

# Specifiche per la pubblicazione del bando di concorso XXXV ciclo

## SCIENZE DELLA TERRA

Tipologia di procedura selezionata: PROCEDURA UNICA

### Descrizione del dottorato

descrizione:

Il Corso di Dottorato in Scienze della Terra (SdT) costituisce il terzo livello di formazione universitaria su tematiche di ricerca avanzata inerenti il sistema terra solida-idrosfera-atmosfera. L'obiettivo principale del Corso di Dottorato è formare esperti di alta qualificazione scientifica. Le attività di ricerca che verranno sviluppate durante il corso verteranno su tematiche di punta nell'ambito delle Scienze della Terra, che potranno essere sviluppate sia in ambito nazionale che internazionale. Lo studente di dottorato in Scienze della Terra acquisirà conoscenze specifiche e svilupperà un progetto di ricerca avanzato sulle maggiori tematiche dibattute a livello internazionale in uno dei seguenti ambiti: Geodinamica, Vulcanologia, Ambiente, Territorio, Energia, Risorse, Rischi, Clima. Il Corso di Dottorato in SdT è organizzato nei seguenti due curricula: (1) Geodinamica, Vulcanologia. Lo studente afferente a questo curriculum svilupperà un progetto di ricerca avanzato inerente alle maggiori tematiche dibattute a livello internazionale di Geologia Strutturale, Tettonica, Geofisica, Geodinamica e Vulcanologia. Lo studente approfondirà conoscenze specifiche riguardanti la deformazione e reologia della crosta e litosfera continentale, tettonica regionale, vulcanismo, modellazione di processi tettonici, vulcanici e geodinamici, meccanismi eruttivi, reologia e proprietà fisiche dei magmi. (2) Risorse, Ambiente e Territorio. Lo studente afferente a questo curriculum svilupperà un progetto di ricerca avanzato inerente alle maggiori tematiche dibattute a livello internazionale di Ambiente, Territorio, Energia, Risorse, Rischi, Clima. Lo studente approfondirà conoscenze specifiche riguardanti ricostruzioni paleoclimatiche e paleoambientali, risorse energetiche, (idrocarburi, geotermia), risorse idriche e dissesto idrogeologico, pianificazione e salvaguardia del territorio, geochimica e geochimica ambientale. Il collegio dei docenti è composto da esperti riconosciuti internazionalmente delle discipline menzionate. Nel corso del Dottorato gli studenti lavoreranno nell'ambito della ricerca sia di base sia applicata. Le tesi di dottorato verranno svolte in laboratori altamente qualificati e/o sul terreno in aree del mondo di specifico interesse. Gli studenti di dottorato lavoreranno in un ambiente altamente stimolante caratterizzato da una collaborazione di gruppi di ricerca afferenti a diverse discipline al fine di realizzare una solida base scientifica e professionale per le loro future carriere nei campi della ricerca delle Scienze della Terra. Il percorso formativo del Corso SdT è rivolto a formare professionalità con potenziale sviluppo occupazionale presso società pubbliche e private, nazionali e internazionali e università e centri di ricerca, pubblici e privati, che sviluppano didattica e ricerca avanzata su tematiche inerenti le discipline delle Scienze della Terra.

titolo (ing.):

Earth Sciences

descrizione (ing.):

The PhD program in "Earth Sciences" (SdT) is the third level of university education on topics focused on the cutting-edge research in solid earth-hydrosphere-atmosphere. The main aim of the program is to train experts of high scientific qualification. The research activities that will be developed encompass fundamental Earth sciences disciplines at both national and international levels. The PhD student will acquire specific knowledge and professional skills and will develop a research project on advanced topics, debated in the international community, in Geodynamics, Volcanology, Environment, Climate, Resources, Energy and Geological Risks. The program in "Earth Sciences" is organized in two main

curricula: (1) Geodynamics and Volcanology (2) Resources and Environment. (1) Geodynamics and Volcanology. The student will develop a research project focused on the main topics debated at international levels related to Structural Geology, Tectonics, Geophysics and Volcanology. The student will acquire specific knowledge on the deformation and rheology of the crust and continental lithosphere, regional tectonics, modelling of tectonic, volcanic and geodynamic processes, eruptive dynamics and rheology and physical properties of magma. (2) Resources and Environment. The student will develop a research project focused on the main topics debated at international levels related to Resources, Energy, Environment, Climate and Geological Risks. The student will acquire specific knowledge on the paleo-environment and paleo-climatic reconstructions, energy (hydrocarbons and geothermal energy), hydric resources and hydrogeological risk, territory management, geochemistry and environmental geochemistry and modelling of geological processes. The board of supervisors consists of worldwide recognized experts specialized in the cited disciplines. Within the Ph.D. Course, students will benefit from top-level basic and applied research. Doctoral theses will be carried out in laboratories characterized by multi-disciplinary research approach, and/or field work in selected regions around the world. Ph.D. students will work in a stimulating environment characterized by a strong integration and cooperation among different Earth science disciplines, building up a strong background for their future career in Earth science research fields. The Ph.D. program aims at creating professional figures in public institutions and private companies, national and international and in universities and research centers devoted to research and education in Earth science.

## Procedure attivate

PROCEDURA STANDARD	SI (OBBLIGATORIA)
PROCEDURA RISERVATA PER STRANIERI	SI
PROCEDURA RISERVATA PER BORSISTI ESTERI	NO

## Procedura standard

### Specifiche economiche

#### Specifiche economiche complessive per il corso contenute nella richiesta di accreditamento

Borse Ateneo	Borse Dipartimento	Borse Esterne	Posti senza borsa	Borse Riservate
4	1	0	1	1

### Tematiche definite per il dottorato

#### - La contaminazione del sottosuolo da parte dei NAPL. Datazione e valutazione dell'attenuazione del contaminante nell'ambiente

Questa ricerca è incentrata sullo studio della contaminazione del sottosuolo da parte di NAPL, sostanze scarsamente solubili in acqua e difficilmente miscibili con essa, come gli idrocarburi e i loro derivati. Quando si verifica uno sversamento, queste sostanze possono essere assorbite dal terreno e raggiungere la falda freatica, provocandone la contaminazione. La gestione di siti contaminati da NAPL si confronta ancora con alcune criticità derivanti dall'assenza di metodi standardizzati e legalmente validi per l'acquisizione di informazioni essenziali, come l'età dello sversamento e la mancanza di previsioni affidabili sui tempi di risposta del singolo sito alle procedure di bonifica. Questa tematica riguarda lo sviluppo di un approccio innovativo e integrato concernente la datazione dello sversamento, il monitoraggio spazio-temporale della distribuzione e concentrazione dei NAPL e la valutazione dei tempi di attenuazione naturale delle concentrazioni dell'inquinante in siti caratterizzati da diversi substrati geologici e con differenti età dello sversamento. La

determinazione dell'età della contaminazione aiuterebbe nel superamento di molte controversie legali per l'attribuzione delle spese di recupero ambientale ai soggetti responsabili dell'inquinamento. Tale obiettivo potrebbe essere raggiunto attraverso l'utilizzo di metodi radiometrici, basati sulla variazione temporale del rapporto  $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$  nei NAPL per effetto di processi di recoil / diffusione dal terreno all'inquinante, integrato da studi sulla degradazione di queste sostanze nel terreno attraverso lo studio dei bio-marker. Le attività di monitoraggio spazio-temporale potrebbero far uso di traccianti geochimici, come il radon (con una forte affinità per i NAPL), la  $\text{CO}_2$ , il  $\text{CH}_4$ , l' $\text{H}_2\text{S}$  e i VOC che fornirebbero informazioni aggiuntive sui processi di degradazione in atto. In particolare, il deficit di radon nei suoli e nelle acque contaminate da NAPL, validato rispetto a siti di background, si è mostrato di speciale interesse per la localizzazione e quantificazione degli inquinanti. A questo secondo obiettivo, si lega strettamente la stima dei tempi di attenuazione naturale dell'inquinante che potrebbe permettere di valutare i costi a breve e a lungo termine degli interventi di bonifica, tenendo conto della loro specifica efficacia

**- Subsoil and groundwater contamination by NAPLs. Isotopic dating and evaluation of natural attenuation of contaminants**

The main goal of this research is the study of subsoil and groundwater contamination by NAPLs (Non-Aqueous Phase Liquids), substances poorly soluble in water and scarcely miscible with it, such as oil and its derivatives. When a spill or a slow leakage from an underground storage tank occurs, NAPLs may be absorbed by the soil and reach groundwater, causing their contamination. The management of contaminated site is still problematic due to both the lack of standardized and legally valid methods to estimate the age of contaminant release and the shortage of reliable forecasts on response times of individual sites to remediation procedures. This research topic deals with the development of an integrated and innovative approach to determine the age of the spill, field monitoring of subsoil and groundwater NAPLs contamination plumes and evaluation of natural attenuation processes in sites characterized by different geological substrate and age of release. The knowledge of the age of contamination would be very important in many legal disputes for the allocation of environmental recovery costs to those responsible for pollution. This aim could be reached using radiometric methods based on the temporal change of recoiled  $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$  in NAPLs, integrated by studies on their biodegradation. Field monitoring activities could benefit from the use of geochemical tracers, such as radon,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  and VOCs which could provide supplemental data on degradation. In particular, radon deficit in soil or groundwater, validated with respect to background clean sites, is of special interest for localization and quantifications of pollutants. This is closely linked to the estimate of natural attenuation half-times useful for assessing the short and long term costs of the remediation actions, taking into account their specific effectiveness.

**- Volatili ( $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ ) confinati all'interno della silice amorfa: implicazioni per i materiali terrestri ed extraterrestri**

L'opale è un materiale relativamente comune in una vasta gamma di condizioni geologiche, e la sua formazione è comunque associata alla presenza di fluidi acquosi. L'opale è stato recentemente trovato su Marte, e viene riconosciuto sempre più come una possibile sorgente di acqua in condizioni extraterrestri. In questo progetto si propone di studiare una serie di campioni di diversa provenienza e diverso grado di "cristallinità", con lo scopo di caratterizzare in dettaglio la dinamica delle molecole volatili ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) intrappolate nelle diverse tipologie di opale. Durante la ricerca verranno esaminati sia gli effetti sul materiale dell'esposizione ai raggi UV che il comportamento dell'opale ad alta pressione, due punti finora poco o per nulla studiati. La conoscenza dei processi di intrappolamento e del comportamento fisico delle molecole volatili all'interno della silice ha implicazioni importanti per una vasta gamma di discipline, tra cui la geologia e la gemmologia, ma anche la tecnologia e l'elettronica.

**- Confined volatiles ( $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CO}_2$ ) in amorphous silica: implications for terrestrial and extraterrestrial materials**

Opaline silica is found in a broad range of geological conditions and its formation is related to the presence of an aqueous fluid. It has been recently analysed in situ on Mars and is increasingly recognized as a carrier of water in extraterrestrial environments. Opaline silica consists of a compact arrangement of spheres, and typically contains  $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}$  and  $\text{CO}_2$ . NIR spectroscopy shows that the O-H species are located within the pores between the silica spheres, while no data are available for  $\text{CO}_2$ . In this project, we will examine a series of specimens from different provenance and having different degrees of "crystallinity" and will study in detail the typology and dynamics of entrapped molecules within the different forms of silica. We will also address the role of UV irradiation on the properties of silica, as well as its behaviour at high-P. Knowledge of the entrapping process and physical behaviour of volatile molecules in silica have important implications in a broad range of disciplines; besides geology and gemmology, silica has in fact paramount applications in technology and electronics.

**- Evoluzione tettono-sedimentaria e paleobiogeografica dei bacini neogenico-quadernari della regione Transcaucasica: relazioni tra Dominio Euxinico e Aralo-Caspico**

Una delle conseguenze iniziali del processo di collisione continentale alpino-himalayana fu la suddivisione della Neotetide in due grandi province paleobiogeografiche distinte, quella occidentale, il Paleo-Mediterraneo, francamente marina, che mantenne contatti con la Paleobioprovincia Atlantica, e quella nord-orientale, la Paratetide, caratterizzata da acque salmastre. Quest'ultima fu teatro di divergenza evolutiva, con radiazioni adattative imponenti che diedero origine a numerose linee filitiche endemiche di bivalvi, gasteropodi ed ostracodi. La Provincia Paratetidea neogenica si estendeva dalle Alpi Orientali fino all'Area Aralo-Caspica, dove perdurò fino al Quaternario (il Mar Caspio ed il Mare d'Aral ne rappresentano i relitti attuali), con la presenza di numerosi grandi bacini sedimentari (Stiriano, Viennese, Pannonico, Dacico, Euxinico, Aralo-Caspico) che, in momenti diversi, furono isolati ed interconnessi, permettendo la dispersione ovest-est ed est-ovest dei contingenti faunistici endemici. Le connessioni (e le conseguenti migrazioni faunistiche) tra la Paratetide occidentale (Bacino Stiriano, B. Viennese) e la Paratetide centrale/orientale (Bacino Pannonico e B. Dacico) e tra questi settori paratetidei ed il Paleo-Mediterraneo sono stati oggetto di numerosi studi recenti basati sulla dispersione

di malacofaune ed ostracofaune (inter alia Ter Borgh et al., 2014; Neubauer et al., 2015; Stoica et al., 2016; Van Baak et al., 2016, 2018). Meno note, invece, sono le relazioni neogenico-quadernarie tra le aree della Paratetide orientale Euxinica ed Aralo-Caspica, che si svilupparono con l'evoluzione tettono-sedimentaria dei bacini Transcaucasici, anche in seguito alla strutturazione delle catene del Caucaso Maggiore e del Caucaso Minore. Lo scopo di questo progetto di ricerca è quello di investigare le relazioni tra i due bacini georgiani di Rioni (di pertinenza euxinica) e di Kura (di pertinenza caspica) e studiare i pattern migratori delle ostracofaune durante il Neogene-Quaternario. I risultati paleontologici attesi da questo studio riguardano: 1) la tassonomia delle ostracofaune neogenico-quadernarie paratetidee; 2) le modalità ed i tempi di scambio delle ostracofaune tra i domini euxinico ed aralo-caspico; 3) l'individuazione delle diverse linee filetiche all'interno delle famiglie Candonidae, Leptocytheridae e Loxoconchidae. Questi risultati avranno importanti riflessi sulla biostratigrafia basata sugli ostracodi dei potenti depositi sin- e tardo-orogonici dei bacini sedimentari della regione Transcaucasica. Il quadro biostratigrafico risultante dalle analisi paleontologiche condotte in questo progetto potrà essere vincolato attraverso datazioni radiometriche di orizzonti vulcanoclastici (Ar/Ar), dalle indicazioni magnetostratigrafiche di sezioni di riferimento, e da datazioni U-Pb su zirconi detritici. Questo approccio multidisciplinare consentirà di correlare i risultati della ricerca con gli schemi biostratigrafici di riferimento per le altre bioprovince neogenico-quadernarie della Paratetide e del Paleo-Mediterraneo. Questo progetto di ricerca dottorale potrà avere importanti ricadute legate a una migliore caratterizzazione cronostratigrafica delle successioni sedimentarie dei bacini Transcaucasici, che consentirà una più dettagliata ricostruzione delle rispettive curve di subsidenza (Geohistory analysis), con conseguenti applicazioni nell'intensa ricerca petrolifera sviluppata nell'area. Una migliore conoscenza cronostratigrafica dei depositi dei bacini Transcaucasici potrà essere, inoltre, utilizzata per vincolare meglio gli eventi tettonici che si sono succeduti durante la deformazione neogenico-quadernaria delle catene orogoniche del Caucaso Maggiore e del Caucaso Minore. Gli obiettivi previsti verranno raggiunti attraverso due approcci di studio: a) l'analisi stratigrafica e tettonica dei depositi sedimentari neogenico-quadernari di riempimento dei bacini di Rioni e Kura, attraverso il rilevamento geologico e lo studio stratigrafico multidisciplinare di sezioni chiave (biostratigrafia: ostracodi, molluschi, vertebrati e, subordinatamente, foraminiferi e nannofossili calcarei; magnetostratigrafia; tephrocronologia; datazioni radiometriche Ar/Ar su biotite e/o feldspati e U-Pb su zirconi detritici); b) l'analisi paleontologica degli ostracodi rinvenuti nelle diverse successioni sedimentarie attraverso indagini morfologiche al SEM, l'analisi morfometrica con l'utilizzo dell' algoritmo -spline e l'uso del software Morphomatica® ed il confronto con le ostracofaune conservate presso gli istituti geologico-paleontologici dell'Accademia delle Scienze della Georgia e dell'Azerbaijan.

**- Tectono-sedimentary and palaeobiogeographical evolution of the Transcaucasus sedimentary basins during Neogene and Quaternary: connections between the Euxinic and Caspian-Aral domains**

As a early consequence of the Alpine-Himalayan continental collision, the Neotethys Ocean was subdivided into two wide palaeobiogeographic provinces: the marine Palaeo-Mediterranean Palaeobioprovince to the west, in connection with the Atlantic Ocean, and the Paratethyan Palaeobioprovince to the north-east, characterised by caspi-brakish waters. During Neogene and Quaternary, the latter housed bivalves, gastropods and ostracods divergent evolution through huge adaptive radiations, which gave origin to several endemic phyletic lineages. The Neogene Paratethyan Palaeobioprovince overspread from the Eastern Alps to the Caspian- Aral region, where it lasted until Quaternary (the Caspian and Aral seas are its present relicts), subdivided in several wide sedimentary basins (Stirian, Wien, Pannonian, Dacic, Euxinic and Caspian-Aral basins) that, over time, were repeatedly connected or isolated each others, allowing the dispersion of the endemic faunas both eastwards and westwards. The connections (and the consequent faunal migrations) between the Western and Central /Eastern Paratethys (Stirian and Wien Basins vs. Pannonian and Dacic basins) and between these regions and the Palaeo-Mediterranean were recently investigated by several authors (inter alia Ter Borgh et al., 2014; Neubauer et al., 2015; Stoica et al., 2016; Van Baak et al., 2016, 2018), based on the mollusc and ostracod dispersion. Conversely, the Neogene and Quaternary connections between the Euxinic and Caspian-Aral basins (Eastern Paratethys), developed during the tectono-sedimentary evolution of the Transcaucasian region as the results of the building up of the Greater Caucasus and Lesser Caucasus mountain ranges, are less known. The aim of this research project is to investigate the connection/isolation history of two Georgian sedimentary basins, Rioni (linked to the Euxinic domain) and Kura (linked to the Caspian domain), and to study the ostracod migration patterns during Neogene and Quaternary. The expected results of this project are: 1) to improve the taxonomy of the Neogene-Quaternary Paratethyan ostracods; 2) to define tempo and modes of the ostracod fauna interchanges between the Euxinic and Caspian-Aral domains; 3) to recognize the different phyletic lineages within the Families Candonidae, Leptocytheridae and Loxoconchidae. These results will improve the biostratigraphy based on ostracods of the thick sin- and late-orogonetic deposits of the Transcaucasian sedimentary basins. The obtained biostratigraphic scheme will be chronostratigraphically constrained using Ar/Ar radiometric datings of the cropping out volcanoclastic layers, the magnetostratigraphy carried on key sections, and U-Pb analyses on detrital zircon. This multidisciplinary approach will allow the correlation of the obtained data with the biostratigraphic schemes valid for the other Paratethyan areas and for the Palaeo-Mediterranean. Moreover, this research program will improve the chronostratigraphy of the Transcaucasian sedimentary successions, allowing a detailed reconstruction of the subsidence curves of each basin (Geohistory analysis), with useful application to the oil research intensively carried out in the study area. Further on, the better chronostratigraphic knowledge of the sedimentary Transcaucasian deposits will help to constrain the tectonic events occurred during the Neogene-Quaternary deformation of the Greater and Lesser Caucasus orogonetic chains. The expected results will be achieved through two different approaches: a) the stratigraphic and tectonic analysis of the Neogene-Quaternary sedimentary deposits which filled the Rioni and Kura basins, carrying on the geological survey and the multidisciplinary study of key sections (biostratigraphy using ostracods, molluscs, vertebrates and, subordinately,

foraminifers and calcareous nanofossils; tephrochronology, Ar/Ar radiometric dating on biotites and/or feldspars and U/Pb analyses on detrital zircon; b) the paleontologic study of the ostracods collected from the different study sections through the morphological analyses under the Optical Stereomicroscope and the Scanning Electron Microscope, the morphometrical analysis using the -spline algorithm and the software Morphomatica®, and the comparison with the ostracod collections stored at the geological and paleontological institutes of the Georgian and Azerbaijan Academy of Science.

**- Architettura strutturale e storia di seppellimento ed esumazione della catena orogenica del Rif occidentale (Marocco settentrionale) dal Bacino del Flysch alle unità del pre-Rif durante l'orogenesi alpina**

La catena orogenica arcuate che si sviluppa tra le Betiche (Spagna) e la catena del Rif (Marocco) attraverso l'arco di Gibilterra costituisce la terminazione occidentale del sistema orogenico alpino nell'area mediterranea. Questo orogene è parte di una catena sviluppata lungo il margine attivo della zona di subduzione del Mediterraneo occidentale nel corso della convergenza meso-cenozoica delle placche Africana e Iberia-Eurasia. La proposta di ricerca intende contribuire a vincolare i processi associati alla costruzione degli orogeni in contesti di accrezione e di collisione studiando le unità tettono-stratigrafiche sedimentarie che costituiscono il Rif occidentale. In particolare, la catena a pieghe e sovrascorrimenti nella porzione dei segmenti dell'intra-Rif, meso-Rif e pre-Rif nel Marocco settentrionale rappresenta un caso di studio ideale per il raggiungimento del suddetto obiettivo attraverso la realizzazione di una serie di transetti regionali che attraversano la catena dal Bacino del Flysch all'avampaese. L'importanza di questo studio consiste nel: - definire l'influenza dell'architettura mesozoica del paleo-margine passivo africano sugli stili strutturali della catena e sulle modalità di propagazione dei sovrascorrimenti, in un'area caratterizzata da importanti variazioni laterali dello spessore crostale. - comprendere stili e velocità di esumazione delle unità mesozoiche affioranti, che sappiamo presentare un valore di maturità termica elevato nell'ambito della diagenesi. Obiettivi: L'obiettivo primario di questa ricerca sarà quello di utilizzare la geologia di terreno e indagini specifiche di laboratorio per ricostruire l'evoluzione cinematica della catena attraverso la storia di seppellimento ed esumazione delle unità tettoniche che costituiscono la catena a pieghe e sovrascorrimenti del Rif occidentale. Ulteriori obiettivi specifici saranno: (i) la ricostruzione della vergenza durante la strutturazione alpina; (ii) la ricostruzione del timing della deformazione; (iii) l'inizio dell'inversione tettonica.. Metodi e materiali: La ricerca si baserà su un approccio metodologico multidisciplinare che intende combinare il rilevamento geologico e l'analisi strutturale alla meso-scala con indagini di laboratorio e l'interpretazione di sezioni sismiche e log di sondaggi profondi. Il lavoro di terreno, di laboratorio e di interpretazione di sottosuolo verrà condotto su tre transetti regionali dal bacino del Flysch all'avampaese e sarà indirizzato alla caratterizzazione dell'architettura strutturale dell'area di studio e alla cartografia dei principali contatti tettonici tra le unità tettoniche affioranti. Le indagini di laboratorio comprenderanno la petrografia organica e la spettroscopia Raman per la caratterizzazione della maturità termica della materia organica dispersa nei sedimenti e la mineralogia delle argille per ricostruire i diversi regimi paleo-geotermici per definire l'evoluzione della storia di seppellimento-esumazione delle unità tettoniche principali nonché le velocità dei processi tettonici durante la costruzione dell'orogeneo.

**- Structural architecture and burial-exhumation history of the Western Rif orogenic wedge (Northern Morocco) from the Flysch basin to the pre-Rif Units during the Alpine orogeny**

The arcuate orogenic belt running from the Betics (Spain) to the Rif (Morocco) across the Gibraltar Arc forms the western termination of the Mediterranean Alpine orogenic system. This orogen is a part of a mountain belt developed along the active margin of the western Mediterranean subduction zone during the Mesozoic-Cenozoic convergence between African and Iberia-Eurasia plates. The research proposal is intended to contribute to constrain processes associated with orogenic construction in collisional and accretionary orogens by studying tectonic units deformed in the diagenetic realm. The fold-and-thrust belt edifice exposed in the Intra- Meso- and Pre-Rif belt of northern Morocco provides an ideal case study to achieve this purpose across a series of regional structural transects running from the Flysch basin tectonic units to the foreland (e.g., Mauretanian, Massilian, Intra-Rif, Meso-Rif and Pre-Rif units). The importance of this study consists in: - defining the influence of the Mesozoic architecture of the African paleo- passive margin on the structural styles and modes of thrust propagation across the chain, in an area characterized by lateral variations in crustal thickness; - understanding the modes and rates of exhumation of the outcropping Mesozoic structural units marked by high thermal maturity in the diagenetic realm. Aims: The primary aim of this PhD study is to use field and laboratory studies to reconstruct the burial exhumation history and structural evolution of the sedimentary units that make up the Western Rif fold-and-thrust belt. Specific aims are: (i) the reconstruction of tectonic vergence during the Alpine orogenic construction; (ii) the assessment of the timing of orogenic construction; (iii) the onset of inversion. Methods: The research rationale is based on a multidisciplinary approach that combines field work and structural investigations at the mesoscale with laboratory work and seismic lines and well logs interpretation. Field, laboratory and subsurface studies will be carried out along three regional transects from the Flysch basin to the foreland and will be mainly addressed at the characterisation of the structural architecture of the study area and to map the major tectonic boundaries among the exposed tectonic units. Laboratory work will include organic petrography and Raman spectroscopy characterisation of organic matter rich units and clay mineralogy of clayey units for paleothermal purposes, in order to define the burial-exhumation evolution of the key tectonic units and hence the paleo-geothermal regimes and rates of tectonic processes during orogenic construction.

**- Il sistema collisionale Arabo-Anatolico: evidenze e cause di movimenti verticali differenziali del tardo Olocene - Recente al margine meridionale della Placca Anatolica**

Lo studio del plateau anatolico centrale (CAP), nell'ambito della zona di collisione continentale Alpino-Himalayana, è tra le più recenti frontiere nella esplorazione della formazione dei plateau orogenici. Di conseguenza, il numero di lavori di

riferimento è significativamente minore in confronto ai più grandi e conosciuti plateau del Tibet, dell'Altiplano-Puna e del Colorado. Ciononostante, recenti studi sui margini del CAP, in cui si inseriscono anche due progetti di PhD condotti negli ultimi anni presso il Corso di Dottorato di Roma Tre, hanno fortemente migliorato le conoscenze sui processi che agiscono ai margini del CAP. Recentemente, è stato dimostrato come il margine nord del CAP sia strettamente associato all'attività della Faglia Nord Anatolica, mentre quello meridionale sembra registrare un sollevamento associato al break-off dello slab in subduzione al disotto della Placca Anatolica. Tuttavia, nonostante queste recenti conoscenze sull'evoluzione dei margini del CAP, non si è ancora giunti a formulare una ricostruzione correntemente accettata per lo sviluppo del CAP, e il meccanismo della sua formazione è tutt'ora oggetto di discussione nella comunità scientifica internazionale. Recenti conoscenze sullo sviluppo del margine meridionale del CAP, e sul suo sollevamento, hanno messo in evidenza l'importanza dei processi avvenuti durante il Quaternario al limite della zona di convergenza tra la Placca Africana, la Placca Araba e la Placca Anatolica, e in generale nel settore del Mediterraneo orientale. In particolare, il progetto PhD di Nazik retmen (Roma Tre), conclusosi nel 2016, ha messo in evidenza, attraverso la presenza fino a circa 1200 m di altezza s.l.m. di depositi marini batiali del Pleistocene medio, che al margine meridionale del CAP si è avuto un sollevamento di 1.5 km negli ultimi 450.000 anni. Questo risultato testimonia una intensa mobilità verticale del margine meridionale del CAP, con picchi di velocità di sollevamento che, nel Pleistocene medio, hanno raggiunto 3.5 mm/a. Inoltre, studi ancora in corso, mostrano sollevamenti quaternari differenziali tra il margine meridionale del CAP (più veloce) e il margine nord dell'Isola di Cipro (più lento), nonostante queste due aree si trovino entrambe sulla placca sovrascorrente del sistema collisionale Africa-Eurasia. La separazione tra queste due aree a differente velocità di sollevamento quaternario avviene lungo una struttura tettonica orientata NE-SW (la Ececi Fault Zone), caratterizzata da una intensa attività sismica a bassa magnitudo. In questo quadro di nuove conoscenze sul sollevamento a lungo e medio periodo del margine meridionale del CAP, c'è da segnalare la mancanza quasi totale di studi relativi allo stato attuale del campo di velocità di sollevamento nella zona in questione. Fa eccezione il lavoro di Serpelloni et al. (2013) che presenta un unico dato GPS, relativo a una stazione collocata al margine meridionale del CAP nei pressi di Silifke. Questo singolo dato, che mostra velocità verticali di 0.8-1.4 mm/a, secondo molti esperti non è da considerarsi significativo della geodinamica del settore. Alcune delle domande ancora aperte riguardo la geodinamica del sistema collisionale del Mediterraneo orientale sono: 1) Quale è l'assetto attuale del campo delle velocità verticali in corrispondenza della zona di convergenza tra Africa ed Eurasia? 2) Ci sono attualmente evidenze di velocità verticali differenziali tra il margine meridionale del CAP e i settori circostanti (Adana-Cilicia Basin, Antalya Basin, Cipro, etc.)? 3) A cosa sarebbero dovute le eventuali differenze di uplift al margine della zona collisionale tra la placca Africana e quella Eurasiatica? 4) Che ruolo giocano i numerosi eventi sismici a bassa magnitudo che interessano la fascia NE-SW al margine SE del CAP? 5) Quali sono i meccanismi profondi che agiscono in questo settore del Mediterraneo orientale? Lo scopo di questo progetto di ricerca è quello di poter contribuire a dare una risposta ad alcune delle domande ancora aperte sulla geodinamica del Mediterraneo orientale. Questo progetto di ricerca potrà portare a una migliore conoscenza della dinamica tutt'ora attiva al margine meridionale del CAP e delle sue aree limitrofe, soprattutto in termini di movimenti verticali, e dei meccanismi responsabili della loro variabilità spazio-temporale. Questi obiettivi potranno essere raggiunti sia attraverso l'implementazione e l'aggiornamento del dataset sulle datazioni <sup>14</sup>C dei depositi del tardo Olocene presenti per l'area in esame, sia attraverso l'analisi geospaziale dei dati GPS acquisiti nelle aree di interesse su ampie finestre temporali. Inoltre, il confronto tra le velocità di sollevamento ottenute da questo progetto di ricerca, attraverso le datazioni <sup>14</sup>C di marker relativi a linee di costa tardo-quaternarie e oloceniche sollevate, con quanto registrato dalle stazioni GPS presenti nell'area di studio potrà fornire informazioni su eventuali cambiamenti nel regime dei processi responsabili del sollevamento al margine meridionale del CAP e delle sue aree limitrofe. Inoltre, l'analisi della sismicità che caratterizza il margine sudorientale del CAP potrà fornire ulteriori informazioni sui processi profondi che hanno determinato i sollevamenti differenziali tra il margine meridionale del CAP e le aree circostanti, e che probabilmente sono tutt'ora attivi.

**- The Arabian-Anatolian collision system: evidence and causes for Holocene-to-Recent differential vertical movements at the southern margin of the Anatolian Plate.**

The study of the Central Anatolian Plateau (CAP), in the framework of the Alpine-Himalayan continental collision, is one of the most recent frontiers in the exploration of the orogenic plateaus. As a consequence, scientific papers on the CAP are significantly less than that referring to the larger and more known orogenic plateaus like Tibet, Altiplano-Puna, and Colorado plateaus. Nevertheless, recent studies, carried out also at Roma Tre University, greatly increased our knowledge on the processes that are active at the CAP margins. Recently, it has been demonstrated that CAP northern margin is strictly associated to the activity of the Northern Anatolian Fault Zone (Yildirim et al., 2013), whereas the CAP southern margin seems to be associated to the slab break-off of the subducting plate beneath Anatolia (Cosentino et al., 2012; Schildgen et al., 2012, 2014; retmen et al., 2018). Though these recent studies, which improved our knowledge on the evolution of the CAP margins, the scientific community did not get a general consensus on the development of the CAP, and the mechanism for its formation is still matter of debate. In particular, in the Gülnar region (CAP southern margin), retmen et al. (2018) recognized the presence of Middle Pleistocene bathyal marine deposits up to 1200 m of elevation, pointing to ca. 1.5 km of uplift in the last 450 kyr. This result testifies a strong vertical movement at the CAP southern margin, with peak of uplift rate that reached 3.5 mm/yr in the Middle Pleistocene. In addition, researches that are still going on, show differential Quaternary uplift between the CAP southern margin (faster) and the northern margin of Cyprus (slower), although both these areas belong to the overriding plate of the Africa-Eurasia collisional system. The separation between these two areas with different uplift velocity occurs in correspondence with an active NE-SW tectonic element (Ececi Fault Zone), which is characterized by an intense seismic activity with low magnitude earthquakes. In

this framework of new knowledge on the long-term and mid-term uplift of the CAP southern margin, it is worth to note the almost total missing of data on the Present-day field of vertical velocity for the study area. The only exception is the paper by Serpelloni et al. (2013), which shows only one GPS data referable to a GPS station located at the CAP southern margin close to Silifke. This GPS station shows vertical velocity between 0.8 to 1.4 mm/yr. According to several authors, this data cannot be considered meaningful to reconstruct the vertical velocity of the CAP southern margin. Some of the open questions, which are still unanswered, on the geodynamics of the Eastern Mediterranean collisional system are the following: 1) Which is the Present-day vertical velocity field across the Africa-Eurasia collision zone in the Eastern Mediterranean? 2) Are there any evidence of differential vertical movements between the CAP southern margin and the surroundings areas (Adana-Cilicia Basin, Antalya Basin, Cyprus, etc.)? 3) What are the causes for differential vertical movements across the collision zone between the African and Eurasian plates, in the Eastern Mediterranean, if any? 4) What is the meaning of the low-magnitude earthquakes that daily occur along a NE-SW seismic zone at the SE margin of the CAP? 5) What are the deep mechanisms that are active in this part of the Arabian-Anatolian collision system? The aim of this PhD project is to contribute to answer some of the still open questions on the geodynamics of the Eastern Mediterranean. This project could provide more information on the active dynamics at the southern margin of the CAP as well as in the surrounding areas, mainly on the differential vertical movements and on the mechanisms responsible for their spatio-temporal variability. These objectives could be achieved through both the implementation of the 14C dataset on late Holocene sea-level markers acquired at the CAP southern margin during previous research projects and the geospatial analysis of GPS data from the study area for large time windows. In addition, the comparison between the late Holocene uplift rates provided through the 14C datings of biomarkers related to uplifted coast lines and the vertical movements recorded by the GPS stations from the study area could provide additional information on possible temporal changes in the processes responsible for the uplift of the CAP southern margin and surrounding areas. Moreover, the analysis of the seismicity that characterizes the SE margin of the CAP could provide more information on the deep processes responsible for the differential uplift that have been occurring since the Middle Pleistocene on the overriding plate of the Arabian-Anatolian collision system, which are possibly still active.

**- : Contributo statico e dinamico all'elevazione della cordigliera andina**

L'elevazione della catena andina e la sua evoluzione è oggetto di numerosi studi per stimare velocità e tempistica del sollevamento regionale e ricostruire le possibili cause. Il processo di sollevamento è stato relazionato a cause dinamiche, come rimozioni del mantello litosferico, rottura dello slab e idratazione del cuneo di mantello. Questo progetto di ricerca si ripropone di vincolare la topografia residua e dinamica della cordigliera andina, utilizzando dati sismologici e gravimetrici e modellazione numerica. Il prodotto della ricerca permetterà di ricostruire l'origine dei processi che hanno portato al sollevamento della catena e dell'adiacente plateau orogenico. Il progetto si propone di formare uno studente nel settore della geodinamica che sia in grado di integrare un dataset composito di carattere geofisico e di interpretarlo in maniera critica, contestualmente alle conoscenze geologiche regionali e ai risultati di modellazione geofisica e analogica che egli stesso produrrà.

**- Static and dynamic contribution on the elevation of the Cordilleras of the Andes**

The topographic elevation of the Andes Cordillera and its evolution has been the focus of several studies dedicated to estimate rates and timing of regional uplift and to infer the possible causes. The uplift process has been commonly attributed to dynamics causes, such as the removal of the mantle lithosphere, slab break-off or hydration of the mantle wedge. The aim of this project is to constrain residual and dynamic topography of the Cordillera, using seismological and gravimetric data and a numerical modelling approach. The result of this research will provide constraints on the causes of the uplift of the Cordillera and the adjacent Puna-Altiplano Plateau. The project aims to train a student in the field of geodynamics. The student will learn to integrate a complex geophysical dataset and to critically interpret it based on available geological knowledges as well as on geophysical and analogic modeling results that he will produce.

**Il candidato sceglierà una tematica in fase di presentazione della candidatura on line**

## Procedura concorsuale

Valutazione titoli	La valutazione dei titoli riguarda il percorso formativo universitario, gli eventuali ulteriori percorsi formativi, le esperienze professionali e di ricerca, più eventuali pubblicazioni scientifiche. La valutazione è in trentesimi.
Prova orale	La Commissione Giudicatrice valuterà l'attitudine alla ricerca di ogni singolo candidato ammesso a sostenere la prova orale. Oltre a domande specifiche inerenti la tematica di ricerca per la quale il candidato ha presentato domanda, verranno discussi il progetto di ricerca e i titoli presentati.

Informazioni e recapiti  
Eventuali ulteriori informazioni

e-mail: [dottorato.scienze@uniroma3.it](mailto:dottorato.scienze@uniroma3.it)  
Sito web: <https://www.scienze.uniroma3.it/phd/3>

## Curriculum studiorum

data e voto di laurea (obbligatorio)  
elenco degli esami sostenuti per la laurea **MAGISTRALE** e relative votazioni (obbligatorio)  
elenco cronologico di Borse di studio, Assegni di ricerca (et similia) percepiti  
Diplomi/certificati di conoscenza lingue estere  
Diplomi/attestati di partecipazione di corsi universitari post-lauream  
Attestati di partecipazione a gruppi di ricerca  
Attestati di partecipazione a stage  
Altri riconoscimenti (p. es.: premiazione in concorsi, seconda laurea)

## Ulteriore documentazione richiesta ai candidati

progetto di ricerca	Obbligatorio
prima lettera di presentazione (a cura di un docente)	Obbligatorio
seconda lettera di presentazione (a cura di un docente)	Obbligatorio
terza lettera di presentazione (a cura di un docente)	Obbligatorio
elenco delle pubblicazioni	Non obbligatorio
descrizione delle precedenti esperienze di ricerca	Non obbligatorio
lettera di motivazione (a cura del candidato)	Obbligatorio
abstract tesi di laurea	Obbligatorio

## Competenza linguistica richiesta ai candidati

*Il candidato dovrà obbligatoriamente conoscere le seguenti lingue:*  
INGLESE

# Procedura riservata per stranieri

## Procedura concorsuale

Valutazione titoli	La valutazione dei titoli riguarda il percorso formativo universitario, nonché gli eventuali ulteriori percorsi formativi ed esperienze professionali e di ricerca e le eventuali pubblicazioni scientifiche. La valutazione è in trentesimi.
Prova orale	La Commissione Giudicatrice valuterà l'attitudine alla ricerca di ogni singolo candidato ammesso a sostenere la prova orale. Oltre a domande specifiche inerenti la tematica di ricerca per la quale il candidato ha presentato domanda, verranno discussi il progetto di ricerca e i titoli presentati.

Informazioni e recapiti

e-mail: [dottorato.scienze@uniroma3.it](mailto:dottorato.scienze@uniroma3.it)

Eventuali ulteriori informazioni

Sito web: <https://www.scienze.uniroma3.it/phd/3>

## Curriculum studiorum

data e voto di laurea (obbligatorio)

elenco cronologico di Borse di studio, Assegni di ricerca (et similia) percepiti

Diplomi/certificati di conoscenza lingue estere

Diplomi/attestati di partecipazione di corsi universitari post-lauream

Attestati di partecipazione a gruppi di ricerca

Attestati di partecipazione a stage

Altri riconoscimenti (p. es.: premiazione in concorsi, seconda laurea)

## Ulteriore documentazione richiesta ai candidati

abstract tesi di laurea

Obbligatorio

progetto di ricerca

Obbligatorio

prima lettera di presentazione (a cura di un docente)

Obbligatorio

seconda lettera di presentazione (a cura di un docente)

Obbligatorio

terza lettera di presentazione (a cura di un docente)

Non obbligatorio

elenco delle pubblicazioni

Non obbligatorio

descrizione delle precedenti esperienze di ricerca

Non obbligatorio

lettera di motivazione (a cura del candidato)

Obbligatorio

## Competenza linguistica richiesta ai candidati

*Il candidato dovrà obbligatoriamente conoscere le seguenti lingue:*

INGLESE

Roma, 10/5/2019

**PAOLA TUCCIMEI**