanalyzer (EPMA) technique and application in Earth Sciences (6 ore)**

M. D’Orazio

Through a series of lectures (three hours), exercises (1 hour) and practice with the instrumentation installed at DST (JEOL Superprobe 8200; 2 hours), the course aims to make doctoral students familiar with the basic principles of the EPMA technique and its applications to geosciences.

- **Tecniche di utilizzo del SEM-HITACHI con EDS (4 ore)**

K. Gariboldi/C. Morigi

Il corso dopo una breve introduzione teorica dello strumento, prevede una parte pratica sull'uso del microscopio elettronico a scansione e la microanalisi, sulle sue potenzialità per gli studi geologici ed ambientali.

- **Tecniche di utilizzo dello strumento “Camsizer” (4 ore)**

D. Bertoni

Mini-corso in cui saranno illustrate le potenzialità di utilizzo del granulometro “Camsizer”, strumento allo stato dell’arte per quanto riguarda la realizzazione di analisi granulometriche di sedimenti di dimensioni variabili tra 8 millimetri e 1 micron. Durante il mini-corso saranno effettuate dimostrazioni su campioni di diversa tipologia per mostrare il funzionamento dei moduli X-FLOW ed X-FALL. Saranno inoltre proposti suggerimenti sul pre-trattamento dei campioni, procedura imprescindibile per ottenere il massimo risultato. L’attività sarà necessariamente in presenza presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Pisa. Qualora si renda necessario, il mini-corso potrà essere erogato anche in lingua inglese.

- **Microprobe & XMapTools: Calibration of X-ray maps with spot analysis (8 ore)**

M. Di Rosa

Lecture 1 (2h): EPMA, input-output-input, Pierre Lanari, install XMapTools 3.4.1.

Lecture 2 (2h, practise): import maps, mask files, import spots, standardize, export analyses (different options).

Lecture 3 (2h, practise): local bulk, structural formula, export diagrams (binary-ternary), histograms, thermobarometry. Questions/specific functions. Overview on XMapTools 4beta.

Lecture 4 (2h, practise): recommendations, applications, case studies, questions, shares. ChlMicaEqui.

3D acquisition and applicative methods in R environment (12 ore)

L. Pandolfi

3D digitization is transforming research applications and dissemination practices. This technology enables the creation of highly detailed 3D virtual models of geological objects and environments, facilitating a more objective and comprehensive analysis and understanding of natural phenomena. The course aims to provide participants with practical training on the use of software and hardware for digitization and 3D analysis within the R environment. Through exercises and case studies, participants will acquire the skills necessary to carry out digitalization, research and valorization of the geological heritage.

GEORISORSE: INDAGINI, MODELLI E GESTIONE SOSTENIBILE

- **Approcci di quantificazione e modellistica delle acque sotterranee e della loro risposta ai cambiamenti climatici (6 ore)**

M. Doveri/M. Menichini

Il corso presenta le principali tecniche utili per la comprensione e modellizzazione dei processi fisici e chimici che condizionano la circolazione idrica nei sistemi acquiferi.

Organizzazione corso:

- 1 lezione frontale (2h): metodologie per lo sviluppo del modello concettuale dei sistemi acquiferi
- 1 lezione frontale (2h): principali approcci per la modellistica matematica delle acque sotterranee
- 1 lezione frontale (2h): casi studio.

- **Nuove frontiere dell'idrogeologia: dai contaminanti emergenti alla "virtual water" (8 ore)**

V. Re/S. Viaroli

Il corso affronta le nuove frontiere dell'idrogeologia, approfondendo i contaminanti emergenti, come farmaci e microplastiche, e concetti innovativi come la "virtual water" e i conflitti legati alle risorse idriche. L'obiettivo è fornire a chi partecipa le basi per un'analisi critica dei processi idrogeologici, evidenziando le interazioni tra fattori naturali, ambientali e socio-economici. Attraverso lo studio di questi temi, il corso mira a promuovere una gestione sostenibile delle risorse idriche, favorendo scelte consapevoli e strategie efficaci per la tutela della qualità e della disponibilità dell'acqua a livello locale e globale. Il corso potrà essere svolto anche in lingua inglese.

Modulo 1 (3 ore) - Le risorse idriche transfrontaliere: sfide ed opportunità per la loro studio qualitativo e la gestione di risorse condivise tra più nazioni; le guerre per l'acqua e il water grabbing.

Modulo 2 (2 ore) - Socio-idrogeologia e Sustainable Development Goals: sfide e opportunità derivanti dall'inclusione sistematica della componente sociale negli studi idrogeochimici ed idrogeologici.

Modulo 3 (2 ore) - L'acqua virtuale: introduzione ai concetti di Virtual Water e Water Footprint: esempi di definizione dello sfruttamento delle risorse idriche tramite il concetto di Virtual Water: casi studio a scala globale.

Modulo 4 (3 ore) - Contaminanti emergenti: come si definiscono e come possono aiutarci a comprendere l'impatto antropico sul sistema naturale.

Modulo 5 (5 ore) - Microplastiche e acque sotterranee: Aspetti qualitativi e quantitativi della contaminazione da microplastiche delle acque sotterranee, problematiche e nuove frontiere di ricerca.

Modulo 6 (1 ora) - Esercitazione: La valutazione del Water Footprint individuale; Esposizione e Discussione: elaborazione delle strategie individuali per la riduzione del proprio Water Footprint per aumentare la nostra sostenibilità.

- **Le perforazioni geotermiche e la conoscenza del sottosuolo: storia e sviluppi (2 ore)**

G. Giudetti (Enel GreenPower)

La parola geotermia richiama subito alla mente una fonte energetica rinnovabile e pulita, che sia di alta, media o bassa entalpia. Ma geotermia è anche perforazione, necessaria per raggiungere la risorsa.

La perforazione non porta soltanto in superficie quella, ma anche un patrimonio di conoscenze scientifiche e geologiche del sottosuolo che non hanno paragone, perché, a volte, ciò che abbiamo sotto i nostri piedi non affiora e possiamo quindi solo immaginarlo o ipotizzarlo. Vedremo la storia della conoscenza geologica della area geotermica toscana a partire da metà ottocento e investigheremo i contributi scientifici di studiosi quali Savi, Lazzarotto, Marinelli, Merla, per citarne alcuni, ricostruendo le esplorazioni profonde, effettuate dalla Larderello SpA prima e da ENEL poi, e le principali scoperte geologico-stratigrafiche che adesso diamo per scontate, ma che fino a ieri non lo erano affatto.

Si andrà anche a descrivere il concetto di “value chain” secondo l’industria e come questo viene declinato all’interno di quella geotermica, prendendo anche spunto dall’Oil&Gas. Viene discusso principalmente il ruolo professionale dei geologi nello sviluppo di un progetto geotermico per elettricità nelle sue varie fasi (esplorazione, sviluppo, costruzione, operation & maintenance) e nelle varie competenze richieste come sia hard che soft skills.

ANALISI DATI, MODELLIZZAZIONE E PERICOLOSITA’ DEI PROCESSI NATURALI

- **Introduzione all'uso di Python con applicazioni nelle Geoscienze (18 ore)**

E. Stucchi/S. Berti

Il corso ha lo scopo di fornire allo studente nozioni di base del software Python e, mediante esercitazioni pratiche in laboratorio, trattare alcune delle applicazioni più comuni nel campo delle geoscienze.

Contenuti del corso: panoramica dell'ambiente Python; comandi base, importazione di moduli; liste, tuple, stringhe e array; regole sintattiche, richiamo delle operazioni matriciali e vettoriali con array; differenza tra script e function; i cicli: for, while; il costrutto if...elif...else; input-output: lettura di alcuni formati di file di dati e loro scrittura; visualizzazione 2D e 3D di dati; interpolazioni 1D e 2D; regressione lineare; uso della trasformata discreta di Fourier; esempi di filtraggio. Ogni argomento del programma è corredato da esempi ed esercizi.

- **GIS and Python coding (12 ore)**

M. Luppichini

The course focuses on the scientific analysis of geospatial data using Python and GIS tools, providing training in advanced techniques for managing, processing, and modeling spatial data. Emphasis is placed on developing algorithms and workflows for quantitative analysis and cartographic representation, with applications in scientific and environmental fields.

- **Data analysis and machine learning for geosciences (12 ore)**

F. Grigoli

A large number of applications that only a few years ago would have been considered impossible to be performed without any sort of human interaction are now autonomously executed by increasingly more powerful machines and sophisticated algorithms. Fed by an enormous quantity of available data, machine learning algorithms can learn, without being explicitly programmed, to solve complex tasks such as speech, face, and object recognition or to play and even defeat the best human players at the ancient game of Go. Machine-learning is becoming an essential skill in many data-intensive scientific fields, including Geosciences.



Datasets in Geosciences are growing in size and variety at an exceptionally fast rate, highlighting the need for new data processing and assimilation techniques that are able to exploit the information deriving from this data explosion. In this framework, Machine-learning techniques have the potential to push forward the state of the art of data processing techniques. This is an introductory-level course of Machine Learning. The aim of this course is to provide an overview of the main machine learning methods and their application to geophysical, geological and environmental datasets.

- **Principles of numerical modelling in geosciences (12 ore)**

M. De' Michieli Vitturi (INGV)

This PhD-level course introduces numerical techniques for solving partial differential equations that characterize various geoscience applications. It covers spatial and temporal discretization methods, emphasizing the accuracy and stability of different numerical schemes. The lectures are complemented by hands-on exercises and practical examples in Python, equipping students with essential tools for numerical modeling in geosciences.

- **Data Management and Visualization with R for Geosciences: application with Geomorphometry, Geomorphological and Environmental data (12 ore)**

R. Cerrato

This course equips PhD students in Earth Sciences with the tools and techniques necessary to manage, analyse, and visualize large and complex datasets using R. Geoscientific data often comes in different formats, including Digital Elevation Models (DEMs), LiDAR point clouds, NetCDF files storing multidimensional environmental data (e.g., temperature, precipitation, soil moisture, snow depth), shapefiles containing geological and landform boundaries, and time-series data from monitoring stations, requiring specialized tools for effective analysis. Students will acquire techniques to handle, clean and preprocess these datasets for analysis, including topographic analysis, landscape metrics computation, and statistical tests. Students will generate high-quality visualizations useful to geoscientific research. Students will acquire skills to manage multidimensional environmental data cubes, perform terrain analysis, and use visualization packages such as ggplot2 for publication-ready graphics with perceptive inclusive color representation through dedicated packages such as scico and terrain-specific color palettes. Students will be proficient in managing data in R, conducting exploratory analysis, and creating publication-quality visualizations, including both graph and geospatial plots.

- **Satellite remote sensing of geophysical hazards (8 ore)**

C. Pagli

Il corso offre insegnamenti sulle moderne tecniche satellitari per monitorare la pericolosità associata ai processi vulcanici attivi e alle zone sismiche.

- **Processes of resilience to climate change in relation to water quality and temperature in the urban context (6 ore)**

G. Licitra (ARPAT)

Ongoing climate change will last even after many choices have been made to combat it. It becomes crucial to activate resilience processes that can cover this long transition period. The course aims to illustrate the effects of climate change in areas such as water quality, temperatures in the urban environment (heat islands) and feasible solutions also to improve energy efficiency in our buildings with new materials. The course will be organized in three independent modules:

- Urban heat island: new pavements as a possible remediation action (2 ore)
- Climate change and impact on quality of waters (2 ore)



- Climate change impacts over buildings and infrastructures (2 ore)

DIRITTO DEL SISTEMA TERRA, AMMINISTRAZIONE DEL RISCHIO ED EMERGENZA

- **Territorio dello Stato, sovranità sulle risorse naturali e tutela della resilienza degli ecosistemi (10 ore)**

I. Lolli

Durante il corso verranno affrontate le seguenti tematiche:

- il territorio dello Stato e le zone sottoposte alla sua giurisdizione; le zone non soggette a sovranità
- il diritto degli Stati di sfruttamento delle proprie risorse ed il divieto di inquinamento transfrontaliero
- la questione dei *product-related* e *non-product-related* PPMs (*process and production methods*); *focus* sull'approvvigionamento di materie prime critiche e strategiche
- la tutela dell'ambiente come tutela della resilienza degli ecosistemi nel dialogo fra scienza e decisori pubblici.

- **Tutela e valorizzazione del patrimonio geologico: norme, competenze e modelli di governance (6 ore)**

E. Ferioli

Qual è la visione politica e normativa sottesa alla conservazione dei beni geologici in Italia, in Europa e a livello internazionale? Quali caratteristiche possiedono gli inventari e le banche dati sui siti rilevanti per la geologia e la storia della Terra, a livello regionale, nazionale, europeo e mondiale? Quale apporto fornisce la ricerca nelle geoscienze, in riferimento alla valutazione, conservazione e attività di valorizzazione del patrimonio geologico? Il corso, partendo dalla normativa e dalle politiche sui geositi, ricostruisce i concetti di conservazione e catalogazione del patrimonio geologico, il legame tra geologia e paesaggio, gli aspetti principali delle norme sulla protezione del patrimonio geologico.

- **Emergenze e Protezione Civile (legislazione e gestione), Rischi Naturali e Antropici (8 ore)**

E. Ardovino

La Legislazione di Protezione Civile, come momento essenziale, per capire le dinamiche durante la fase di Previsione, Prevenzione, Intervento in Emergenza e Superamento dell'Emergenza. Le Allerte, un Sistema complesso - chi le fa, chi le emette, a chi sono rivolte, cosa fare. I Cambiamenti Climatici, come insistono sul rapido sviluppo di Emergenze; che cosa sono Mitigazione ed Adattamento. Le Sale Operative, una corretta gestione del Sistema prevede una serie di centri di coordinamento, quali sono e come si organizzano. La Difesa Civile, in cosa differisce dalla Protezione Civile. I Piani di Protezione Civile Comunali, cosa sono, chi li fa e a cosa servono. L'Equazione del rischio in Protezione Civile. Dichiarazione Stato Emergenza, chi la fa e a cosa serve. I Cittadini ed il Volontariato organizzato.

STUDIO DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI: TEORIA, INDAGINI DI TERRENO E REPORTING

- **Approccio alla speleologia scientifica (8 ore)**

A. Columbu

Il corso offre una panoramica sull'importanza della grotta come "laboratorio naturale", e su come numerose discipline delle geoscienze possano trovarvi applicazione. L'obiettivo principale per i

partecipanti neofiti è esplorare la possibilità di espandere la propria attività di ricerca in ambiente di grotta. Per chi già lavora in questo ambiente, ampliare le conoscenze.

A una parte teorica, integrata da brevi seminari, potrebbe seguire una uscita in grotta (da concordare con studenti se logisticamente fattibile).

- **Stratigrafia sequenziale (8 ore)**

G. Sarti

Il corso-breve è focalizzato sull'importanza della stratigrafia sequenziale e del suo approccio multidisciplinare nella ricerca ed individuazione di reservoir di fluidi. Concepita alla fine degli anni '80 dai geologi della compagnia petrolifera Exxon si è progressivamente affermata come filosofia di indagine dominante nella comunità scientifica geologica mondiale. Anche se da molti considerata come una vera e propria rivoluzione del pensiero geologico, non può essere paragonata al "salto di paradigma" avvenuto negli anni '60 con le prime evidenze sperimentali dell'espansione dei fondali oceanici che fiorirono, da lì a poco, nella teoria della tettonica a placche con il definitivo abbandono del "paradigma fissista". Tuttavia, la stratigrafia sequenziale ha avuto ed ha un duplice indubbio merito: quello di applicare in forma rigorosa la "vecchia" legge delle facies di Walther, attraverso il principio dell'attualismo e quella di essere connaturata ad un approccio metodologico sempre più multidisciplinare e, cioè, moderno. Nelle 4 ore di corso, oltre a illustrarne i principi di base, saranno anche descritti esempi di ricostruzione dell'architettura deposizionale di successioni sedimentarie sia di sottosuolo (sondaggi e profili sismici) sia affioranti.

- **Geological mapping from satellite and airborne sensors (8 ore)**

A. La Rosa

Il corso si focalizzerà sulle tecniche principali di remote-sensing da satellite e UAS (droni), per il mapping geologico da remoto. Il corso introdurrà alle basi del remote sensing con concetti di ottica ed elettromagnetismo mostrando i principali tipi di sensori e acquisizioni (multispettrale, iperspettrale, lidar). In seguito il corso tratterà la creazione di modelli digitali del terreno (DEM) e le procedure di estrazione di informazioni geologiche dalla combinazione di DEM e dati multispettrali. Si concluderà con una serie di casi studio e applicazioni.

- **Field geology as the key tool to bridge the gap between Earth Science disciplines: a journey through a fossil ocean (8 ore)**

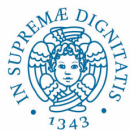
F. Meneghini/M. Marroni

Le varie discipline delle Scienze della Terra hanno un punto di partenza comune: l'osservazione della realtà. Il corso è strutturato in una escursione giornaliera (preceduta da una lezione introduttiva) sui Monti Livornesi, durante la quale, attraverso l'osservazione di affioramenti selezionati, ricostruiremo l'architettura e l'evoluzione del bacino oceanico Ligure-Piemontese. L'approccio agli affioramenti sarà il più possibile multidisciplinare (osservazione delle caratteristiche litologiche e mineralogiche, petrografiche, stratigrafiche, strutturali) e durante le escursione mostreremo come utilizzare i dati alla meso-scala per ricostruire l'assetto e l'evoluzione tettonica di un'area: questo che è il "punto di arrivo" del lavoro di un geologo strutturale, rappresenta la base di partenza necessaria di qualsiasi ricerca nei vari campi delle geoscienze.

- **Gas Geochemistry for Earth and Environmental Sciences (16 ore)**

A. Ricci

In this course, you will learn the essential concepts and practical tools needed to use gas geochemistry in your research. You will explore how gases form, move, and interact across volcanic, geothermal,



tectonic, and Critical-Zone environments, and how even simple gas datasets can reveal processes that other methods overlook. Through real examples, you will develop a clear, flexible foundation that helps you recognize when gas measurements are useful and how to integrate them into your own projects. The goal is to give you confidence to use gas geochemistry as an added lens in your scientific work, whether you apply it in depth or simply draw on it when it matters. Alongside the theoretical lectures, hands-on sessions, and a possible field activity, depending on logistics and student interest, will give you direct experience with gas sampling and observation in natural settings.

- **Integrated chronostratigraphy in sedimentary basins (8 ore)**

G. Bosio

The course introduces the principles and applications of integrated chronostratigraphy through multidisciplinary approaches for dating sedimentological successions. The course deals with field-based stratigraphic measurements and geological survey, tephrostratigraphy, tephrochronology (with special attention to the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method), biostratigraphy, and Strontium Isotope Stratigraphy (i.e., $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dating method to carbonates and phosphates).

- **Geowriting (4 ore)**

L. Folco

The course provides guidelines for presenting your geological work, including:

- PhD Thesis
- Scientific manuscripts (research articles, letters, reviews, commentaries)
- Oral presentations
- Poster presentations
- Reviewing manuscripts.

- **Finding a postdoc: research insights and grant resources (6 ore)**

M. Vacchi

This course is intended for final year PhD students who might be thinking about applying for postdoctoral positions in the near future.

The course will focus on preparing the steps following the PhD. In particular, it will concentrate on how to write an explanatory CV to apply for a postdoctoral position and how to highlight the skills acquired during the PhD.

The course will also cover the various funding opportunities for postdoctoral fellowships at the national, European, and extra-European levels.

Finally, the course will provide PhD candidates with guidelines for writing proposals for competitive calls, with particular attention to ERC, Marie Curie, FIS calls, etc.

Link per le iscrizioni ai corsi:

https://unipiit-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/a011730_unipi_it/IQDFOBfBIHOrRJmRS_iGQZEWAaMyEp3rE2To-xJQtNgHrZg?e=zxV838