



Progetto n. 1

**TITOLO: Studio del comportamento in alta pressione di materiali porosi: nuove applicazioni per nuove tecnologie**

*TITLE: High Pressure on Porous materials: new applications for new technologies*

Tutore: Prof. Rossella Arletti (Università di Torino; email: [rossella.arletti@unito.it](mailto:rossella.arletti@unito.it))

Co-Tutore: Dr. Francesco di Renzo ("Institut Charles Gerhardt Montpellier")

L'idea di questo progetto è di sfruttare la pressione per ottenere sistemi supramolecolari confinati ("hyperconfinement") all'interno della porosità dei zeoliti. Questo regime di "iperconfinamento" consentirà la sintesi di materiali che non possono essere ottenuti in condizioni standard (cioè P / T ambiente). Nel regime HP, infatti può essere ottenuto un arrangiamento molecolare più efficiente, caratterizzato da interazioni intermolecolari diverse da quelle normalmente osservate in condizioni ambiente. Inoltre, il grado di impacchettamento dei componenti molecolari può essere controllato variando la pressione esterna in modo da ottenere aggregati con struttura diversa in diverse fasi del processo di compressione / decompressione. Sono stati ottenuti grandi miglioramenti nel controllo delle dimensioni degli aggregati, mentre il controllo della morfologia su nanoscala rimane ancora una sfida. I framework zeolitici – che presentano una grande varietà di arrangiamenti regolari di nanopori, sono in grado di mantenere la loro cristallinità a pressioni dell'ordine di diversi GPa - rappresentano un "stampo" ideale per ottenere questo tipo di iperconfinamento offrendo l'opportunità di produrre nano-aggregati di morfologie diverse e controllate.

In questo progetto il candidato avrà il compito di sintetizzare i framework zeolitici di interesse utilizzando i protocolli di sintesi disponibili in letteratura e di eseguire esperimenti di diffrazione ad alta pressione ed i relativi raffinamenti strutturali.

Il Dottorato potrebbe essere svolto in co-tutela con l'Institut Charles Gerhardt Montpellier

*The idea of the present project is to exploit pressure to obtain confined small-sized supramolecular systems ("hyperconfinement") inside the porosity of zeolites. This hyperconfinement will allow the synthesis of materials which cannot be obtained at standard conditions (i.e. ambient P/T). In the HP regime, in fact a more efficient molecular close-packing can be achieved, characterized by intermolecular interactions different from those typically found at ambient conditions. Moreover, as the degree of packing of the molecular components can be controlled by varying the external pressure, aggregates with different structure might be obtained at different stages of the compression/decompression process. While great progress has been made in size control, morphology control at the nanoscale still remains a challenge. In zeolite frameworks, which are proved to maintain their crystallinity at pressures of the order of several GPa, regular arrangements of nanopores characterized by a great variety of sizes and shapes are available. Therefore, besides providing a suitable framework for space confinement, into which nanostructures could be grown, zeolites also offer the opportunity to produce compressed nano-aggregates of different and controlled morphologies*

*In this project the candidate will synthesize the zeolite framework of interest using the known protocols available in literature and will carry out high pressure X-ray diffraction experiments and refinements*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi alla Prof. Arletti



Progetto n. 2

**TITOLO: Cartografia della geodiversità e valutazione del geoheritage: sperimentazioni tramite l'implementazione di Geodatabase e l'uso di ontologie semantiche**

*TITLE: Mapping and assessment of geodiversity and geoheritage: innovation by geodatabase implementation and semantic ontologies.*

Tutore: Marco Giardino<sup>1</sup> Co-Tutori: Vincenzo Lombardo<sup>2</sup>, Fabrizio Piana<sup>3</sup>, Zbigniew Zwolinsky<sup>4</sup>

1) DST-Univ. Torino; 2) DI-Univ. Torino; 3) CNR-IGG, Torino; 4) Adam Mickiewicz University in Poznan (Polonia)

Lo studio della geodiversità, per la sua natura complessa, determina una serie di difficoltà nell'organizzazione delle informazioni, nella definizione dei concetti e nella ripercorribilità dei processi interpretativi. In questo ambito, garantire la leggibilità e fruibilità delle informazioni prodotte dalla comunità scientifica attraverso le cosiddette "Spatial Data Infrastructures" (es. EPOS ITA, EPOS IP), significa armonizzare (ed eventuale formalizzare) gli insiemi di dati.

In tal senso, il progetto di ricerca del dottorato in cotutela con l'Università di Poznan (Polonia) sarà rivolto all'applicazione e sviluppo di metodologie per:

- la gestione informatizzata dei dati geologici "ad hoc" rispetto ad un dato obiettivo;
- il passaggio da insiemi di dati a "base di conoscenza" attraverso l'analisi dei concetti geologici e la verifica della loro consistenza logica in un dato dominio tematico o sistema classificativo;
- la formalizzazione dei dati e delle loro relazioni con l'adozione di specifici standard descrittivi internazionali (GeoSciML, IUGS CGI e INSPIRE Data Specification on Geology) e con successiva codificazione basata sulla modellazione concettuale;
- la verifica e la riclassificazione dei dati alla sorgente con rilevamenti geologici specifici;
- la conversione della conoscenza in formato "machine-readable".

I dati e delle conoscenze così formalizzate, oltre a garantire effettive possibilità di applicazione attraverso domini affini ma diversi (es. geologia, geingegneria, geofisica, scienze ambientali) saranno utilizzati, nell'ambito del progetto di dottorato, per l'applicazione di indici quantitativi per la geodiversità, come proposto da Serrano & Ruiz-Flano (2007), Zwolinsky (2010) e Gray (2014).

Il caso di studio sarà fornito dal geodatabase Carta GeoPiemonte di CNR IGG Torino e ARPA Piemonte, che consiste di insiemi di dati organizzati e controllati da modelli concettuali espliciti e vocabolari standard (Piana et al. 2017; Lombardo et al., 2016). Partendo da tale geodatabase e dalle relative applicazioni WebGIS (Geoportale ARPA Piemonte) saranno individuati casi di studio rappresentativi di diversi contesti geologici e geomorfologici del Piemonte, rilevanti per la valutazione qualitativa della geodiversità nell'ambito delle iniziative del Working Group IAG on Geodiversity e complementari alle sperimentazioni proposte dal progetto di ricerca di ateneo "geoDIVE".

Le possibilità di inserimento delle attività di ricerca proposte nel panorama dell'implementazione delle Spatial Data Infrastructures, attualmente oggetto di molteplici azioni delle commissioni che controllano i finanziamenti alla ricerca geo-ambientale a livello europeo, costituisce una prospettiva di buona produttività scientifica in tempi medio-brevi e garantisce un percorso formativo, al confine tra le Scienze della Terra e la "Computer Science", di ampia valenza in termini di competenze professionali acquisite.

*Abstract*

*The study of Geodiversity, due to its complexity, involves a number of difficult tasks, related to the organization of information, the definition of concepts and the re-traceability of the interpretative processes. Moreover, to ensure the readability and usability of the information produced by the Earth Scientists through the so-called "Data Infrastructures" (e.g. EPOS ITA, EPOS IP), harmonization (and eventual formalization) of datasets is needed.*

*In this perspective, the PhD research project (co-tutored with University of Poznan) will be directed to the application and development of methodologies concerning:*

- *the object-driven computational management of geological data;*
- *the methodological step from data sets to "Knowledge base", through the analysis of geological concepts and the verification of their logical consistency;*
- *the formalization of data and their relations with the adoption of specific international descriptive standards (GeoSciML, IUGS CGI and INSPIRE Data Specification on Geology) and subsequent encoding based on conceptual modelling;*
- *the verification and reclassification of data at the source with specific geological surveys;*
- *the conversion of knowledge into "machine-readable format".*

*The data and knowledge so formalized, besides ensuring effective possibilities of application through different but related domains (e.g. geology, geo-engineering, geophysics, environmental sciences) will be used, in this PhD project, for the application of quantitative indices for geodiversity assessment, as proposed by Serrano and Ruiz-Flano (2007), Zwolinsky (2010) and Gray (2014).*

*The case study will be provided by the geodatabase GeoPiemonte of CNR IGG Torino and ARPA, which consists of organized sets of data and controlled by explicit conceptual models and standard vocabularies (Piana et al., 2012; Lombardo et al., 2016). Starting from this geodatabase and related WebGIS (Geoportal ARPA applications), representative case studies of different geological and geomorphological contexts of Piedmont will be selected, namely those relevant for the qualitative assessment of Geodiversity, within the activity framework of the IAG working group on Geodiversity.*

*The relations of the proposed researches with the activities concerning the implementation of Spatial Data Infrastructures, currently the subject of several*



# Università degli Studi di Torino

## Doctoral School of Sciences and Innovative Technologies Doctorate in Earth Sciences



actions of the committees which control the funding for geo-environmental research at European level, represents a perspective both in terms of scientific productivity in medium-short times, and as an effective training program - at the border between the geo-environmental disciplines and " Computer Science " with a large value in terms of professional skills acquired.

### References

Gray M. (2013) *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Wiley Blackwell, 1-495.

Lombardo et al.(2016 ) *The Classification Scheme of the Piemonte Geological Map and the OntoGeonous initiative*. *Rend.Soc.Geol.It*, 39, 117-120

Piana et al. (2017) *Geological Map of Piemonte, NW Italy, 1:250,000 scale*, [link](http://arpapiemonte.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fff173266afa4f6fa206be53a77f6321) [carta geopiemonte](#)

Serrano E. and Ruiz-Flano P. (2007) *Geodiversity. A theoretical and applied concept*. *Geographica Helvetica*, 62 (3), 140-147.

Zwolinski Z. (2010) *The routine of landform geodiversity map design*. *Landform analysis*, 11, 77-85.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi della sezione di Torino dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR (progetti a coordinamento F.Piana)



Progetto n. 3

**TITOLO:** Paleomagnetismo di *megathrust* esumati in Appennino settentrionale: studio di analoghi esumati per comprendere il comportamento sismico in contesti di subduzione attuali

**TITLE:** *Paleomagnetism in the Northern Apennines exhumed megathrust: study of exhumed analogues to understand seismic behavior in modern subduction settings*

Tutore/*Tutor:* **Elena Zanella** (Università di Torino; email: [elena.zanella@unito.it](mailto:elena.zanella@unito.it))

Co-tutore/Co-*Tutor:* **Andrea Festa** (Università di Torino; email: [andrea.festa@unito.it](mailto:andrea.festa@unito.it)); **Francesca Remitti** (Università di Modena e Reggio Emilia; email: [francesca.remitti@unimore.it](mailto:francesca.remitti@unimore.it))

Negli ultimi decenni, il verificarsi di devastanti terremoti di elevata magnitudo ( $M_w \geq 9.0$ ) e di correlate onde da tsunami, ha promosso considerevoli sforzi nella comprensione della tettonica e dei processi associati alla dinamica delle zone di subduzione e relativi terremoti. La presenza all'interfaccia di placca (canale di subduzione) di materiale eterogeneo caratterizzato da contrasti di competenza (i.e., *broken formations* e *mélanges*) e di una complessa architettura strutturale (i.e., sovrapposizione di differenti unità tettoniche), rappresentano una possibile causa dei diversi comportamenti sismici registrati (*creeping*, microsismicità, *slow slip events*, terremoti a bassa frequenza, tremori, ecc.). A differenza dei contesti di subduzione attuali, dove l'architettura interna dell'interfaccia di placca è difficile da osservare sismicamente, i dati di terreno e le analisi strutturali di diversi settori dell'Appennino Settentrionale forniscono l'opportunità di studiare e descrivere direttamente l'assetto strutturale interno ad eccellenti analoghi fossili esumati fino alla meso e microscala. Per poter meglio comprendere l'architettura interna delle attuali zone di interfaccia di placca e il loro ruolo nei processi di rottura sismica è necessario sviluppare nuovi criteri scientifici basati sul confronto tra contesti attuali e fossili. Il progetto intende studiare l'architettura strutturale di una zona di interfaccia di placca esumata e comprendere il suo grado di eterogeneità per mezzo dell'applicazione del paleomagnetismo, metodo ampiamente utilizzato nei progetti di perforazione oceanica (IODP) nei contesti di subduzione attuali. I dati dell'Appennino Settentrionale saranno confrontati con quelli del progetto IODP (e.g., IODP exp. 343 J-Fast ubicato nel *Japan Trench* nel sito del terremoto M9 2011 Tohoku-Oki). I risultati attesi contribuiranno a definire una metodologia applicabile sia ai contesti di subduzione esumati, sia a quelli attuali, dove possono verificarsi devastanti terremoti da *megathrust*, e quindi essere di supporto per la modellizzazione dei rischi naturali connessi.

#### *Abstract*

*In the last tens of years, the occurrence of devastating high-magnitude earthquakes ( $M_w \geq 9.0$ ) and related tsunami waves, promoted a new considerable effort in understanding the tectonics and dominant processes associated with subduction zone dynamics and earthquakes. The occurrence of heterogeneous material with contrasting competence (i.e., broken formations and mélanges) at plate interface (subduction channel), coupled with complex structural architectures (i.e., superposition of different tectonic units) represents possible sources of the different seismic behaviors recorded (i.e., creeping, microseismicity, slow slip events, low frequency earthquakes, tremors, etc.). In modern subduction settings the internal architecture of the plate interface is difficult to observe seismically. On the contrary, field data and structural analysis of different sectors of the N-Apennines, provided the opportunity to directly investigate and describe the characteristics of the internal structural architecture of an excellent ancient analogue of exhumed plate interface at meso to microscale. New criteria based on a scientific methodology, which can be applied both in modern and ancient subduction settings, are needed to compare the dataset and better understand the internal architecture of modern plate interface and their potential role in the seismic rupture. This project is aimed to investigate the structural architecture of an exhumed plate interface and unravel its heterogeneity through the application of paleomagnetism, widely used in oceanic drilling project (e.g., IODP) in modern subduction settings. Northern Apennines data will be compared to those of the IODP Project (e.g. IODP exp. 343 J-Fast located in the Japan Trench in the site of the M9 2011 Tohoku-Oki Earthquake). Expected results will contribute to define a methodology which could be applied in both ancient and actual subduction settings where devastating megathrust earthquakes commonly occur, and thus supporting the modelling of related natural hazards.*

\*\*\*\*\*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi alla Dott.ssa Elena ZANELLA.



Progetto n. 4

TITOLO: Le risorse lapidee del Piemonte ed il loro impiego nei Beni Culturali: metodi e strumenti innovativi per la valorizzazione, conservazione e divulgazione di un rilevante patrimonio economico e culturale

TITLE *The Piemonte stone resources and their use in Cultural Heritage: innovative methods and tools for the promotion, preservation and dissemination of a considerable economic and cultural heritage*

TUTOR: Prof. Alessandro Borghi

COTUTORI: Anna d'Atri, Tiziana Cavaleri (Centro Conservazione e Restauro "La Venaria Reale")

Le risorse lapidee rappresentano un importante elemento culturale in quanto impiegate come materia prima per realizzare i capolavori della scultura e dell'architettura che fanno ormai parte del patrimonio culturale dell'umanità. Pertanto, la conoscenza delle risorse lapidee, delle loro caratteristiche minero-petrografiche, del loro uso e delle tecniche di coltivazione dall'Antichità ad oggi, può fornire un ampio panorama del significato storico e culturale di questi materiali. Lo studio delle risorse lapidee riveste inoltre una particolare importanza per la corretta conservazione dei beni architettonici ed artistici.

La grande varietà di pietre ornamentali e da costruzione impiegate in Piemonte è sicuramente da attribuire alla natura geologica estremamente composita della nostra regione. Qui, infatti, sono presenti elementi geologici molto differenti tra di loro quali la porzione occidentale della catena metamorfica alpina e, in minor misura, il Bacino Terziario Piemontese.

Il progetto prevede il censimento e la caratterizzazione delle numerose pietre ornamentali estratte sul territorio piemontese. Tale studio ha lo scopo di determinare composizione, provenienza, stato di conservazione e protocolli di restauro di rocce impiegate nella realizzazione di edifici e monumenti di carattere storico in ambito alpino. Per la caratterizzazione minero-chimica di dettaglio dei principali litotipi verranno utilizzate differenti tecniche analitiche quali il microscopio elettronico a scansione, la sonda elettronica e la catodoluminescenza. La valutazione dello stato di conservazione e i protocolli di restauro verranno approfonditi in collaborazione con il Centro di Conservazione e Restauro "La Venaria Reale".

La ricerca si prefigge di diffondere, inserendosi anche all'interno del contesto della scienza dell'informazione e della comunicazione digitale, le conoscenze sulla pietra e della sua conservazione, mettendo a disposizione di chi opera nella pianificazione del territorio uno strumento di facile utilizzo, e di offrire agli operatori del restauro le conoscenze basilari indispensabili per qualsiasi intervento.

*The stone resources have always been a major source of raw material to create the masterpieces of sculpture and architecture that are now part of the cultural heritage of the humanity. Therefore, knowledge of stone resources, their minero-petrographic features, their use and quarrying techniques from antiquity to the present, can provide a broad overview of the historical and cultural significance of these materials. The study of stone resources is also of particular importance for the correct preservation of architectural and artistic heritage. The great variety of ornamental stones employed in Piemonte is certainly due to the highly composite geological nature of this region for the occurrence of the metamorphic Alpine chain and the sedimentary basin of Langhe and Monferrato.*

*This project will provide a detailed list of the many historic and contemporary ornamental stones, which over the centuries have been exploited in the western Alps. This study aims to determine the composition, origin, state of preservation and restoration techniques of ornamental stones employed in the construction of important buildings and historical monuments in the Alpine area. Different analytical techniques such as the scanning electron microscope, the electron microprobe and the cathodoluminescence will be used. The evaluation of state of conservation and the restoration protocols will be carried out in collaboration with the "Centro Conservazione e Restauro La Venaria Reale". The research aims to disseminate, also setting in the context of the science of digital information and communication, the knowledge on the stone and its conservation, making available to those working in the environmental planning tools easy to use and provide operators with the knowledge of the restoration.*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi alla Prof. Borghi.



Progetto n. 5

TITOLO: INTERAZIONE FLUIDO-ROCCIA E EFFETTI SU RESERVOIRS

TITLE: ROCK-FLUID INTERACTIONS AND AFFECTS ON RESERVOIRS PROPERTIES

Tutore/*Tutor*: **Alessandro Pavese** (Università di Torino; email: [alessandro.pavese@unito.it](mailto:alessandro.pavese@unito.it))

Co-tutore/*Co-Tutor*: Anna Maria Ferrero, Simonetta Marinoni, Maria Rita Migliazza (università di Milano)

### Riassunto

**Introduzione.** Il ruolo dei reservoir per contenere fasi fluide quali CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> ha un impatto di primaria importanza per la gestione di tali sistemi. Un punto critico, a tutt'oggi poco studiato, riguarda l'interazione tra minerali/roccia e fasi fluide (Solid-Fluid Interaction; SFI). SFI può andare a cambiare parametri fondamentali che definiscono prestazioni del reservoir in funzione del tempo e condiziona il suo stesso tempo di vita.

**Obiettivo.** Il progetto intende sviluppare conoscenze alla scala "micro", che siano poi trasferibili a quella "macro" per comprendere e predire l'evoluzione di un reservoir. In particolare, sono obiettivi conoscere, modellizzare e valutare in chiave predittiva la reattività di sistemi roccia-fluido, in funzione della composizione della roccia, tipologia del fluido e condizioni di esercizio (pressione e temperatura). Lo sviluppo di micro-strutture indotte da SFI (fenomeni di deterioramento a seguito di reazioni roccia-fluido) o la presenza di micro-strutture naturali (porosità intrinseca della roccia) eventualmente alterate da SFI, influenzano le capacità dei reservoirs, sia condizionandone le prestazioni da subito sia eventualmente modificandole nel tempo. Le trasformazioni dell'assetto mineralogico via SFI (i) modificano la permeabilità delle rocce costituenti, cambiando l'efficienza del reservoir; (ii) alterano la risposta meccanica del sistema reservoir, influenzandone il comportamento plasto-elastico e agendo sulla stabilità sua e delle aree circostanti. Sotto tale luce, i risultati conseguibili sono cruciali ai fini di valutare nuovi reservoirs, o stimare le variazioni di efficienza/tempi di vita degli attuali.

**Metodi.** Le indagini sono condotte combinando diverse competenze, che abbracciano un ampio intervallo dalla scala micro a quella macro. In particolare, sono coinvolti metodi di ricerca sia sperimentale sia computazionale quali diffrazione a raggi-X da polveri, ottica in luce polarizzata, microscopia elettronica, tomografia a raggi-X, trattamento imaging 3D, modellizzazione numerica e analisi parametrica FEM/DEM di sistemi idromeccanici.

### Abstract

**Introduction.** Reservoirs play a relevant role to general management of fluid phases such as CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. A critical aspect, little investigated hitherto, is about the nature of the interactions between mineral/rock-system and fluids (Solid-Fluid Interaction; SFI), and how SFI affect those fundamental parameters that describe the performances of a reservoir, as a function of time, and fix up its time of life.

**Aims.** The project starts from "microscopic" to develop knowledge and know-how transferable to "macroscopic", to understand/predict the evolution of reservoirs. The project aims to understand and model SFIs as a function of the rock phase composition, nature of fluid and environmental conditions (pressure and temperature). The appearance of SFI-induced micro-structures (alteration triggered via the interaction of a rock and a fluid) and the occurrence of intrinsic micro-structures (rock porosity), affect the efficiency of a reservoir, both by changing its performances first and modifying them upon time. In such a view, the achievable results are useful to evaluate new reservoirs, and to estimate the efficiency variations of the present ones, in regard of their permeability. Moreover, transformations of the mineralogical assemblage impact upon the mechanical responses of reservoirs, affecting their plastic-elastic behavior.

**Methods.** The investigation is carried out by combining diverse competences, which range from micro to macro scale. In particular, are involved both experimental and computing techniques such as X-Ray powder diffraction, polarised optics, electron microscopy, X-ray tomography, 3D-imaging treatment, numerical modelling and FEM/DEM parametric analysis of hydro-mechanical systems.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al prof Pavese.



**Progetto n. 6**

**UTILIZZO GIS NELLA ZONAZIONE DELLE FRANE VELOCI / USING GIS IN FAST MOVING LANDSLIDE ZONING**

**Tutor Prof. Giuseppe Mandrone, Co-tutor Dott. Andrea Filipello, PhD**

L'evento franoso generalmente dipende da un grande numero di fattori parzialmente correlabili tra loro. Un tecnico con grande esperienza può riuscire ad esaminare tutti i diversi aspetti che caratterizzano una frana e quindi individuare i parametri critici. E' comunque possibile determinare una procedura oggettiva capace di supportare la valutazione del grado di stabilità di una frana. Tale procedura comprende sia lo studio delle caratteristiche meccaniche del terreno che la rappresentazione spaziale della frana.

Un sistema geografico informatizzato (GIS) risulta essere un valido strumento che permette la catalogazione e la manipolazione di tutti i dati utilizzabili nell'elaborazione di adeguate verifiche di stabilità e nella creazione di specifiche carte di zonazione del rischio frane veloci (debris flow/rock avalanche/caduta massi). Tra i vantaggi nell'utilizzo di GIS in questo genere di analisi territoriali si ricordano:

- La velocità di calcolo rende possibili analisi che richiedono sovrapposizione di molte carte e l'interpretazione di grandi quantità di dati;
- E' possibile correggere i modelli creati valutando i risultati ottenuti e modificando velocemente i valori in input;
- La cartografia può essere velocemente aggiornata ad esempio con nuove osservazioni di campagna rilevate durante i sopralluoghi o con gli interventi di consolidamento previsti in fase progettuale.

L'analisi deterministica/probabilistica di una frana esprime le condizioni reali di stabilità attraverso un Fattore di Sicurezza. Per poter calcolare questo indice è necessaria la conoscenza approfondita delle litologie presenti in sito, della profondità del movimento, delle caratteristiche geotecniche/geomeccaniche e geoidrologiche del terreno.

Scopo della ricerca è quello di:

1. implementare applicativi in ambiente GIS open source per la modellizzazione delle frane veloci;
2. ottimizzare i sistemi di acquisizione dati (sia di superficie che di profondità che atmosferici) in termini di semplicità, qualità e trasmissione;
3. restituzione le informazioni e le elaborazioni in rappresentazioni multitemporali sia bi che tridimensionali;
4. gestione degli eventuali scenari di pericolosità e rischio.

*The landslides generally depends on a large number of factors partially correlated between them. A technician with extensive experience may be able to examine all the different aspects that characterize a landslide, and then locate the critical parameters. By the way, it is possible to determine an objective procedure that supports the evaluation of the degree of stability of a landslide. This procedure includes both the study of mechanical characteristics of the soil that the spatial representation of the landslide.*

*A computerized geographic information system (GIS) is a valid tool that allows cataloging and handling of all data used in developing suitable tests of stability and the creation of specific zoning maps risk. Fast landslides (debris flow/ rock avalanche/falling). Among the advantages of using GIS in this kind of territorial analyzes include:*

- *The speed of calculation makes it possible analyzes and interpretation of large amounts of data that require overlap of many informations;*
- *It is possible to correct the models created by evaluating the results and rapidly changing input values;*
- *The cartography can be quickly updated with such new field observations found during the inspections or the interventions of consolidation foreseen in the design phase.*

*The deterministic/probabilistic analysis of a landslide expresses the real conditions of stability through a Safety Factor. In order to calculate this index is necessary the knowledge of the lithologies present in the site, the depth of the movement, the geotechnical / geomechanical / geohydrological characteristics.*

*Aims of the research are:*

1. *implement applications in open source GIS environment for the modeling of fast landslides;*
2. *optimize the data acquisition systems (both surface and depth that atmospheric) in terms of quality and transmission;*
3. *return the information and processing in multi-temporal representations both bi and three-dimensional;*
4. *management of the possible hazard and risk scenarios.*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al prof Mandrone.



Progetto n. 7

Caratterizzazione geomeccanica di 2 siti geotermici nel Messico centrale  
Rock masses characterization in two geothermal areas in central Mexico.

Tutor: Giuseppe Mandrone.

Cotutor: Anna Maria Ferrero, Cesare Comina, Sergio Vinciguerra

Ci sono più che 500 aree geotermiche nel Trans-messicana Vulcanica Cintura del Messico centrale. Di questi, due sono attualmente in fase di sfruttamento commerciale, Acoculco, EGS (rocce calde secche) e Los humeros, super caldo ( $T > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

There are more than 500 geothermal areas in the Trans-Mexican Volcanic Belt of central Mexico. Of these, two are presently under commercial exploitation, Acoculco, EGS (hot dry rock) and Los Humeros, super hot ( $T > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

The GEMex project, a complementary effort of a European consortium with a corresponding consortium from Mexico aims to improve the resource assessment and the reservoir characterization using novel geophysical and geological methods. One of the main issues is the presence of pervasive fracture systems affecting the carbonatic basements underlying the volcanic complex (basalts and andesites)

We propose the characterization of rock masses (rock and fractures) in the two test site starts with a multiscale analysis, from the field to the outcrop up to the micro scale integrating a number of techniques. In detail:

- 1) Geological and technical field studies aimed to the characterization of the mechanical transitions throughout brittle deformation zones, from the intact rock, to the damage zone to the shear/slip zone. Moreover, key geophysical parameters (seismic and electrical properties) will be measured; Photogrammetry and/or laser scanner imaging of studied outcrops will be carried out;
- 2) Petrophysical and minero-petrographic detailed studies on representative samples will be performed at room temperature. Verification of the mechanical properties of the samples subjected to cycles of heating up to the temperatures of the reservoir ( $> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) will be done. Measurements of the geophysical properties of the samples will be done in comparison with the measures in place.
- 3) Numerical modeling to estimate the petrophysical, geophysical and geomechanical properties of the rock mass under the P and T conditions of the reservoir (i.e., using Comsol, VGeST, UDEC, 3DEC, ...).

Ci sono più che 500 aree geotermiche nel Trans-messicana Vulcanica Cintura del Messico centrale. Di questi, due sono attualmente in fase di sfruttamento commerciale, Acoculco, EGS (rocce calde secche) e Los humeros, super caldo ( $T > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Ci sono più di 500 aree geotermiche nella messicana Cintura Vulcanica del Messico centrale. Di questi, due sono attualmente in fase di sfruttamento commerciale, Acapulco, EGS (rocce calde secche) e Los Humeros, super caldo ( $T > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Il progetto Gemex, uno sforzo associato di un consorzio europeo con un corrispondente consorzio messicano mira a migliorare la valutazione delle risorse e la caratterizzazione del serbatoio utilizzando nuovi metodi geofisici e geologici. Uno dei problemi principali è la presenza di sistemi di frattura pervasivi che interessano le formazioni carbonatiche poste al sotto i complessi vulcanici (basalti e andesiti)

Il progetto prevede la caratterizzazione di ammassi rocciosi (rock e fratture) nei due siti con un'analisi multiscala iniziale, alla scala dell'affioramento fino alla micro scala che integra una serie di tecniche. In dettaglio:

- 1) geologico con tecniche volte alla caratterizzazione delle transizioni meccaniche nelle zone di deformazione fragili, della roccia intatta, della zona di taglio / slip. Inoltre, saranno misurati parametri geofisici fondamentali (proprietà sismiche ed elettriche) e saranno effettuati rilievi con la fotogrammetria e / o laser scanner degli affioramenti studiati.
- 2) saranno eseguite analisi petrofisiche e studi dettagliati minero-petrografiche su campioni rappresentativi a temperatura ambiente. Saranno condotte verifiche delle proprietà meccaniche dei campioni sottoposti a cicli di riscaldamento fino a temperature del serbatoio ( $> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Le misurazioni delle proprietà geofisiche dei campioni sarà effettuata in confronto con le misure in sito.
- 3) Modellazione numerica per stimare le proprietà petrofisiche, geofisiche e geomeccaniche dell'ammasso roccioso alle condizioni P e T del serbatoio (vale a dire, con Comsol, VGeST, UDEC, 3DEC, ...)

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al Prof. Mandrone.

Progetto n. 8



TITOLO: Studio delle caratteristiche di particelle respirabili di silice libera cristallina e amorfa interagenti con materiale biologico.  
TITLE: Study of characteristics of respirable crystalline and amorphous silica interacting with biological matter.

Tutors: Prof.ssa Elena Belluso 1,3, Dr. Francesco Turci 2,3 Dr. Claire Horwell 4  
1 Dip. di Scienze della Terra, Università di Torino; 2 Dip. di Chimica, Università di Torino; 3 Centro Interdipartimentale per lo Studio degli Amianti e di altri Particolati Nocivi "G. Scansetti", Università di Torino; 4 Department of Earth Sciences and Institute of Hazard, Risk and Resilience, Durham University, United Kingdom

Il programma di dottorato dovrà essere svolto presso entrambe le Università.  
The PhD programme has to be performed in both Universities.

#### Preambolo

Al fine della comprensione delle interazioni tra minerali e salute umana è necessario capire il possibile ruolo delle caratteristiche dei minerali e delle trasformazioni che questi subiscono successivamente alla deposizione all'interno dell'organismo. Oltre alla nocività degli amianti e di altri minerali asbestiformi, anche polveri respirabili costituite da silice rappresentano una importante frontiera nella comprensione dell'interazione tra minerali e materia vivente.

La silice può essere sia cristallina (es. quarzo) che amorfa. La silice libera cristallina (SLC) rappresenta un grave rischio occupazionale, provocando gravi malattie polmonari incluso il cancro. La silice amorfa è invece il più comune nanomateriale prodotto attualmente e utilizzato in svariate applicazioni, ad esempio come eccipiente nei farmaci, come sistema per drug delivery e nei biovetri. Studi recenti hanno correlato caratteristiche di superficie della silice con citotossicità, assorbimento cellulare e biocompatibilità, che sono a loro volta il risultato di una complessa catena di eventi che si svolgono all'interno di una cellula. A causa della complessità intrinseca dei fenomeni coinvolti, spesso viene elusa la questione centrale: quali caratteristiche di superficie controllano l'interazione tra una minerale e una cellula? L'idea alla base di questo progetto è:

scegliere sistemi modello sia per il minerale che per la cellula e considerarli come due entità "comunicanti" che partecipano attivamente nello stabilire multiple interazioni di tipo host-guest.

Per garantire la necessaria internazionalizzazione del progetto, si prevede di stabilire un accordo di tutela internazionale con la Dr. Claire Horwell, senior lecturer all'Università di Durham (UK). Ulteriore supporto al progetto verrà fornito promuovendo la partecipazione a didattica di terzo livello che rafforzi le conoscenze scientifiche e le soft skills dello/a studente.

#### Materiali e/o metodi

Saranno recuperati e sintetizzati campioni di polimorfi di silice cristallina (es. quarzo) e silice amorfa (es. opale, silice pirogenica o precipitata).

I campioni naturali (ridotti a dimensioni respirabili) e i campioni di sintesi (di dimensioni sub-micrometriche) saranno sottoposti a caratterizzazione mineralogica tramite microscopia elettronica in trasmissione e scansione (TEM, SEM – UniTO e Durham) e analisi chimica (EDS, WDS e XPS).

Le particelle ottenute saranno sottoposte a trattamenti in vitro con colture cellulari (Dip. di Scienze Cliniche e Molecolari dell'Università Politecnica delle Marche e Centre for Toxicology and Applied Pharmacology dell'

Université catholique de Louvain, Bruxelles). Le particelle trattate saranno quindi caratterizzate mediante le medesime tecniche per valutare possibili trasformazioni chimico-fisiche. I possibili modelli di trasformazione saranno verificati tramite studio delle particelle di silice cristallina respirate da soggetti professionalmente esposti (indagini ex-vivo). In una seconda fase, la capacità di questi minerali di interagire con vari modelli di membrana cellulare o artificiale (eritrociti e liposomi) verrà studiata attraverso studi di modellazione e dinamica molecolare effettuati su superfici di silice interagenti con alcune biomolecole e membrane modello (UniTO & Focas Institute, Dublin Institute of Technology, Dublino).

#### Scopo del progetto

Tramite la caratterizzazione micro strutturale, morfologica e chimica delle particelle di silice prima e dopo il trattamento in vitro e anche prelevate da tessuto polmonare, il progetto si prefigge di fornire le conoscenze sulle possibili variazioni chimico-fisico-morfologiche che esse subiscono a contatto con l'ambiente polmonare e sui meccanismi di interazione molecolare con le membrane cellulari. I dati ottenuti saranno utili per la comprensione dei meccanismi di nocività o biocompatibilità, fornendo una descrizione generale dei fenomeni studiati.

Accanto agli obiettivi scientifici, il progetto promuoverà, attraverso azioni di orientamento e iniziative che potenzino le soft skills (workshop tematici <https://e20.unito.it/scuoleddottorato/default.aspx?id=3042>, Après le doctorat <http://apresledoctorat.universite-lyon.fr/>, Percorso formativo in Fundraising, etc...), la valorizzazione delle competenze utili per l'accesso al sistema produttivo europeo.

Risultati attesi



Il progetto fornirà: i) determinazione di specifiche variazioni chimiche e fisiche delle particelle di silice amorfa e cristallina sottoposte ai diversi trattamenti; ii) una nuova via sintetica per la sintesi di nano-quarzo; iii) una comprensione meccanicistica del riconoscimento molecolare tra superfici di silice e membrane; iv) un nuovo approccio integrato per studiare l'interazione delle superfici inorganiche con la membrana cellulare, anche per mezzo di un approccio computazionale multi-scala (in collaborazione con Dip. Chimica – UniTO e Focas Institute, Dublin Institute of Technology, Dublino).

La divulgazione dei risultati avverrà attraverso: i) redazione di pubblicazioni scientifiche, ii) presentazione di comunicazioni a convegni nazionali e internazionali.

#### Introduction

To the aim of the comprehension of the interactions between minerals and human health, it needs to understand the possible role of the mineral characteristics and the transformations they suffer in various apparatus afterwards their deposition into the organism. Beyond the asbestos and other asbestiform minerals hazard, also respirable silica dust is a crucial frontier in the mechanistic understanding of the interaction between minerals and living matter. Silica can be both crystalline (e.g. quartz) or amorphous. Quartz dust is a serious occupational hazard, causing severe lung diseases including cancer. On the other hand, amorphous

silica, the nanomaterial with largest bulk production, is used in many applications, e.g. excipient in drug and food, drug delivery and bioglass. Many recent studies aim to correlate relevant surface features with cytotoxicity, cellular uptake, and biocompatibility, that are in turn the outcome of a complex chain of events taking place inside a living cell. Because of the intrinsic complexity of the phenomena involved, the basic

question remains yet unanswered: which surface features control the interaction between an inorganic surface and living cell? The approach described here is to choose simple model systems for both the solid and the cell, and to look at these as two “communicating” entities, actively participating in establishing multiple host-guest interactions.

The PhD project will be carried out with the scientific co-tutoring of Dr. Claire Horwell, senior lecturer at University of Durham (UK), to foster a climate of high-level scientific international cooperation.

#### Samples and/or methods

Samples of amorphous (e.g. opal, pyrogenic and precipitated silica) and crystalline silica polymorphs (e.g. quartz) will be recovered and/or synthesized. Natural –fractured down to respirable size- and synthetic submicrometric samples will be characterized from the mineralogical point of view by using transmission and scanning electron microscopy (TEM and SEM UniTO e Durham) and chemical elemental analysis (WDS, EDS and XPS). Particles will be in vitro processed at the Department of the Molecular and Clinical Sciences of the Università Politecnica delle Marche and Centre for Toxicology and Applied Pharmacology, Université catholique de Louvain, Bruxelles. Cell-contacted particles will be further characterized to investigate the possible chemical-physical transformations. The possible transformation models will be verified by studying the crystalline silica recovered from exposed workers (ex-vivo investigations).

In a second phase, the ability of these mineral particles to interact with various model membranes (erythrocyte or liposome) will be investigated by means of computational modelling of silica surfaces interacting with selected biomolecules and model membranes by molecular dynamics, in order to complement experimental findings and highlight effective interactions (UniTO & Focas Institute, Dublin Institute of Technology, Dublin).

#### Aim of the research

The aim of the project is to reveal the possible chemical, physical, and morphological variations of the silica particles both submitted to the treatment with cells simulating lung environment and extracted by lungs and to describe the interaction with cell membranes. This aim will be reached by the micro-structural, morphological, and chemical characterization of the silica particles.

Beyond the scientific objectives, the project aims at promoting the student's soft-skills (e.g. participation in workshops <https://e20.unito.it/scuodottorato/default.aspx?id=3042>, “Après le doctorat” <http://apresledoctorat.universite-lyon.fr/>, or Fundraising training school, etc...).

#### Expected results

The project will deliver: i) the identification of the chemical and physical modifications occurring to the silica particles submitted to various biological processes; ii) a new synthetic route to obtain nano-quartz; iii) a mechanistic understanding of the host-guest molecular recognition between silica surfaces and bio-membrane; iv) a novel integrated approach to investigate the interaction of inorganic surfaces with cell membrane, also by mean of a multi-scale computational scheme (with support of the Dip. Chimica – UniTO

and Focas Institute, Dublin Institute of Technology, Dublin).

The dissemination of the project results will be through: publishing of scientific papers, ii) communications at Italian and international conferences.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi alla Prof. Belluso.



**Università degli Studi di Torino**  
Doctoral School of Sciences and Innovative  
Technologies Doctorate in Earth Sciences





Progetto n. 9

**TITOLO:** Il ruolo della topografia e delle proprietà chimico-fisiche sulla dinamica di messa in posto delle colate laviche sull'isola di Tenerife (Canarie, Spagna): implicazioni per il rischio vulcanico.

**TITLE:** The role of topography and physico-chemical properties in the emplacement dynamics of lava flows on the island of Tenerife (Canaries, Spain): implications on the volcanic hazard.

**Tutor:** Dott. Daniele Giordano

La reologia è uno dei parametri chiave che governano la dinamica eruttiva e di messa in posto delle colate laviche. I flussi lavici sono confinati spazialmente e guidati durante la messa in posto dalla formazione di zone di “crosta” che dimostrano un crescente contrasto reologico con la massa fusa del flusso lavico stesso. Queste aree sono caratterizzate da alta viscosità e rapida cristallizzazione (Calvari and Pinkerton, 1998; Cashman et al., 2013; Hon et al., 2003; Kauahikaua et al., 1998). L’influenza dell’evoluzione reologica del magma sulla sua dinamica di messa in posto è particolarmente evidente negli ultimi stadi del flusso, quando la resistenza al flusso aumenta e le lave producono, sulla loro superficie, pieghe o fratture. I gradienti reologici che derivano dal raffreddamento differenziale della superficie della lava rispetto al corpo centrale fluido determinano l’originarsi di strutture di direzionamento quali, e.g. le “levees” ed i “tunnel” di lava, governando le transizioni che avvengono durante la messa in posto (e.g. pahoe-hoe, Aà, lave a blocchi) (e.g. Sparks et al. 1976, Lipman and Banks, 1987; Giordano et al. 2007, 2010; Kolzenburg et al. 2017a, b). La comprensione dell’evoluzione reologica di fusi silicatici e lave durante la cristallizzazione richiede la misurazione delle loro proprietà di trasporto alle condizioni tipiche di messa in posto (Kolzenburg et al., 2017a, b). Tale obiettivo richiede la caratterizzazione delle proprietà reologiche dei fusi silicatici e delle lave a condizioni di regime termico non-isoterma ed in disequilibrio termodinamico. In tali condizioni le lave sperimentano aumenti transienti della viscosità che gradualmente, in corrispondenza di un vero e proprio “cut-off” reologico, determinano una improvvisa risalita esponenziale della viscosità, che preannuncia la fase di arresto della colata (Giordano et al., 2007; Kolzenburg et al., 2017a). Il flusso ed il raffreddamento sono anche controllati dalla topografia (e.g. superfici piane determinano bassi tassi di raffreddamento) e gli studi tesi a valutare la dinamica di messa in posto in aree a forte pendenza sono scarsi e prevalentemente limitati alla comprensione della messa in posto di flussi lavici estinti. Inoltre questi studi non valutano l’importanza di parametri essenziali quali la presenza delle vescicole, la reologia non-isoterma della lava e la caratterizzazione tessiturale delle lave in funzione dei tassi di raffreddamento e deformazione che si riscontrano in tutte le condizioni naturali. L’obiettivo del progetto proposto è di ricostruire le condizioni termiche e deformative durante la messa in posto di flussi lavici di Tenerife e di altre isole dell’arcipelago delle Canarie (Spagna). Tale obiettivo richiederà la combinazione di: a) un lavoro di campagna teso a caratterizzare le caratteristiche morfologiche, strutturali e tessiturali di specifici flussi lavici; b) la misurazione sperimentale delle proprietà reologiche di liquidi e fusi multifase naturali (magmi) alle condizioni termico-deformative tipiche dei flussi lavici naturali durante la messa in posto; c) l’implementazione di leggi empiriche che controllano la dinamica eruttiva dei flussi lavici alle isole Canarie. Le ragioni per affrontare questo studio sull’isola di Tenerife ed altre isole dell’arcipelago delle Canarie sono varie. In particolare, l’isola di Tenerife mostra flussi lavici con una grande varietà di morfologie e caratteristiche tessiturali che sono spesso associate ad un diverso chimismo ed una eccezionale esposizione degli affioramenti. Inoltre, a tutt’oggi non esistono informazioni che permettano di valutare il rischio potenzialmente associato alla possibile emissione laviche basso- viscosi nell’isola. Questo tipo di lave, e particolarmente quelle emesse da bocche eccentriche di bassa quota, rappresentano infatti un pericolo potenziale per le aree densamente popolate (Giordano et al., 2007) dell’isola. Le implicazioni del progetto proposto prevedono pertanto, oltre alla comprensione del ruolo della topografia e delle proprietà chimico-fisiche sulla dinamica di messa in posto delle colate (flusso e fratturazione), l’ottenimento di utili informazioni per lo sviluppo di una migliorata valutazione del rischio vulcanico associato all’emissione di colate laviche nell’isola di Tenerife. Rheology is one of the key parameters governing the emplacement of lava flows. Lava flows are commonly spatially restricted and directed by the increasing strength of a continuously growing rheological contrast zone or “crust” that is cooled to a point where the viscosity is relatively high and crystallization is rapid (Calvari and Pinkerton, 1998; Cashman et al., 2013; Hon et al., 2003; Kauahikaua et al., 1998). The influence of the dynamic rheology of lava on its emplacement style becomes especially apparent in the late stages of flow, where its resistance to flow is becoming stronger and the lavas exterior is subjected to folding and fracturing. Rheological gradients resulting from the differential cooling of lava surface and interior play a significant role in the generation of flow directing features like levees and tubes as well as transitions in eruption style (e.g. pahoe-hoe, Aà, lave a blocchi) (e.g. Sparks et al. 1976, Lipman and Banks, 1987; Giordano et al. 2007, 2010; Kolzenburg et al. 2017a, b). A detailed understanding of the rheological evolution of crystallizing melts and lavas requires direct measurement of the flow properties of lavas at emplacement conditions (Kolzenburg et al., 2017a, b). Evaluating the influence of the evolving flow properties of lavas on their emplacement dynamics, however, requires characterization of the rheological properties of lavas at nonisothermal and non-equilibrium conditions. In such conditions, the lava undergoes transient increases in viscosity, reaching increasingly high degrees of undercooling which controls transient rheological gradient until when until a “rheological cut-off temperature” (Giordano et al., 2007; Kolzenburg et al., In review) is reached, where the effective lava viscosity rises steeply. Flow and cooling are



# Università degli Studi di Torino

## Doctoral School of Sciences and Innovative Technologies Doctorate in Earth Sciences



also controlled by topography (i.e. flat surfaces determine average cooling rates at the lowest end between those estimated for other basaltic lavas) and studies accounting for emplacement on high slopes surface are scarce and prevalingly limited to the understanding of the emplacement of extinct lava flows. These studies do not account of many essential parameters (presence of vesicles, non-isothermal rheology et cetera; characterization of the evolving textural features as undergoing varying degrees of cooling and deformation). The objective of this project is to reconstruct the thermal and shear conditions during the emplacement of lava flow at Tenerife and other islands of the Canarian islands archipelago (Spain). This target will be reached by using a multidisciplinary approach which would combine both: a) field studies devoted to establish the morphological, structural and textural features of selected lava flows and b) the experimental measurements of the rheological properties of pure-liquid and multiphase natural melts and magmas at the thermal-deformative conditions representative of natural emplacement conditions; c) the implementation of empirical laws governing lava flows eruption dynamics at the Canary islands. The reason to develop such investigation on the island of Tenerife, as well as some of the other islands of the Canary archipelago are various. In particular, Tenerife displays one of the largest variety of morphological, textural and chemical features of lava flows in Europe at an exceptional exposure. In addition, a critical lack of information exists to evaluating the risk associated to the possible emplacement of low-viscosity fast-moving lava flows in the island. These kinds of lava flows, especially those emitted from parasitic, low altitude vents, represents a significant hazard in a densely populated area (Giordano et al, 2007) of the island. Therefore, the implications of this proposed project include, beside those related to the understanding of the role of topography and physico-chemical properties in the emplacement dynamics of lava flows and (flow and fracturation), the development of improved hazard assessment during effusive eruptions and new evaluations of the emplacement conditions for large-volume pahoehoe, Aa and blocky lava flows.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al Prof. Giordano.



Progetto n. 10

TITOLO: Le proprietà fisiche dei fusi silicatici e del magma.  
TITLE: The physical properties of silicate melts and magmas.  
Tutor: Dott. Daniele Giordano

I processi magmatici e vulcanici (fusione parziale, formazione, risalita, cristallizzazione, cinetica di degassamento, frammentazione e stile eruttivo) sono governati dalle proprietà di trasporto (e.g., densità e viscosità) e dalle proprietà termodinamiche di primo (H, S, V) e secondo ordine (Cp, compressibilità adiabatica, espansività isobara) che governano gli scambi di energia tra le varie fasi e componenti delle miscele magmatiche costituite da fusi silicatici. Recenti studi hanno dimostrato che le proprietà fisiche sono intimamente intercorrelate e correlate con la struttura dei fusi silicatici. Questo progetto, sviluppato in collaborazione con laboratori internazionalmente riconosciuti per lo studio di queste proprietà, si propone di sviluppare una linea di ricerca che permetta di stabilire nuove frontiere per la descrizione delle interrelazioni tra le proprietà che siano anche di utilità per la descrizione dei processi naturali sopra menzionati. Magmatic and volcanic processes (partial melting, magma ascent, crystallization degassing kinetics, fragmentation and eruptive style) are governed by the transport (e.g. density and viscosity) and first (H, S, V) and second (Cp, adiabatic compressibility, isobaric thermal expansivity) order thermodynamic properties that govern the energy exchanges between the various mineral phases and components of the magmatic mixtures, namely the silicate melt frameworks. It has been recently observed that physical properties are intimately related one to the other and all with the silicate melt structure. This project, developed in collaboration with internationally recognized laboratories for the study of these properties, proposes to carry on a research devoted to establishing new frontiers for the description of their interrelationship that will be ultimately extremely useful for the description of the above mentioned natural processes.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al Prof. Giordano.



Progetto n. 11

**TITOLO: Eventi paleobiologici per tracciare e decifrare l'inizio della crisi di salinità messiniana**

*TITLE: Paleobiological events to trace and decipher the Messinian salinity crisis.*

Tutore: **Dott. Francesca LOZAR** (Università di Torino; email: [francesca.lozar@unito.it](mailto:francesca.lozar@unito.it))

Co-Tutori: **Prof. Francesco DELA PIERRE** e **Dott. Rocco GENNARI** (Università di Torino); **dr. Erica Bicchi** (Groupe ESAIP, Université d'Angers, Francia).

L'evoluzione temporale delle tre fasi durante le quali si è sviluppata la Crisi di salinità messiniana è stata ricostruita nel dettaglio negli ultimi anni (Roveri et al. 2014). Tuttavia, scarsa attenzione è stata rivolta alla risposta dei microorganismi ai cambiamenti della composizione chimica della colonna d'acqua all'inizio e durante questo drammatico evento paleoceanografico. La deposizione di ingenti volumi di evaporiti è attualmente il marker più evidente dell'inizio della crisi nei bacini periferici, ma l'esatta posizione stratigrafica di questo evento è difficile da collocare in ambienti deposizionali profondi, dove le evaporiti non si sono deposte o si sono deposte in ritardo (Manzi et al., 2007; Dela Pierre et al., 2011). La risposta del plankton calcareo è invece un potenziale marker biostratigrafico, indipendente dalla posizione fisiografica e potenzialmente valido in tutto il bacino Mediterraneo. Il progetto di dottorato confronterà i dati esistenti sul Bacino Piemontese con nuovi dati raccolti in sezioni chiave del Mediterraneo Occidentale, Centrale e Orientale. Ricostruire la risposta del plankton (nannofossili calcarei e/o foraminiferi) permetterà anche di decifrare le caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua, e in ultima analisi di migliorare le nostre conoscenze sull'ambiente deposizionale dei gessi e delle altre rocce evaporitiche in bacini profondi, di cui non esiste analogo attuale.

*The timeline of the three phases during which the Messinian salinity crisis developed has been reconstructed in detail in recent years (Roveri et al. 2014). However, little attention has been paid to the response of microorganisms to changes in the chemical composition of the water column at the beginning and during this dramatic paleoceanographic event. The deposition of large volumes of evaporites is currently the most obvious marker of the beginning of the crisis in the peripheral basins, but the exact stratigraphic position of this event is elusive in deep depositional environments, where no evaporites were deposited or where their deposition was delayed (Manzi et al., 2007; Dela Pierre et al., 2011). The response of calcareous plankton is instead a good biostratigraphic marker, independent of the physiographic position within the basin and potentially reliable in the entire Mediterranean basin. The PhD project will compare existing data on the Piemonte Basin with newly collected data from key sections of the Western, Central, and Eastern Mediterranean. Reconstructing the microplankton response (calcareous nannofossils and / or foraminifera) will also contribute to decipher the chemical and physical characteristics of the water column, and ultimately to improve our understanding of the depositional environment of gypsum and other evaporite rocks in the deep basins, which have no current analogue.*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca locale concessi alla Dr. LOZAR.



Progetto n. 12

**Titolo: L'impatto di condizioni ambientali estreme sui microorganismi nel registro geologico: esempi dalla crisi di salinità MESSINIANA**

**TITLE: The impact of extreme environmental conditions on microorganisms in the geological past: insights from the late Miocene Messinian Salinity Crisis**

Tutore: Prof. Francesco Dela Pierre

Co-Tutore: Prof. Dr. Jörn Peckmann (Institute of Geology, University of Hamburg, Germany)

La crisi di salinità messiniana è uno tra i più drastici eventi che hanno coinvolto il Mar Mediterraneo circa 6 Ma, caratterizzata da condizioni ostili alla vita (eutrofizzazione, ipersalinità e anossia) e dalla formazione in tutto il bacino di potenti successioni evaporitiche (gesso, anidrite e alite). Sebbene la crisi di salinità sia stata al centro di numerosi studi da parte della comunità scientifica internazionale alcuni aspetti, quali l'impatto della crisi di salinità sugli ecosistemi marini la definizione dei parametri chimico-fisici delle acque, rimangono ancora irrisolti. Questo progetto di ricerca ha come obiettivo lo studio di tali successioni evaporitiche messiniane al fine di indagare le condizioni paleo ambientali (temperatura, profondità, salinità) che hanno determinato la loro formazioni nel Mediterraneo. Inoltre il fine ultimo del progetto di ricerca è quello di indagare come tali condizioni "estreme" abbiano controllato lo sviluppo di forme di vita e in particolare di quelle microbiche, sia nello spazio che nel tempo. Lo studio sarà svolto attraverso un approccio multidisciplinare che comprende:

- 1) lo studio stratigrafico e l'analisi di facies di successioni che comprendano l'inizio della crisi di salinità messiniana in diversi settori dell'area mediterranea (Sicilia, Spagna);
- 2) la determinazione del contenuto geomicrobiologico dei depositi pre-evaporitici e delle evaporiti deposte immediatamente dopo l'inizio della crisi messiniana. Tale obiettivo verrà raggiunto attraverso: i) l'analisi petrografica di dettaglio in microscopia ottica ed elettronica (SEM-EDS), volta all'identificazione di fossili di procarioti; ii) studio dei fossili molecolari, attraverso l'analisi dei lipidi di Eucarioti, Batteri e Archea preservati nei sedimenti pelitici e nelle evaporiti. Questo aspetto sarà sviluppato attraverso una collaborazione con l'Istituto di Geologia dell'Università di Amburgo (Prof. J. Peckmann, Dr. D. Birgel), che dispone di tutte le attrezzature necessarie;
- 3) la ricostruzione dei parametri chimico-fisici delle salamoie messiniane (salinità, temperatura, composizione chimica, condizioni redox). A questo riguardo saranno analizzati gli elementi in traccia delle peliti, marne e carbonati quali il bario (che fornisce indicazioni sulla produttività primaria) e gli elementi redox-sensitive quali l'uranio e il molibdeno.

*The Messinian salinity crisis affected the Mediterranean Basin about 6 Ma. This major palaeoceanographic event led to inhospitable conditions for life (eutrophication, hypersalinity and anoxia) and to the formation of huge evaporites successions (gypsum, anhydrite and halite) in the whole basin. Although the Messinian salinity crisis has been the main focus of a large number of recent studies, many issues are still unknown. Crucial issues are the definition of the chemophysical parameters of seawater and the impact of the salinity crisis on the marine ecosystems. This project deals with the study of the Messinian evaporitic successions in order to investigate the palaeoenvironmental conditions (temperature, depth, salinity) that controlled their formation in the whole Mediterranean during the salinity crisis. In addition, the ultimate goal is to investigate the mutual relationship between "extreme" environmental conditions and the development of form of life, especially microorganisms, both in space and time. The study will be carried out through a multidisciplinary approach, including:*

- 1) stratigraphic study and facies analysis of selected Mediterranean sections (Sicily and Spain) straddling the onset of the Messinian salinity crisis;
- 2) the investigation of geomicrobiological content of the latest pre-MSC and the earliest MSC deposits, focusing on the search for traces of microorganisms, particularly prokaryotes, which may represent the only biota able to thrive under the harsh conditions of the MSC. The identification of the dominant groups of microorganisms and their metabolisms will help to reconstruct the chemical composition and the geochemical gradients of the water column and the depositional environments. This will be accomplished through the study of the organic material and the identification of microbial signatures, including: i) identification of body fossils (e.g. filamentous fossils, diatoms, calcareous plankton) within carbonate, shale and gypsum deposits; ii) study of molecular fossils through the analysis of lipids preserved in the sediments. Lipids biomarkers sourced from Eukarya, Bacteria and Archaea will be investigated. These studies will be carried out through a collaboration with the Institute of Geology of University of Hamburg (Prof. J. Peckmann and Dr. D. Birgel), which hosts the necessary facilities; iii) the reconstruction of chemical and physical parameters of the Messinian water column (salinity, temperature, chemical composition and redox conditions) before and during the first phase of the MSC. This objective will be targeted by the methods outlined above, accompanied by the analysis of trace element contents of shales, marls and carbonate lithologies. The emphasis will be on source specific elements like aluminium and barium and, particularly, redox-sensitive elements like uranium and molybdenum.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca 60% 2015 e 2016 concessi al Prof. Francesco Dela Pierre.



Progetto n. 13

TITOLO: Valutazione del potenziale sismico e della pericolosità associata in settori chiave dell'Italia nord-occidentale

TITLE: Assessment of seismic potential and related hazards in key areas of the North-Western Italy

Tutore: Giandomenico Fubelli (Università degli Studi di Torino, giandomenico.fubelli@unito.it)

Co-Tutore: Gianfranco Fioraso (CNR-IGG)

Negli ultimi decenni lo studio della tettonica attiva sta assumendo una rilevanza sempre maggiore nella comunità scientifica, coinvolgendo diverse discipline in ambito geologico e geomorfologico. Nonostante la tematica si presti ad un approccio multidisciplinare, tuttora sono poche le ricerche che perseguono tale obiettivo. Il presente progetto verterà sulla definizione e l'applicazione di metodologie di indagine a carattere storico (studio degli effetti macrosismici dei principali eventi pregressi), geomorfologico (indagini di terreno, analisi morfometriche, interpretazione di foto aeree, analisi di modelli digitali del terreno etc.), geologico-strutturale e geostatistico (modelli di suscettibilità) ed infine paleosismologico in alcuni distretti sismici dell'Italia nord-occidentale. Lo scopo è quello di individuare la presenza di strutture tettoniche attive e potenzialmente capaci di produrre terremoti di magnitudo tale da causare rilevanti effetti sugli insediamenti antropici e sulle infrastrutture. La finalità dello studio sarà quella di accrescere le scarse conoscenze sulle sorgenti sismogenetiche dell'Italia nord-occidentale e di valutarne il potenziale sismico. I risultati ottenuti consentiranno di individuare quelle aree dove un eventuale forte terremoto potrebbe accadere; l'analisi della suscettibilità potrebbe predire le aree dove più significativi potrebbero essere i danni arrecati al territorio, agli insediamenti urbani e alle infrastrutture.

In the last decades the study of active tectonics are taking on increasing importance in the scientific community, involving different geological and geomorphological disciplines. Despite the theme would lend itself to a multidisciplinary approach, it is still little research in pursuit of that goal. The project will focus on the definition and application of disciplines such as history (study of macroseismic effects of past events) geomorphology (field survey, morphometric analysis, air photo interpretation, Digital Terrain Models analysis), structural geology and geostatistic (susceptibility models), paleoseismology (in topic areas of the northwest Italy seismic districts). The purpose is to identify the presence of active tectonic structures potentially capable to generate earthquakes of magnitude able to cause significant effects on territory and settlements. The goal will lead to increase the limited knowledge on the northwestern Italian seismogenetic sources, assessing the seismic potential. The obtained results will identify those areas where a possible strong earthquake might occur; the susceptibility analysis could predict areas where it will cause significant damages to the territory, urban settlement and infrastructures.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al Prof. Giandomenico FUBELLI.



Progetto n. 14

**TITOLO: Studio per lo sviluppo di una metodologia per la coltivazione sostenibile di pietre ornamentali**

*TITLE:* Sustainable Ornamental Stone Exploitation Study

Tutore : Anna Maria Ferrero

Co Tutori: Rita Migliazza (Università di Milano), Andrea Spagnoli (Università di Parma),

Riassunto

L'uso di pietre naturali in edilizia soffre per due problemi principali: la concorrenza con la pietra importata e la concorrenza con materiali artificiali.

La competizione con le pietre di importazione nasce dal fatto che uno studio per lo sviluppo di un metodo per coltivazione sostenibile di pietre ornamentali che comprenda l'analisi del ciclo di vita (Life Cycle analysis LCA) delle pietre prendendone tutti gli aspetti economici e ambientali in considerazione non è mai stato considerato.

Il secondo tipo di competizione è dovuto al fatto che il materiale artificiale dà maggiori garanzie della costanza delle caratteristiche fisico meccaniche anche se molto diverse caratteristiche estetiche.

Le pietre ornamentali sono stati utilizzate in architettura dal neolitico e in gran parte utilizzati nel corso dei secoli in tutta Europa, e pertanto l'uso della pietra locale è una garanzia di conservazione dell'identità della città. Tuttavia, negli ultimi decenni, lo sfruttamento delle pietre ornamentali in Europa hanno visto un calo drammatico con la perdita di molti posti di lavoro a causa della chiusura di cave e delle attività correlate.

Questo progetto è concentrarsi sulla valorizzazione delle pietre ornamentali attraverso lo sviluppo di nuove metodologie per la:

1. **Diagnosi:** per identificare e quantificare la consistenza dei materiali lapidei nuovi e già in opera con un nuovo dispositivo basato su misurazioni di tipo non distruttive.
2. **Cure:** migliorare le caratteristiche meccaniche dei materiali lapidei tramite lo sviluppo di metodologie in grado di rafforzare la pietra.

Si farà particolare riferimento alle lastre e gli effetti di flessione delle stesse riscontrate in numerose applicazioni (facciata, pavimentazione) e condizioni climatiche clima, per consentire una più ampia utilizzazione delle pietre naturali anche in condizioni estreme.

La ricerca coinvolge soggetti dal mondo accademico per gli aspetti di ricerca e dall'industria per lo sviluppo di entrambe le fasi di valutazione pietra e di rinforzo della pietra.

Abstract

The use of natural stones in construction suffers for two main problems: competition with imported stone and competition with artificial materials.

The first competition is the consequence of the fact that a complete sustainable ornamental stone study with a Life Cycle Analysis (LCA) of the stones that take all economic and environmental aspects into account has never been considered.

The second kind of competition is due to the fact that artificial material gives more guarantees in the constancy in the physical mechanical features even if with very different aesthetical features.

Ornamental stones have been used in architecture since the Neolith and largely used through the centuries all over Europe, the use of local stone is a guarantee of the respects of the city identity. However, in the past decades, the exploitation of ornamental stones in Europe have seen a dramatic drop down with the loss of many working places due to the closure of several quarries and subsidiary activities.

This project is focus on the valorization of ornamental stones through the development of new methodologies for the:

1. **Diagnosis:** to identify and quantify the consistency of both new stone material and material already located on existing building by a new device based on non-destructive measurements that will be developed.
2. **Cures:** to improve material resistant by the development of methodologies able to reinforce natural stone and to produce a new material that last longer and safer but with the aesthetical features of the natural stone will be developed.

Particular reference is made to slabs and the bowing effects in different applications (façade, paving) and climate, to allow for a wider use of natural stones even in extreme conditions.

The research involves entities from the academia for the research aspects, from the quarries for the exploitation phase and from the industries for the development of both phases for the stone soundness evaluation and for the stone reinforcement.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi alla Prof Ferrero.



Progetto n. 15

**TITOLO: Integrazione di tecniche multiscala di interferometria di noise sismico ambientale per la determinazione delle sorgenti sismiche**

*TITLE: Integration of multi-scale seismic noise interferometry techniques to assess seismic sources*

Tutore/*Tutor*: Prof. Sergio Vinciguerra (Università di Torino)

Co-tutore/*Co-Tutor*: Dr. P. Benson (University of Portsmouth)

Co-tutore/*Co-Tutor*: Will Flynn (Itasca)

#### *Riassunto*

Avanzamenti nello stato delle conoscenze del 'noise' sismico ambientale, utilizzando tecniche interferometriche ha potenziali implicazioni dalla geofisica di esplorazione alla sismologia dell'interno della terra. Gli esperimenti di fisica delle rocce possono essere di grande aiuto per l'interpretazione quantitativa di fenomeni a più larga scala, come per esempio, mediante l'utilizzo di tecniche di modellizzazione diretta o esperimenti effettuati in condizioni ben controllate. In particolare le proprietà sismiche possono essere correlate con le proprietà intrinseche delle rocce, come la deformazione, la fratturazione, la porosità e la permeabilità in esperimenti di laboratorio.

Il candidato applicherà tecniche di interferometria sismica a sorgenti attive e passive di dati sismici ottenute mediante esperimenti di deformazione delle rocce a condizioni di stress crostali note. Poiché l'interferometria è misurata attraverso la correlazione di coppie di segnali, è possibile associare le osservazioni sismologiche con i processi di deformazione/fratturazione misurati durante i processi di deformazione. L'interferometria può essere associata direttamente ai modelli di velocità e cambiamenti ben vincolati delle proprietà fisiche del mezzo. Inoltre connettere l'imaging sismico di campioni asciutti e saturi di fluidi con la microsismicità e la deformazione può permettere di correlare l'interferometria alla presenza di fluidi e gas, permettendo di ottenere stime di porosità e permeabilità indotte. In particolare le misure di attenuazione/scattering insieme a microsismicità a bassa frequenza aiuteranno a fornire nuove informazioni sul problema aperto se la risonanza sismica è una sorgente o un effetto del mezzo.

L'obiettivo della ricerca è prendere in considerazione metodologie di interferometria di noise sismico e applicarle a nuovi ed esistenti sets di microterremoti (AE), ai fini di testare i limiti e la sensibilità delle modellizzazioni numeriche e quindi sviluppare metodi di localizzazione delle sorgenti sismiche più accurate. Poiché i microterremoti obbediscono a leggi di scala, il risultato fornirà nuove informazioni sull'abilità del noise sismico di descrivere i processi alla scala terrestre.

#### *Abstract*

Recent advances in the understanding of the seismic ambient noise field, using interferometry hold potential for applications ranging from exploration geophysics to deep Earth seismology. Rock physics experiments can provide great insight to larger scale phenomena using, for example, direct forward model techniques or well-constrained experiments in known conditions. In particular seismic properties can be linked with intrinsic properties of rocks, such deformation, fracturing, porosity and permeability in laboratory experiments.

The successful candidate will apply seismic interferometry to active and passive source seismic data obtained during controlled rock deformation laboratory experiments at representative crustal stress conditions. As interferometry is measured throughout pairs of cross correlated signals, it will be possible to connect the seismological observations with the deformation/fracturing measured processes. Interferometry can be then directly related to velocity models and well measured changes of physical properties of the medium. Connecting the seismic imaging of dry and saturated samples with the microseismicity waves and deformation will allow to better relate interferometry to the presence of fluids and gas, therefore carving the path for a reliable porosity and permeability tomography. In particular being able to relate attenuation/scattering measurements with low-period micro seismicity could deliver new data to settle the debate about if seismic resonance is a source or medium effect.

The objective of this proposed research is to take the standard methods of seismic noise interferometry and apply them to both existing and new laboratory AE datasets, in order to test the limits and sensitivity of this numerical technique, and to thus develop better seismic sources location methods. As AE is inherently controllable, but scales to tectonic earthquake activity, the output will shed new light on the ability of seismic noise to illuminate Earth processes at depth.

\*\*\*\*\*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca Vinciguerra autofinanziata



**Università degli Studi di Torino**  
Doctoral School of Sciences and Innovative  
Technologies Doctorate in Earth Sciences





Progetto n. 16

**TITOLO: Analisi petrofisiche, geomeccaniche e microstrutturali di cataclasiti in rocce clastiche**

*TITLE: Petrophysical, geomechanical and microstructural analysis of cataclasites in clastic rocks*

Tutore: **Dott. Sergio VINCIGUERRA** (Università di Torino; e-mail: sergiocarmelo.vinciguerra@unito.it)

Co-Tutore: **Prof. Emanuele Tondi** (Università di Camerino)

Co-Tutore: **Dr. Lucia Mancini** (Elettra-Sincrotrone, Trieste)

Co-Tutore: **Prof. Patrick Baud** (University of Strabourg)

*riassunto*

*Le faglie sono le principali strutture che controllano il flusso dei fluidi nella crosta superiore. Le zone di faglia sono composte da due elementi principali: (i) il nucleo, dove si realizza il movimento e (ii) la zona di danneggiamento. Ogni elemento mostra caratteristiche strutturali e idrogeologiche che dipendono dalle proprietà originarie della roccia e dalle condizioni di pressione e temperatura a cui avviene la deformazione. Mentre la zona di danneggiamento mostra generalmente una permeabilità maggiore della roccia indeformata, il nucleo della faglia agisce spesso come una barriera al flusso dei fluidi, a causa della bassa permeabilità che caratterizza le cataclasiti che lo costituiscono. La permeabilità delle cataclasiti è controllata da diversi parametri (es. dimensione, forma e distribuzione dei grani, tipologia e tessitura di cemento e matrice) che dipendono dalla litologia originaria della roccia, dalle condizioni di pressione e temperatura a cui è avvenuta la deformazione, dall'entità del rigetto e grado di sviluppo della faglia stessa. Le differenti proprietà meccaniche delle rocce determinano, conseguentemente, un'alta variabilità e difficoltà predittiva delle proprietà petrofisiche delle cataclasiti e quindi delle caratteristiche idrauliche della zona di faglia nel suo complesso.*

*Il progetto mira all'acquisizione di dati petrofisici, geomeccanici e microstrutturali di un significativo numero di cataclasiti sviluppatasi in differenti rocce clastiche. L'analisi microstrutturale verrà effettuata tramite metodi di microscopia tradizionale 2D (SEM) e con tecniche più innovative come la microtomografia a raggi X al sincrotrone, tecnica non distruttiva che fornisce una ricostruzione 3D ad alta risoluzione della struttura interna delle cataclasiti. L'integrazione dei dati suddetti con quelli petrofisici, derivanti dalla misura delle velocità delle onde sismiche, meccanici, quali moduli elastici, resistenza massima alla compressione, rapporti sforzo-deformazione, permetterà lo studio della struttura tridimensionale dei pori, della loro geometria, distribuzione e connettività, fornendo parametri quantitativi indispensabili per lo studio e la predizione delle proprietà idrauliche delle cataclasiti e delle zone di faglia in generale.*

*Abstract*

*Faults form primary tectonic features that controls the fluid flow in the upper-crustal levels. Fault zones are composed by two main units: (i) the fault core and (ii) the damage zone. Each unit show distinct structural and hydrogeologic characteristics that reflect the material properties and deformation conditions within a fault zone. Whereas the damage zones are generally more permeable of undeformed rocks, the fault core usually act as a barrier to fluid flow due to cataclasis processes. The permeability of cataclastic fault rocks is related to several parameters (i.e. grain size distribution, angularity, shape of clasts, type and texture of cement and matrix, etc.) that likely depend on host rock lithology, fault displacement and diagenetic evolution. Variability of mechanical properties of a host rock lithology determines a high range of petrophysical properties of a fault rock. Therefore, a significant uncertainty in prediction of fault barrier-conduit behavior lays in a high range of variation of permeability structures and petrophysical properties of a fault zone.*

*This project focuses on the integration of petrophysical, geomechanical and microstructural fault rocks analysis in clastic rocks through traditional 2D microscopy techniques (Scanning Electron Microscope) with more innovative techniques such as synchrotron X-ray microtomography, which provides a way for visualizing the three-dimensional interior structure of real objects non-destructively and with a high spatial resolution. The integration of petrophysical parameters such seismic velocity measurements, density, porosity, mechanical properties such elastic moduli, uniaxial compressive strength, stress-strain relationships and imaging technique is an efficient tool for studying the pore-network geometry and pore connectivity in fault rocks, crucial for obtaining their permeability parameters and the flow rate estimation.*

\*\*\*\*\*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca Vinciguerra autofinanziata

Progetto n. 17



TITOLO: Calcolo dei tassi effusivi mediante dati termici satellitari basati sul sistema MIROVA

TITLE: Lava discharge rates calculation using MIROVA-based thermal data

Tutore/Tutor: Dr. Diego Coppola (Università di Torino; email: [diego.coppola@unito.it](mailto:diego.coppola@unito.it))

Co-Tutore/Co-Tutor: Dr. Corrado Cigolini (Università di Torino); Dr. Marco Laiolo (Università di Firenze) Riassunto:

Durante un'eruzione vulcanica, il tasso di fuoriuscita di lava (tasso effusivo) è uno dei parametri fondamentali da monitorare, in quanto è espressione diretta del motore dell'eruzione, ovvero la sovrappressione in camera magmatica. La misura del tasso effusivo fornisce quindi indicazioni sul se, come, e con quale velocità, il sistema vulcanico tenda a ritornare in condizioni di equilibrio. Sebbene questo parametro sia essenziale nella comprensione dei fenomeni vulcanici e nella valutazione del rischio ad essi associato, la sua misura, effettuata sistematicamente ed in modo continuativo, risulta estremamente complessa e, molto spesso, del tutto impraticabile. Allo stato attuale, i dati termici satellitari costituiscono uno degli strumenti potenzialmente più efficaci per il monitoraggio continuativo del tasso effusivo, ma necessitano di una precisa comprensione e quantificazione di tutti i fattori che governano la relazione tra flusso di massa e flusso di calore dei corpi lavici. L'obiettivo di questo progetto è quello di calibrare e validare l'approccio termico satellitare per la stima dei tassi effusivi su diversi vulcani attivi (Stromboli, Etna, Piton de la Fournaise ed altri) per i quali i dati termici satellitari (sistema MIROVA) possono essere analizzati in funzione di misure di terreno e di parametri geofisici/geochimici acquisiti indipendentemente. I flussi termici prodotti dalle eruzioni avvenute nel corso degli ultimi 15 anni (circa 30 eruzioni) saranno analizzati in relazione con i seguenti parametri: (i) composizione chimica e tessitura delle lave eruttate; (ii) morfologia, geometria (lunghezza, larghezza, spessore) e tipologia delle colate ('A'ā, pahoehoe, lava a blocchi); (iii) pendenza e rugosità del substrato; (iv) misure indipendenti dei volumi eruttati; (v) sismicità (tremore, VLP); (vi) flusso di gas (SO<sub>2</sub>); (vii) deformazione al suolo (tilt o GPS). I risultati ottenuti verranno infine utilizzati per lo sviluppo di un sistema di monitoraggio automatico dei tassi effusivi (su piattaforma web), basato sui dati termici forniti in tempo reale dal sistema MIROVA ([www.mirova.unito.it](http://www.mirova.unito.it)). Il sistema sarà operativo per i vulcani oggetto dello studio e, successivamente applicabile globalmente in vari contesti vulcanici. Parte del progetto verrà svolta in collaborazione con il Laboratorio di Geofisica Sperimentale (Università di Firenze), l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise (IPGP-Francia), ed il Laboratoire Magma et Volcans (Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand). Il Dottorato potrà essere svolto in co-tutela con le Istituzioni partner francesi. Abstract: During a volcanic eruption, the effusion rate (also called "lava discharge rate") is one of the fundamental parameters to be monitored since it reflects the overpressure inside the magma chamber, that is the effective driving force of the eruption. The measurement of the effusion rate is thus fundamental in order to recognize if, how and how fast the volcanic system will restore the equilibrium conditions. Although this parameter is essential for the understanding of volcanic phenomena and for the assessment of the associated risk, its measurement is extremely difficult, especially in a systematic and continuous manner. Satellite thermal data represent, to date, the unique tool for continuous monitoring of lava discharge rate, since they allow a coherent and synoptic view of the eruptive phenomena. However, the application of such a methodology (also called thermal approach) is conditioned by the necessity to understand precisely all the processes affecting the relationship between thermal and mass fluxes of active lava bodies.

The aim of this project is to calibrate and validate the thermal approach for the estimation of effusion rates at different active volcanoes (Stromboli, Etna, Piton de la Fournaise, and others) for which satellite thermal data (MIROVA system) and independent geochemical/geophysical datasets are available. The heat fluxes related to eruptions that occurred at these volcanoes over the last 15 years (about 30 eruptions) will then be compared and analyzed in correlation with the following parameters: (i) the chemical composition and texture of the erupted lava; (ii) morphology, geometry (length, width, thickness) and type of lava flows ('A'ā, pahoehoe, lava blocks); (iii) the slope of the substrate, (iv) independent measurements of the erupted volume; (v) seismicity (tremors, VLP); (vi) gas flux (SO<sub>2</sub>); (vii) ground deformation (tilt or GPS). The results obtained will ultimately be used for the development of a web-based monitoring tool, centered on the thermal data provided in real time by the MIROVA system ([www.mirova.unito.it](http://www.mirova.unito.it)). The system will be operative for the studied volcanoes and successively suitable at a global scale. Part of the project will be carried out in collaboration with the Laboratorio di Geofisica Sperimentale (University of Florence), the Observatoire du Volcanologique Piton de la Fournaise (IPGP-France), Laboratoire Magma et Volcans (Université Blaise Pascal - Clermont Ferrand).

#####

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al Dott. Coppola



**TITOLO: Caratterizzazione geofisica multiscala di segnali sismici in aree geotermali in Piemonte.**

*TITLE: Multiscale geophysical characterization of seismic signals in geothermal areas in Piedmont.*

Tutore/*Tutor*: **Prof. Sergio VINCIGUERRA** (Università di Torino; e-mail: [sergiocarmelo.vinciguerra@unito.it](mailto:sergiocarmelo.vinciguerra@unito.it))  
Co-tutore/*Co-Tutor*: **Prof. Cesare COMINA** (Università di Torino)  
Co-Tutore: **Prof. Giuseppe MANDRONE** (Università di Torino)  
*riassunto*

I fluidi in pressione nelle rocce crostali in deformazione esercitano un ruolo chiave, particolarmente in aree geotermali, dove esistono una varietà di fasi liquido/gassose e di temperature e pressioni per l'esistenza di sistemi idrotermali.

I segnali indotti da fluidi che generano eventi a bassa frequenza non sono compresi pienamente come anche l'evoluzione nel tempo e nello spazio. Il progetto mira a sviluppare strategie di monitoraggio in aree geotermali in Piemonte, analizzando e caratterizzando la microsismicità indotta dai fluidi. Si integreranno tecniche di monitoraggio finalizzate alla registrazione di sottili cambiamenti del sottosuolo legati a tremori indotti dal trasporto dei fluidi tramite la stazione LOFAR dedicate alle basse frequenze e stazioni sismiche convenzionali che possono individuare processi di rottura fragile che conducono alle rotture sismiche.

La definizione di parametri attendibili per la modellizzazione del comportamento geomeccanico delle strutture in deformazione e per la stima dell'accadimento di episodi di fratturazione richiede la determinazione dell'evoluzione delle proprietà intrinseche delle litologie in funzione delle condizioni estrinseche di stress, di pressione e di temperatura, e la relativa degradazione nel tempo.

Si propone uno studio basato sul monitoraggio microsismico di un settore instabile da frana da crollo ed integrato da una caratterizzazione geofisico/geomeccanica del sito e da esperimenti di laboratorio volti alla comprensione dei rapporti tra deformazione e i segnali geofisici acquisiti alla scala di terreno.

Un aspetto chiave consisterà nell'effettuare la caratterizzazione geofisica delle aree investigate finalizzate allo studio degli effetti di sito in termini di risposta di amplificazione locale dovuta alle proprietà geofisiche e geotecniche della crosta superficiale. Per la definizione di affidabili parametri per la modellizzazione del comportamento meccanico della struttura geologica investigata e la evoluzione nel tempo, sarà effettuata uno studio di laboratorio delle proprietà geomeccaniche di litologie rappresentative e degli effetti di degradazione nel tempo.

Tale integrazione é essenziale per la comprensione degli effetti sismici in contesti tettonici in cui circolano fluidi e sarà testato per la prima volta in Piemonte.

#### *Abstract*

*Pore fluids play a key role in how crustal rocks deform, particularly geothermal environment where fluids span a wide range of types, and exist across a wide spectrum of temperature, pressure, and phase, influenced by the presence of the hydrothermal system.*

*Fluid-induced signals resulting in low-frequency seismicity are not fully understood, and how these signals evolve from other signal types in time and space. The project aims to develop monitoring strategy in geothermal areas in Piedmont, by evaluating and characterizing fluid induced microseismicity. It will integrate monitoring techniques devoted to the recording of subtle subsurface changes related to earth tremors responding to fluid flow that can be recorded throughout the LOFAR (Low Frequency Array) project and conventional seismic stations able to detect brittle processes leading to seismic ruptures.*

*A key aspect of the research will consist in carrying out geophysical characterization of the investigated areas with the aim to evaluate site effects in terms of local seismic amplification due to geophysical and geotechnical properties of the shallow crust. For the definition of reliable parameters for the modeling of the geomechanical behavior of the investigated geological structure and its evolution over time laboratory determination of the geomechanical properties of representative lithologies and their degradation over time will be investigated.*

*This integration is effective for unraveling the seismic sources in complex tectonic settings coupled with fluid flow such geothermal areas and will be tested for the first time in Piedmont.*

\*\*\*\*\*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca Vinciguerra autofinanziata



Progetto n. 19

**TITLE:** Snow precipitation variability in the Alps: systematic biases in the measurements and their impact on climatological trends and water resources

**TITOLO:** Variabilità delle precipitazioni nevose sulle Alpi: errori sistematici nelle misurazioni ed impatti sull'andamento climatico e risorse idriche

**Tutor:** Dr. Simona Fratianni

**Co-tutori:** Prof. Luca Lanza (Politecnico Milano), Dr. Saida Kermadi (Université de Lyon2\_cotutela)

The Alps are the source of the river systems that supply water to the major basins, playing a key role in the hydrological cycle. A shift in climatic regimes, particularly winter precipitation and snow cover duration, would impact heavily on the river systems with consequences on water availability for agriculture, industries and hydroelectrical power production, but also on winter tourism that sensitively depends on a reliable snow cover throughout the skiing season. Despite its important outcomes on the society, the climate change in high elevation sites in Italian Alps is an under-explored field of research and the information on snow precipitation variability is very scarce compared to the Swiss, French and Austrian Alps. One of the reasons for this “gap of knowledge” is the uneasy availability of long term high quality time series and the associated systematic biases, resulting in a significant underestimation of the precipitation depth and intensity. The understated extent of the associated biases is largely unknown and varies with various environmental factors, due to the complexity of the controlling processes. Although attempts were made to standardise measurement procedures, this has never been successfully achieved.

Without any correction or, in many cases, any awareness of such measurement biases, there is a grave risk of a breakdown in the understanding of hydro-meteorological processes in a scientific era dominated by modelling, which generally undervalues the principals of precise and accurate measurements. This also affects the calibration of satellite- and radar-based areal estimates of snow precipitation, and the statistics derived from historical data series are systematically affected.

This research project aims to establish an in-depth knowledge of snow precipitation variability in the Alps taking advantage of three different data sources: the historical records registered in the manned stations, the automatic meteorological stations and the meteorological satellites data. In particular the objectives are: 1) to assess present conditions of snow precipitation using historical time series; 2) to investigate extremes, temporal variability and trends of snow precipitation in relation to the main climatic variables, i.e. temperatures and total precipitation; 3) to explore snow cover extension temporal and spatial variability using satellite data; 4) to evaluate the impact of snow precipitation measurement biases on climatological studies at the regional scale.

To know the real spatial and temporal distribution of snow precipitation, snow cover and related variables (also snow water equivalent) in the Alps, will contribute not only to improving hydrological forecasts, but also to the foresighted regulation of water resources.

Le Alpi sono una delle fonti principali d'alimentazione dei sistemi idrici, giocando così un ruolo fondamentale nel ciclo idrogeologico. Un cambiamento nei regimi climatici, in particolare in relazione alle precipitazioni invernali e alla durata della copertura nevosa, potrebbe avere un forte impatto sui sistemi fluviali con ripercussioni sull'agricoltura, industria e produzione di energia idroelettrica. Ma anche inficiare il turismo invernale fortemente dipendente dalla presenza di una buona copertura nevosa durante la stagione sciistica. Nonostante le possibili ripercussioni sulla società, in letteratura sono presenti pochi lavori relativi al cambiamento climatico che si verifica nelle Alpi italiane e scarsi sono i confronti con le confinanti Alpi francesi ed austriache. Uno dei motivi di questa “mancanza di conoscenza” è dovuto alla difficoltà nel reperire le serie di lungo periodo di alta qualità ed i relativi errori sistematici, con conseguente sottostima dell'intensità ed altezza della precipitazione nevosa. Il forte impatto dell'errore relativo associato alla misurazione è poco conosciuto ed è dipendente da numerosi fattori ambientali, a causa della complessità dei processi di controllo. In relazione a ciò sono stati fatti svariati tentativi per standardizzare le procedure di misurazione anche se non ha portato a risultati definitivi. L'assenza di una correzione del dato registrato, in parte dovuto alla mancanza di competenze, può comportare ad una serie di errori nella comprensione dei processi idro-meteorologici in un'era scientifica dominata dalla modellazione, che in genere sottovaluta la precisione ed accuratezza delle misurazioni. Questo influenza anche la calibrazione degli areali in cui si verifica la precipitazione nevosa stimata tramite satelliti e radar.

Lo scopo di questo progetto di ricerca è di approfondire la conoscenza della variabilità delle precipitazioni nevose nelle Alpi sfruttando tre diverse fonti di dati: i record storici, le stazioni meteorologiche automatiche e i dati satellitari. In particolare gli obiettivi sono: 1) Stimare le condizioni attuali delle precipitazioni nevose mediante le serie storiche; 2) Studiare gli eventi estremi, la variabilità temporale e le tendenze delle precipitazioni nevose in relazione alle principali variabili climatiche come temperatura e precipitazione; 3) Osservare l'estensione della copertura nevosa e la sua variabilità spaziale e temporale utilizzando immagini satellitari; 4) Identificare l'errore relativo riferito alla registrazione della precipitazione nevosa e valutare l'effetto sugli studi climatici a scala regionale.

La conoscenza della reale distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni nevose, copertura nevosa e variabili correlate (anche equivalente in acqua della neve) sulle Alpi, contribuirà non solo a migliorare le previsioni idrologiche, ma anche per la gestione delle risorse idriche



# Università degli Studi di Torino

Doctoral School of Sciences and Innovative  
Technologies Doctorate in Earth Sciences



Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi alla Dr. Simona FRATTIANI.



Progetto n. 20

TITOLO: Caratterizzazione chimica e isotopica delle acque naturali nella regione Piemonte

TITLE: *Chemical and isotopic characterization of natural waters in the Piedmont region*

Tutore: Luciano MASCIOTTO

Co-Tutori: Enrico DESTEFANIS

Sommario

Nella ricerca, le concentrazioni in elementi maggiori e in alcuni metalli presenti nelle acque naturali della regione Piemonte verranno messe in relazione con le litologie presenti nei bacini idrologici e idrogeologici di appartenenza. Quando le acque di pioggia arrivano al suolo, esse contengono già un certo quantitativo di soluti dovuti alla presenza in atmosfera di aerosol marini, polveri, gas. Quando l'acqua raggiunge il terreno, entra in contatto con l'aria del suolo molto ricca di CO<sub>2</sub>, e diventa aggressiva nei confronti dei minerali. I diversi minerali hanno diversa attitudine ad entrare in soluzione. I silicati, i minerali più abbondanti, sono poco solubili. I carbonati sono mediamente solubili. Solfati e cloruri, minerali costituenti le rocce evaporitiche sono altamente solubili. Per meglio descrivere i circuiti idrici e le aree di ricarica degli acquiferi, verranno utilizzati anche gli isotopi stabili dell'acqua. Gli isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno rappresentano i traccianti ideali del mezzo idrico dal momento che l'idrogeno e l'ossigeno ne sono gli elementi costitutivi. Inoltre, alle temperature biologiche e a meno che non intervengano mescolamenti di differenti masse idriche, la concentrazione relativa delle specie isotopiche è conservativa, qualunque siano le interazioni tra acqua e matrice litologica, mentre queste interazioni modificano le caratteristiche chimiche dell'acqua. Durante i processi di cambiamento di fase, le molecole d'acqua con gli isotopi leggeri (H<sub>2</sub><sup>16</sup>O) risultano più volatili di quelle con gli isotopi pesanti (<sup>1</sup>H<sup>2</sup>H<sup>16</sup>O, H<sub>2</sub><sup>18</sup>O) e vengono preferenzialmente concentrate nella fase vapore. Ciò giustifica il verificarsi di un fenomeno di frazionamento isotopico nel corso di un parziale cambiamento di fase tra liquido e vapore. Il frazionamento ha andamento univoco: nel fenomeno di evaporazione il vapore risulta sempre arricchito in isotopi leggeri rispetto al liquido di partenza, mentre in quelle di condensazione, il condensato risulta sempre arricchito in isotopi pesanti rispetto alla massa di vapore da cui è derivato. Inoltre, la composizione isotopica del vapore restante dopo ogni episodio di precipitazione dipende soltanto dal grado di condensazione, e quindi, dalla temperatura. Risulta così chiarito il principio generale su cui si basa il tracciamento naturale delle acque meteoriche: le precipitazioni risultano isotopicamente marcate dalla loro storia termica. Questa proprietà è importante, perché lega la composizione isotopica delle acque meteoriche a dei parametri geografici ben precisi: la latitudine, l'altitudine, la stagione. Nell'applicazione delle tecniche isotopiche ai problemi della idrologia, aventi dimensioni locali, il tracciamento legato al parametro latitudine risulta aver, grosso modo, effetto costante e quindi trascurabile, mentre ad esso si sovrappone per importanza l'effetto legato all'altitudine e/o eventualmente alla stagione. La ricerca vuole indagare sulla composizione in isotopi stabili dell'idrogeno e dell'ossigeno sulle acque della regione Piemonte organizzando dei campionamenti in alcuni bacini idrografici con caratteristiche altimetriche differenti per mettere in relazione la composizione isotopica delle acque effluenti dal bacino con l'altitudine media e con la stagione.

*Abstract*

*In the research, the concentrations in major elements and some metals in natural waters of the Piedmont region will be related with the lithologies present in some hydrological and hydrogeological basins. When the rainwater reaches the ground, it (already containing a certain quantity of solute due to the presence in the atmosphere of marine aerosols, dust, gases) comes in contact with the soil gas very rich in CO<sub>2</sub>, and becomes aggressive towards minerals. The different minerals have different attitude to enter in solution. The silicates, the most abundant minerals, are poorly soluble. The carbonates are moderately soluble. Sulfates and chlorides, mineral constituents evaporite rocks, are highly soluble. To better describe the water circuits and the recharge areas of aquifers, will be also used stable isotopes of water. The hydrogen and oxygen isotopes represent the ideal tracers of water because the hydrogen and oxygen are its constituent elements. In addition, at the biological temperatures and unless of mixings of different water masses, the relative concentration of the isotopic species is conservative, whatever interaction may occur between water and lithological matrix, while these interactions modify the water chemical characteristics. During the phase change processes, the water molecules with light isotopes (H<sub>2</sub><sup>16</sup>O) are more volatile than those with heavy isotopes (<sup>1</sup>H<sup>2</sup>H<sup>16</sup>O, H<sub>2</sub><sup>18</sup>O) and are preferentially concentrated in the vapor phase. This justifies the occurrence of a phenomenon of isotopic fractionation during a partial phase change between liquid and vapor. The fractionation has unique trend: in the steam, the evaporation phenomenon is always enriched in light isotopes compared to the starting liquid, while in the condensation, the condensate is increasingly enriched in the heavy isotope with respect to the mass of steam from which it is derived. In addition, the isotopic composition of the vapor remaining after each precipitation episode only depend on the degree of condensation, and thus, the temperature. It is thus clarified the general principle on which is based the natural tracing of rainwater: the precipitations are isotopically labeled by their thermal history. This property is important, because it links the isotopic composition of rainwater at very specific geographic parameters: the latitude, altitude, the season. In the application of isotopic techniques to the problems of hydrology, with local extent, the fractionation tied to latitude parameter appears to have roughly constant effect and therefore negligible, while the effect of altitude and / or possibly the season overlaps it in importance. The research aims to investigate the composition of stable isotopes of hydrogen and oxygen on the waters of the Piedmont region. Samplings in some river basins with different elevation features will be carried out for relating the isotopic composition of the effluent water with the average altitude and with the season.*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi MASCIOTTO - RICERCA AUTOFINANZIATA



Progetto n. 21

TITOLO: Pericolosità idrologica e tutela delle acque a scala di bacino

TITLE: *Hydrogeological hazard and protection of water at the basin scale*

Tutore: Luciano MASCIOTTO

Co-Tutori: Roberto AJASSA, Enrico DESTEFANIS

Sommario

La ricerca consiste nella valutazione della pericolosità idrologica e della qualità delle acque in alcuni bacini idrografici rappresentativi del territorio del Piemonte. Qualora necessario verranno proposti interventi, o per la mitigazione del rischio idrologico o per la tutela delle acque dall'inquinamento. La pericolosità idrologica verrà valutata in corrispondenza di sezioni poste in zone sensibili (ad es. per la presenza di beni esposti potenzialmente a rischio). In tali sezioni verranno calcolate le portate di massima piena a diversi tempi di ritorno. Queste verranno messe a confronto con le portate ammissibili derivate dai calcoli di verifica idraulica. Verranno utilizzati i dati pluviografici degli ultimi decenni messi a disposizione da Arpa Piemonte; quest'ultimo periodo sembra infatti caratterizzato da un aumento di intensità degli eventi. Si terrà conto dei metodi reperibili dalla letteratura scientifica e della normativa di settore (Direttiva 2007/60/CE, D.Lgs. 49/2010, D.Lgs. 219/2010, Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Po). Nell'ambito della ricerca verranno effettuate analisi di sensibilità dei metodi utilizzati e infine verranno proposti metodi semplificati per la valutazione della pericolosità in modo da fornire strumenti più obiettivi per i decisori degli Enti territoriali. Per quanto riguarda la valutazione quantitativa delle risorse idriche del bacino, dalle piogge medie annue verrà sottratta l'evapotraspirazione potenziale. Il deflusso globale derivante, verrà poi suddiviso in infiltrazione (risorse idriche sotterranee) e ruscellamento (risorse idriche superficiali) in base alle caratteristiche litologiche del bacino in esame. Una volta effettuato il bilancio idrologico del bacino, verranno effettuati dei prelievi dai corpi idrici destinati alle analisi di laboratorio. I risultati analitici verranno messi a confronto con gli standard definiti dalla normativa di settore. Per la qualità chimica, si farà riferimento alla Direttiva Quadro 2000/60/CE, alla Direttiva 2006/118/CE e alla Direttiva 2008/105/CE, recepite in Italia dal D.Lgs. 152/1999, dal D.Lgs. 30/2009 e dal D.M. 260/2010, secondo cui lo stato chimico di un corpo idrico è definito da parametri generali (alcalinità, conducibilità elettrolitica, azoto ammoniacale, nitrati, nitriti e solfati) a supporto della definizione dello stato biologico ed ecologico, assieme ad altri parametri, quali la concentrazione di metalli pesanti, composti organici, pesticidi, e altri contaminanti. Questi parametri sono applicati nella determinazione degli standard di qualità ambientale e per la classificazione di un corpo idrico come "buono/non buono". Altre soglie per la valutazione della qualità delle acque saranno quelle fornite dal D.Lgs. 31/2001 relativo alle acque destinate al consumo umano (parametri: a- microbiologici, b-chimici, c-indicatori, d-radioattivi), nonché la tabella 2 dell'allegato 5 della parte IV titolo V del D.Lgs. 152/2006 (concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee). Anche nella ricerca relativa alla tutela delle acque dall'inquinamento, verranno messe in evidenza le eventuali incongruenze della normativa e forniti suggerimenti per la sua modificazione o integrazione.

*Abstract*

*The research concerns the evaluation of hydrological hazards and water quality in some river basins representative of the Piedmont territory. If necessary, interventions for mitigating the hydrological risk or water pollution risk will be proposed. The hydrological hazard will be evaluated at sections placed in sensitive areas (e.g. presence of assets potentially exposed to risk). At these sections, flow peaks at different return periods will be calculated and compared with the permissible flow rates derived from hydraulic analysis calculations. The rainfall data of the last decades made available by Arpa Piemonte will be used; the latter period seems in fact characterized by an increase in intensity of the rainfall events. Available methods from literature will be taken in account as well as the specific legislation (Directive 2007/60 / EC, Legislative Decree no. 49/2010, Legislative Decree no. 219/2010, Hydrologic Masterplan of the Po Basin Authority). In the research, sensitivity analysis of the utilized methods will be carried out and simplified methods for assessing the hydrologic hazard will be proposed in order to provide more objective tools for decision-makers of local governments. For the quantitative assessment of water resources of the basin, the potential evapotranspiration will be subtracted by the average annual rainfall. The arising total outflow will be then subdivided into infiltration (groundwater resources) and runoff (surface water resources) according to the lithological characteristics of the test areas. Once performed the water balance of the basin, samples from water bodies will be withdrawn for laboratory analysis. The analytical results will be compared with the standards defined by the law. The chemical quality will be assessed referring to the Framework Directive 2000/60 / EC, Directive 2006/118 / EC and Directive 2008/105 / EC, transposed in Italy by Legislative Decree no. 152/1999, by Legislative Decree no. 30/2009 and the Ministerial Decree no. 260/2010, according to which the chemical state of a water body is defined by general parameters (alkalinity, electrolytic conductivity, ammonia nitrogen, nitrate, nitrite and sulfate) in support of the definition of the biological and ecological status, along with other parameters, such as the concentration of heavy metals, organic compounds, pesticides, and other contaminants. These parameters are applied in the determination of environmental quality standards for the classification of a water body as "good / not good". Other thresholds for assessing the quality of water will be provided by the tables of Legislative Decree no. 31/2001 concerning water destined for human consumption (parameters: a-microbiological, b-chemical, c-indicators and d-radioactive), and Table 2 of Annex 5, part IV, title V of Legislative Decree no. 152/2006 (threshold of contamination concentration in groundwater). Even in the part related to the prevention of water pollution, the research will highlight any regulatory inconsistencies and will provide suggestions for modification or integration of laws.*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi MASCIOTTO - RICERCA



**Università degli Studi di Torino**  
Doctoral School of Sciences and Innovative  
Technologies Doctorate in Earth Sciences



AUTOFINANZIATA



Progetto n. 22

**TITOLO: LA PROTEZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE**

*TITLE: PROTECTION OF GROUNDWATER RESOURCES*

Tutore/*Tutor*: Domenico Antonio de Luca

Co-tutore/*Co-Tutor*: Manuela Lasagna

*riassunto*

Le acque sotterranee costituiscono circa il 95% dell'acqua dolce liquida sui continenti e risultano pertanto fondamentali per la vita umana, lo sviluppo economico e l'ambiente.

Le acque immagazzinate nel sottosuolo presentano vantaggi largamente riconosciuti, in quanto sfruttabili a lungo termine e con profitto, fattori che ne fanno una fonte preferenziale per l'approvvigionamento idrico ed il soddisfacimento dei bisogni di varie categorie di fruitori.

Tali vantaggi sono legati alla quantità ed alla qualità dell'acqua, come pure alle condizioni operative e di sfruttamento. La ricerca avrà come oggetto i problemi di più di vasta portata in termini della sostenibilità di risorse di acqua dolce sotterranea quali quelli legate all'aumento dei prelievi antropici, ai cambiamenti climatici e al degrado qualitativo.

In particolare il dottorato di ricerca vuole affrontare alcune delle metodiche e delle problematiche riguardanti il controllo e la protezione dal degrado qualitativo e quantitativo di questa risorsa, quali:

- La conoscenza dell'assetto idrogeologico del sottosuolo
- Il monitoraggio: qualitativo e quantitativo
- La prevenzione dal sovrasfruttamento
- La prevenzione della messa in comunicazione tra falda superficiale e profonda
- La prevenzione della contaminazione della falda superficiale
- La protezione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi
- Lo studio degli effetti del cambiamento climatico
- Lo studio della vulnerabilità degli acquiferi.

*Abstract*

*Groundwater represents about 95% of fresh water on the continents and it is fundamental for life, economical progress and environment. Groundwater in the aquifers shows advantages largely recognized, because it can be used profitably for long time, and shows good qualitative and quantitative features.*

*This research will analyze the most important problems connected to groundwater sustainability, such as the increasing withdrawal for anthropic uses, the climate changes and its consequences on groundwater and the qualitative deterioration.*

*More specifically the study aims to investigate some methods and problems concerning the control and protection from qualitative and quantitative degradation, e.g.:*

- *the knowledge of the hydrogeological setting*
- *the qualitative and quantitative monitoring*
- *the prevention of overexploitation*
- *the groundwater protection from the mixing between surface and deep aquifers*
- *the preservation of qualitative features of surface aquifers*
- *the protection of recharge areas of deep aquifers*
- *the study of effects of climate change*
- *the aquifer vulnerability*

\*\*\*\*\*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca autofinanziata De Luca .....



Progetto n. 23

TITLE: Climate - permafrost interaction effects on high altitude alpine areas

TITOLO: Effetti dell'interazione clima - permafrost sulle aree alpine di alta quota

Tutor: Dr. Simona Fratianni

Co-tutor: Dr. Cristian Scapozza (SUPSI Svizzera)

It is well-known that in the Alps there is an ongoing temperature increase together with changes in snowfall and precipitation regime. Monitoring of climate variables and associated thermal and kinematic characteristics of rock glaciers (morphological indicators of ice-rich permafrost presence) throughout the Alps have already provided evidence of permafrost degradation and related modifications in rock glacier dynamics during the last decades. Although the number of local studies devoted to the investigation of the relationships between climate change and rock glacier kinematics has risen during the last years, a comprehensive assessment of these relations at Alpine scale is still missing. Thus, the understanding of the effects of climate change on rock glacier kinematics at Alpine scale must be considered of fundamental relevance. The overall goal is to achieve a comprehensive assessment of climate change effects on rock glacier kinematics, using as base-dataset already available about regional inventories of rock glaciers across the Alps. Starting from analysis results and individuated trends/correlations, custom-derived downscaled climate projections will be used in order to predict the effects of climate warming on rock glacier dynamics behaviour.

Inter-annual surface velocities and volumetric evolutions of rock glaciers will be analysed using space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) technique; if possible, intra-annual velocity variations will be detected during the snow-free period. The correlation between surface velocities and climatic parameters will be analysed.

È ormai riconosciuto che nelle Alpi è in corso un aumento delle temperature e un cambiamento nel regime nivometrico e delle precipitazioni. Negli ultimi decenni è quindi iniziato un monitoraggio sistematico della temperatura e dei movimenti dei ghiacciai rocciosi attivi nell'intero arco alpino che forniscono dati sull'evoluzione del permafrost ma allo stato attuale non esiste un catasto comune. Non si ha nemmeno una conoscenza dettagliata del bilancio di calore dello strato attivo, variabile molto complessa che dipende da diversi parametri, in particolare dalle condizioni atmosferiche, dalla distribuzione granulometrica e spessore dello strato di detriti, e dal ghiaccio presente nel suolo.

L'obiettivo generale è quello di raggiungere una valutazione globale dei parametri climatici e degli effetti del cambiamento climatico sulla velocità e sulle caratteristiche termiche superficiali dei rock glaciers, all'interno di siti selezionati sulle Alpi. A partire dalle analisi dei risultati e delle tendenze/correlazioni individuate, proiezioni climatiche ridimensionate a specifica scala potrebbero essere utilizzate al fine di prevedere gli effetti del riscaldamento globale sulla dinamica dei rock glaciers. Un ulteriore obiettivo del progetto è la valutazione degli effetti del clima sulla degradazione del permafrost in alta montagna.

La velocità superficiale e le evoluzioni volumetriche dei rock glaciers saranno analizzate utilizzando la tecnica (dati Cosmo-SkyMed) dello Spaceborne Synthetic Aperture Radar (SAR); se possibile, le variazioni della velocità intra-annuale saranno rilevate durante il periodo senza copertura nevosa. Saranno inoltre analizzate le correlazioni tra velocità di superficie e parametri climatici. I cambiamenti a lungo termine (decennale e pluri-decennale) che interessano le dinamiche rock glaciers saranno determinati con l'analisi fotogrammetrica.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi alla Dr. Simona FRATIANNI.



Progetto n. 24

**TITOLO: Valorizzazione innovativa del patrimonio geologico in Piemonte: casi di studio selezionati**

*TITLE: Innovative enhancement of geoheritage in the Piemonte Region (Italy): selected case studies*

Tutore: **Dr. Francesca LOZAR** (Università di Torino; email: [francesca.lozar@unito.it](mailto:francesca.lozar@unito.it))

Co-Tutore: **Prof. Marco GIARDINO, dr. Luigi PEROTTI** (Università di Torino)

Il Patrimonio geologico è d'importanza pubblica. Alcuni geositi sono fondamentali per far progredire –a varia scala- le conoscenze sui temi delle scienze della Terra, come ad esempio l'assetto geologico e geomorfologico locale, i cambiamenti climatici e ambientali a scala regionale, l'evoluzione globale della vita. Il progetto di dottorato analizzerà i siti che hanno un elevato potenziale per gli studi scientifici, per valorizzare il loro uso come “aule all'aperto”, per migliorare la conoscenza pubblica delle scienze geologiche, per scopi ricreativi, per sviluppare il loro valore economico per le comunità locali. Il loro elevato valore come beni culturali e naturali, stimolandone la valorizzazione, potrà anche favorirne la protezione.

La collaborazione tra le enti amministrative e gestionali (sia nazionali, sia locali) e altri istituzioni private saranno la base per approcci innovativi alla conservazione dei geositi e garantiranno che essi possono essere conservati in perpetuo e gestiti per l'uso, il godimento, e il progresso scientifico delle generazioni future. L'integrazione della conservazione dei geositi e della loro gestione avrà come obiettivi siti della regione Piemonte già sotto la tutela UNESCO (Sesia Valgrande Geopark; Langhe, Roero e Monferrato; Monviso: CollinaPO). Il confronto con iniziative simili in tutto il mondo, comporterà l'individuazione di nuove strategie per rendere i geositi una fonte di reddito sostenibile per le comunità locali attraverso il turismo e altre attività di valorizzazione, che terranno conto anche dei principi dello sviluppo sostenibile dei geositi stessi.

Geoheritage is matter of public interest. Some geosites are critical to advancing Earth Science knowledge on several topics and at different scales, such as local geological and geomorphological settings, regional climate and environmental changes, global evolution of life. The PhD project will analyze geosites having high potential for scientific studies, for developing their use as outdoor classrooms, enhancement public understanding of Earth Sciences, recreation, for developing economic support to local communities. Their value, both as cultural and natural assets, stimulating their valorization, will also favor their protection.

Partnerships among administrative organizations (both national and local ones), and other private parties will be the base for innovative approaches to conserving geoheritage sites and ensure that they can be preserved in perpetuity and managed for the use, enjoyment, and scientific advancement of future generations.

Integration of geoheritage site conservation and management will be performed in the Piemonte region for the enhancement of already-established UNESCO sites (Sesia Valgrande Geopark, Langhe, Roero and Monferrato, Monviso, CollinaPO). Comparison with similar worldwide initiatives will also result in new strategies for sustainable source of income for communities through tourism and related uses that incorporate principles of sustainable development of geoheritage.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca locale concessi al prof. GIARDINO e alla Dr. LOZAR.



Progetto n. 25

**TITOLO: Cinematica ed evoluzione P-T-t delle zone a deformazione localizzata in contesti collisionali.**

*TITLE: Kinematics and P-T-t evolution of localized deformation in collisional frameworks.*

Tutore: Prof. Rodolfo Carosi

Co-Tutori: Prof. Chiara Montomoli (Università di Pisa); Dr. Salvatore Iaccarino (Università di Pisa).

In contesti orogenici collisionali la deformazione può localizzarsi a tutte le scale di osservazione producendo zone di taglio litosferiche in grado di accomodare la maggior parte degli spostamenti e permettendo a *slices* crostali di raggiungere stadi diversi di metamorfismo e di essere successivamente esumati. Le zone di taglio giocano un ruolo molto importante anche durante l'esumazione delle rocce profonde. Mentre è chiaro dalla tettonica delle placche, come le unità crostali possano essere trasportate a grande profondità, nell'ambito della comunità internazionale è tutt'ora aperta la discussione sulle modalità di esumazione delle rocce più profonde. La conoscenza della geometria e della cinematica delle zone di deformazione localizzata durante l'esumazione delle unità tettoniche sono fondamentali per capire i meccanismi stessi di esumazione. E' indispensabile conoscere il tipo di flusso che caratterizza le zone di taglio per meglio definire il contesto tettonico così come il percorso Pressione, Temperatura e tempo del tetto e del letto delle zone di taglio. Un approccio multidisciplinare e l'uso delle più moderne tecniche sono necessari per affrontare con successo questo tipo di ricerche al fine di raccogliere dati significativi e validi per la discussione dei modelli di esumazione attualmente proposti ed eventualmente per proporre di nuovi.

Metodologie utilizzate:

- rilevamento geologico-strutturale, raccolta di campioni orientati e analisi mesostrutturale di zone di taglio di importanza regionale;
- analisi microstrutturale al microscopio ottico e al SEM, analisi della orientazione cristallografica preferenziale (EBSD), cinematica del flusso;
- termobarometria delle rocce del letto e del tetto e ricostruzione del loro percorso P-T-t in relazione alle zone di taglio considerate;
- modellizzazione numerica di zone di taglio.

L'acquisizione integrata di questi dati può portare alla individuazione di discontinuità tettono-metamorfiche non immediatamente evidenti né facilmente individuabili e alla comprensione del loro ruolo nella evoluzione di un orogene collisionale. Studi recenti nella catena Himalayana (Montomoli et al., 2015; Iaccarino et al., 2015; Carosi et al., 2016) dimostrano che la conoscenza di tali discontinuità crostali è necessaria per indagare i meccanismi di esumazione a scala regionale di vaste porzioni di crosta continentale subdotte e metamorfosate all'interno dello stesso ciclo orogenico mentre la convergenza è ancora attiva.

*Localization of deformation can originate crustal-scale shear zones at all scales, able to accommodate large displacements allowing to large crustal slices to reach different depths with different metamorphic imprints and to be later exhumed in collisional orogens. Anyway shear zones play an important role even in the last stage of the collision allowing the exhumation of large crustal sectors when collision is still active. Plate tectonic well-explains how crustal slices could be bring into depths but the mechanisms of their exhumation (especially syn-collisional exhumation) are still debated in the international community. Both geometry and kinematics of localized shear zones are of fundamental importance to understand exhumation mechanisms. Anyway this information must be joined to the knowledge of conditions of pressure, temperature and the P-T-t paths of the rocks in the hanging wall and footwall of the shear zones. The type of flow in the shear zones is also fundamental to better constrain the tectonic framework. A multidisciplinary approach using the most advanced analytical techniques is necessary to collect robust data allowing a discussion of the actually proposed exhumation models and to propose a new one.*

*The methods used are:*

- *geological and structural field mapping, structural analysis at the meso-scale of major shear zones and collection of oriented samples in shear zones as well as in their hanging wall and footwall;*
- *undertake microstructural analysis under optical microscope, SEM, crystallographic preferred orientation of minerals (EBSD) to characterize the sense of shear, the kinematic of the flow and the temperature of deformation;*
- *thermobarometry of the rocks in the hanging wall and in the footwall and their P-T-t paths;*
- *numerical modeling of shear zones.*

*The multidisciplinary study can led to detect not-obvious tectono-metamorphic shear zones and to better understand their role in the tectonic evolution of collisional orogens. Recent studies in the Himalayan belt (Montomoli et al., 2014; Iaccarino et al., 2015; Carosi et al., 2016) demonstrate that the knowledge of such crustal scale discontinuities is necessary to unravel exhumation mechanisms at the regional scale where wide crustal slices were subducted and metamorphosed within the same orogenic cycle when convergence was still active.*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca sulle catene collisionali concessi al Prof. R. Carosi e alla Prof. C. Montomoli.

Progetto 26



TITOLO: Filogenesi a livello di individuo di vertebrati estinti e viventi

TITLE: *Specimen-level phylogeny in extinct and extant vertebrates*

Tutore: Massimo Delfino

Co Tutori: Emanuel Tschopp (Università di Torino), Paul Upchurch (University College - London)

## Riassunto

Le analisi di rapporti filogenetici a livello di individuo basate sull'osteologia stanno diventando sempre più frequenti in paleontologia. Questo tipo di analisi filogenetica, ampiamente usata nei lavori di tipo molecolare ma raramente dai morfologi, include come unità tassonomica operativa i singoli individui invece di specie o generi e pertanto ignora le identificazioni tassonomiche precedenti realizzate con studi comparativi basati sulla morfologia.

Le analisi di rapporti filogenetici a livello di individuo possono quindi essere considerate un approccio dal basso verso l'alto per rivalutare l'attribuzione di un particolare individuo a una certa specie e infatti è stato utilizzato prevalentemente con finalità tassonomiche e sistematiche. Anche se questi elementi sono certamente importanti, il potenziale di questi studi è molto più ampio. Una analisi filogenetica a livello di individuo non fornisce solo delle informazioni sulle relazioni fra gli individui ma anche sull'importanza e la variabilità di certi tratti nell'evoluzione del taxon che si sta studiando. Correlate con stratigrafie ben datate, le prime comparse di caratteri diagnostici possono essere teoricamente collocate con precisione nel tempo e nello spazio. Ulteriori correlazioni con dati di carattere paleoclimatico, paleoambientale o molecolare possono fornire informazioni evolutive di dettaglio.

Tuttavia, le matrici morfologiche utilizzate per gli studi filogenetici presentano alcune difficoltà per le analisi cladistiche e i set di dati paleontologici in particolare offrono un certo numero di sfide metodologiche che il ricercatore deve affrontare nell'approntare una analisi a livello di individuo. Questo progetto si prefigge quindi di valutare differenti approcci metodologici in vari cladi di vertebrati estinti e viventi e intende offrire informazioni su quale tipo di analisi possa produrre risultati accurati nel loro studio, con lo scopo ultimo di fornire nuovi dati sull'evoluzione di alcuni caratteri morfologici nel corso del tempo e quindi confrontare i tassi evolutivi nei cladi studiati.

## Abstract

*Specimen-level phylogenetic analysis based on osteology is becoming increasingly popular in vertebrate palaeontology. This kind of phylogenetic analysis includes single specimens instead of species or genera as operational taxonomic units, and thus ignores earlier taxonomic identifications based on morphological comparative studies. It is widely used in molecular phylogenetic studies, but rarely by morphologists.*

*Specimen-level phylogenetic analyses can be considered a bottom-up approach to reassess the referral of a particular specimen to a species, and has indeed predominantly been used for taxonomic and systematic purposes. Whereas these issues are certainly important, the potential of these studies is much larger. A specimen-level phylogenetic analysis not only provides information about relationships between individuals, but also on the importance and variability of certain traits in the evolution of the taxon under study. When correlated with a well-dated stratigraphy, first occurrences of diagnostic traits can theoretically be pinpointed to a particular time and place. Further correlations with paleoclimatic, paleoenvironmental, or molecular data can then yield information on evolution in preeminent detail.*



**Università degli Studi di Torino**  
**Doctoral School of Sciences and Innovative  
Technologies Doctorate in Earth Sciences**



*Morphological phylogenetic matrices are prone to particular difficulties for cladistic analysis, however. Paleontological data sets in particular present a number of methodological challenges that researchers have to cope with when setting up a specimen-level phylogenetic analysis. The proposed project aims to evaluate different methodological approaches in various vertebrate clades of both extinct and extant taxa. It will provide crucial information on what kind of analysis is most accurate in which taxon, yield new data on character evolution across vertebrates through time, and allow to compare evolutionary rates across clades.*

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca concessi al Prof. M. Delfino.



Progetto 27

TITLE: Evaluation of drought in Italy and effects on water resources

TITOLO: Valutazione della siccità in Italia ed effetti sulle risorse idriche.

Tutor: Dott.ssa Simona FRATIANNI (Università di Torino); Co-Tutors: Prof. Carlos Hidalgo (Università di Saragozza, SP)

Main lines. Drought are one of the most important consequences on natural and socioeconomic systems by changes on climate conditions. Their effects are very difficult to predict both at spatial and temporal scale, their need specific tools and different environmental data to be recognized. In the present project we propose to analyze the spatial and temporal evolution of drought in Italy. Main objectives (1) Identify the temporal and spatial distribution of the main drought episodes by length and intensity (2) their effect on water resources. Main documental sources (1) Landsat imageries collection (2) Climate data, mainly precipitation and temperature (3) groundwater and surface water levels and discharges. Methods (1) Quantify Potential Evapotranspiration (PE) from Landsat series and their spatial distribution (2) Quantify the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and detect the most important period by length and intensity (3) statistical analyses on water level series. Main results expected (1) Identify the relationship between main drought episodes and climate factors (2) identify the impacts on water resources availability.

Linee di ricerca. La siccità è una delle più importanti conseguenze sui sistemi naturali e socio-economici dovute alle variazioni climatiche. I loro effetti sono molto difficili da prevedere sia a scala spaziale che temporale e per essere individuati necessitano di strumenti specifici e dati ambientali diversi. In questo progetto proponiamo di analizzare gli episodi di siccità in Italia. Obiettivi principali (1) Identificare la distribuzione spaziale e temporale degli episodi principali di siccità in base alla lunghezza e intensità (2) loro effetto sulle risorse idriche. Principali fonti documentali (1) raccolta di immagini Landsat (2) dati climatici, principalmente precipitazioni e temperatura (3) livelli delle acque superficiali e sotterranee e scarichi. Metodi (1) Quantificare l'evapotraspirazione potenziale (EP) dalla serie Landsat e la distribuzione spaziale (2) quantificare lo Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) nelle aree studiate e individuare il periodo più importante per lunghezza e intensità (3) effettuare l'analisi statistica delle serie di livello delle acque. Principali risultati attesi (1) identificare la relazione tra i principali episodi di siccità e i fattori climatici (2) identificare gli impatti sulla disponibilità delle risorse idriche.

Le spese di funzionamento del presente progetto di Dottorato saranno finanziate nell'ambito dei fondi di ricerca autofinanziata concessi alla Dr.ssa Simona FRATIANNI.