

Training programme/ Offerta formativa Ciclo XXXVIII
 PhD Course/ Corso di Dottorato di Ricerca
Engineering Science

Doctoral students are required to attend at least 60 hours among basic courses, common to the two curricula, plus optional courses. The choice of courses and the distribution among the three years will be approved by the Doctorate Board. Each course includes a final exam.

I dottorandi sono tenuti a frequentare almeno 60 ore tra i corsi di base, comuni ai due curricula, più corsi opzionali. La scelta dei corsi e la distribuzione tra i tre anni sarà approvata dal Collegio dei Docenti. Per tutti i corsi è prevista una verifica finale.

Corso/Course	Moduli/Modules	Curriculum	n. Ore/Hours
"Academic writing in English for graduate students"	"Academic writing in English for graduate students"	1,2	-
Research evaluation and research project writing	"Bibliometry and research evaluation"	1,2	-
	"CV and research project writing"	1,2	
Topics in engineering mathematics and coding	"Handling Uncertainty in Complex Systems"(*)	1,2	24
	"Coding for Data Science"(*)	1,2	
Modelling of physical systems for engineering	"Introduction to HPC systems. CFD analyses in thermo-fluid dynamics."(*)	1,2	32
	"Computational mechanics for hard biological tissues: towards a patient-specific modeling"(*)	2	
Data analysis for engineering	"Big Data Analysis for Engineering and Bioengineering"(*)	1,2	16
	"Advanced Signal Processing for Engineering and Bioengineering"(*)	1,2	
Non-linear analyses of structures	"Introduction to non linear analysis of structures"(*)	1	32
	"Non linear analysis of reinforced concrete structures"(*)	1	
	"Non linear analysis of steel structures"(*)	1	
	"Non Linear Analysis of Masonry Structures"(*)	1	

Vibration-based analyses of buildings	"Vibration-based characterization of built heritage"(*)	1	24
	"Seismic protection of structures through passive and semi-active dissipative systems"(*)	1	
Seismic hazard	"Multidisciplinary studies for local seismic hazard assessment"(*)	1	32
	"Fault-Based Seismic Hazard Calculations"(*)	1	
Sustainable building materials	"Recycling and sustainability for building materials"	1	16
	"Materiali e rifiuti da costruzione"	1	
Imaging techniques for engineering	"Analysis of materials by XRPD, XRF, EPMA and microscopy with image analysis"	1, 2	24
	"Infrared Imaging for Engineering and Bioengineering"	1, 2	
	"MRI for Engineering and Bioengineering"	2	
"Functional MRI methods for Biomedical imaging"		2	8
"Bioengineering in Human-Machine Interaction"		2	8
"Additive manufacturing technologies in building construction"		1	8
"Introduction to Wind Engineering"		1	16
"Non-destructive in situ strength assessment of concrete: an overview on 249-ISC RILEM TC recommendations proposal"		1	8
"Digital transition in water distribution system management"		1, 2	8
"Advanced Topics in Port and Coastal Engineering"		1	8
"Tunnels in seismic conditions"		1	8

Curriculum 1: Engineering for sustainable and resilient infrastructures

Curriculum 2: Engineering for well-being and health

(*) compulsory base course for the curriculum/corso di base obbligatorio per lo specifico curriculum

Brief description of courses/Breve descrizione dei corsi

"Academic writing in English for graduate students"

<p>The "G. d'Annunzio" School of Advanced Studies organizes training activities in the linguistic field, offering 2 language specialization courses, specifically in English (SSD - L-LIN / 12).</p>	<p>La Scuola Superiore G. d'Annunzio organizza attività di formazione in campo linguistico, proponendo 2 corsi di perfezionamento linguistico, nello specifico di lingua inglese (SSD - L-LIN/12).</p>
--	--

"Research evaluation and research project writing"

<p>The course includes two modules (16 hours). <u>"Bibliometry and research evaluation"</u> The retrieval of bibliographic information from major international databases (SCOPUS, WoS, etc.) is the first step in scientific research to align with the state of the art on any topic. At the same time, scientific performance is evaluated both at university, ministerial and / or international level increasingly with bibliometric tools; these tools then constitute an increasingly important part of the evaluation activities. The course aims to provide the basic tools and current references on these activities. <u>"CV and research project writing"</u> Part I: The course aims to present methods of active job search, suggestions for preparing an effective curriculum vitae and advice for supporting a job interview that enhances one's skills in the academic field. Part II: The course aims to provide tips on how to effectively write a research proposal. We want to provide a brief guide on how to transform the project idea into a clear and complete document to be presented to national and international institutions in order to obtain funding.</p>	<p>Il corso prevede due moduli (16 ore) <u>"Bibliometry and research evaluation"</u> Il reperimento delle informazioni bibliografiche dai maggiori database (SCOPUS, WoS, ecc.) internazionali costituisce il primo passo della ricerca scientifica per allinearsi allo stato dell'arte su qualsiasi argomento. Allo stesso tempo, la performance scientifica viene valutata sia a livello di ateneo, ministeriale e/o internazionale sempre più con strumenti bibliometrici; questi strumenti costituiscono poi una parte sempre più importante delle attività valutative. Il corso ha l'obiettivo di fornire gli strumenti base e i riferimenti attuali su queste attività. <u>"CV and research project writing"</u> Parte I: Il corso vuole presentare modalità di ricerca attiva del lavoro, suggerimenti per la preparazione di un curriculum vitae efficace e consigli per sostenere un colloquio di lavoro che valorizzi le proprie competenze in ambito accademico. Parte II: Il corso mira a fornire suggerimenti su come scrivere efficacemente una proposta di ricerca. Si vuole fornire una breve guida su come trasformare l'idea progettuale in un documento chiaro e completo da presentare a istituzioni nazionali ed internazionali per ottenere un finanziamento.</p>
--	---

"Topics in engineering mathematics and coding"

<p>The course includes two modules. <u>"Handling Uncertainty in Complex Systems"</u></p>	<p>Il corso prevede due moduli <u>"Handling Uncertainty in Complex Systems"</u></p>
--	---

The course presents the concept of conditional probability as a tool to represent partial knowledge and Bayes' theorem as a tool for updating knowledge in complex and / or chaotic systems or in the presence of big data. In particular, the case in which the conditioning event is the attractor of a chaotic system or an unexpected event with respect to the initial probability space is analyzed.

We introduce a Bayesian update model based on Hausdorff external dimensional measurements and the concept of Hausdorff dimension of a set is presented to characterize the complexity of information.

As examples of information, images and data resulting from biomedical investigations, natural and built environments are provided.

To deepen the basic concepts of the course, the WIMS platform will be used.

At the end of the course, the student is required to present, in a short oral interview, an application of the aspects covered to topics of interest to him

"Coding for Data Science"

The purpose of this course is to provide the basic concepts of Machine Learning and Deep Learning through the use of dedicated programming environments and frameworks. First, an overview of the data analysis process will be provided followed by an introduction to the problem of learning. The basic notions of classification, regression and clustering will then be studied in depth, with particular attention to the knowledge discovery process. In this context, different regression and classification models will be analyzed, including decision trees, linear and logistic regression and artificial neural networks, with particular focus on Bayesian networks. In addition, several clustering algorithms will be analyzed, including K-Means, hierarchical clustering and density-based clustering. The second part of the course will focus on Representation Learning and Deep Learning architectures. In particular, Convolutional Neural Networks and Recurrent Neural Networks will be added. Each topic will be addressed through the use of dedicated programming environments, such as Matlab and Python. The main libraries for data analysis, Machine Learning and Deep Learning will then be shown and explained. As a further application example of data analysis, the calculation of the fractal dimension starting

Nel corso viene presentato il concetto di probabilità condizionata come strumento per rappresentare la conoscenza parziale ed il Teorema di Bayes come strumento per l'aggiornamento della conoscenza in sistemi complessi e/o caotici o in presenza di big data. Si analizza in particolare il caso in cui l'evento condizionante sia l'attrattore di un sistema caotico o un evento inatteso rispetto allo spazio di probabilità iniziale.

Si introduce un modello di aggiornamento bayesiano basato su misure esterne dimensionali di Hausdorff ed il concetto di dimensione di Hausdorff di un insieme è presentato per caratterizzare la complessità dell'informazioni.

Come esempi di informazioni vengono fornite immagini e dati risultanti da indagini biomediche, da ambienti naturali e costruiti.

Per approfondire i concetti basilari del corso verrà utilizzata la piattaforma WIMS. A conclusione del corso allo studente è richiesto di presentare, in un breve colloquio orale, un'applicazione a tematiche di suo interesse degli aspetti trattati.

"Coding for Data Science"

La finalità del corso è quella di fornire i concetti basilari del Machine Learning e Deep Learning tramite l'utilizzo di ambienti e framework di programmazione dedicati. In primo luogo, verrà fornita una panoramica del processo di analisi dei dati, seguita da un'introduzione al problema dell'apprendimento. Verranno quindi approfondite le nozioni basilari di classificazione, regressione e clustering, con particolare attenzione al processo di knowledge discovery. In questo contesto verranno analizzati diversi modelli di classificazione e regressione, inclusi alberi decisionali, regressione lineare e logistica e reti neurali artificiali, con particolare focus sulle reti bayesiane. Inoltre, verranno analizzati diversi algoritmi di clustering, tra cui K-Means, clustering gerarchico e clustering basato su densità. La seconda parte del corso sarà incentrata sulle architetture di Representation Learning e Deep Learning. In particolare verranno descritte le Reti Neurali Convoluzionali e le Reti Neurali Ricorrenti. Ogni argomento verrà affrontato mediante l'utilizzo di ambienti di programmazione dedicati, quali Matlab e Python. Verranno quindi mostrate e spiegate le

from a set of images will be shown. At the end of the course, the student is required, in a short oral interview, to apply the aspects covered to topics of interest to him.

principali librerie per l'analisi dei dati, il Machine Learning e il Deep Learning. Come ulteriore esempio applicativo di analisi dei dati, verrà mostrato il calcolo della dimensione frattale a partire da un set di immagini. A conclusione del corso allo studente è richiesto di presentare, in un breve colloquio orale, un'applicazione a tematiche di suo interesse degli aspetti trattati.

“Modelling of physical systems for engineering”

*The course includes two modules.
“Introduction to HPC systems. CFD analyses in thermo-fluid dynamics”
The course will be focused on the thermo-fluid dynamic of external and internal flows by means of CFD numerical simulations. The common turbulence models will be analyzed and different approaches, useful to solve the thermos-fluid dynamic phenomenon, will be illustrated. Students will be introduced to the knowledges useful to run a CFD simulation software on an HPC cluster; subsequently, the CFD codes and the HPC infrastructure of the INGEO Department will be used to simulate case studies concerning the PhD Course fields.*

*“Computational mechanics for soft and hard biological tissues: towards a patient-specific modeling”
The mathematical three-dimensional (3D) modeling represents a powerful predictive tool for identifying the critical issues in terms of stress and strain for any system as the biological tissues. About the biological systems, the 3D modeling allows us to investigate the mechanical response of healthy and pathological tissue and develop mechanical-based indices to use in the clinical practice to overcome the limitations of the current clinical standards and thus improve the treatment and diagnosis of pathologies. However, the biological tissues are characterized by a hierarchical (multiscale) organization and by continuous growing and remodeling processes. Moreover, to develop accurate models it is necessary that the model is subject-specific. The course will instruct on the 3D modeling of healthy and pathological bones starting from diagnostic data. In the first part of the*

*Il corso prevede due moduli
“Introduction to HPC systems. CFD analyses in thermo-fluid dynamics”
Il Corso affronterà il tema della termofluidodinamica dei flussi esterni e dei flussi interni mediante simulazioni numeriche CFD. Verranno approfondite le questioni relative ai diversi modelli di turbolenza ed ai diversi approcci di soluzione. Verranno fornite le conoscenze necessarie per un uso dei codici di calcolo su sistemi HPC e successivamente verranno utilizzati i software e le strutture di calcolo disponibili nel cluster HPC del Dipartimento INGEO per l'applicazione delle competenze acquisite su casi studio inerenti gli ambiti del Dottorato.*

*“Computational mechanics for soft and hard biological tissues: towards a patient-specific modeling”
La modellistica fisico matematica tramite modelli tridimensionali (3D) rappresenta un potente strumento previsionale per l'individuazione di criticità tenso-deformazionali riguardanti, nel suo complesso, un qualsiasi sistema ed in particolare i tessuti biologici. Nell'ambito dei sistemi biologici, i modelli non solo permettono di studiare le risposta meccanica del tessuto sia sano che patologico ma possono essere di notevole aiuto nello sviluppo di strumenti e indici a base meccanica da incorporare nella pratica clinica per superare le limitazioni degli attuali standard clinici e quindi migliorare il trattamento e la diagnosi di patologie. Tuttavia, la complessità di elaborare modelli accurati risiede nel fatto che i sistemi biologici sono caratterizzati da una organizzazione fortemente gerarchica (multiscala) e vanno incontro a continui fenomeni di crescita e rimodellamento. Inoltre, requisito*

course, participants will be introduced to basic concepts of mechanics to characterize the mechanical response of bone and concepts of finite element modeling. Moreover, the essential aspects of bone tissue that must be incorporated into the model will be illustrated. In the second part of the course, participants will be introduced to the 3D FE-based subject-specific modeling of bones with the use of some software such as ITKsnap, Comsol, and Matlab.

fondamentale per lo sviluppo di modelli accurati è la personalizzazione del modello (subject-specificity).
Il corso verterà sullo studio della modellazione tridimensionale di segmenti ossei sani e patologici a partire da dati diagnostici. Nella prima parte del corso ai partecipanti verranno fornite nozioni di meccanica per la caratterizzazione della risposta meccanica dell'osso e di modellazione agli elementi finiti, e si illustreranno le caratteristiche salienti del tessuto osseo che devono essere incorporate nel modello. Nella seconda parte si passerà allo studio della modellazione 3D agli elementi finiti subject-specific di segmenti ossei tramite l'uso di software quali ITKsnap, Comsol e Matlab.

“Data analysis for engineering”

The course includes three modules.

Big Data Analysis for Engineering and Bioengineering

The course aims to provide students with knowledge of Big Data management, processing and analysis models and techniques for decision support, understanding the advantages and limitations of the different solutions. A fundamental part of the course will be dedicated to data selection methodologies and their transformation, analysis and interpretation. The student will be able to apply the main Machine Learning techniques, use the main tools for managing and processing Big Data, and critically analyze the quality of the results obtained, through practical applications of Matlab/Python tools.

In detail, the methodologies for the exploration and data visualization, the methods for the reduction of dimensionality, the machine learning techniques for clustering, classification and regression will be studied. A part of the course will be dedicated to applications in the biomedical field.

The program of the course will cover the following main categories of topics:

- Data mining: association rules, classification and clustering - Machine learning algorithms - Applications in Python/Matlab environment

Advanced Signal Processing for Engineering and Bioengineering

Il corso prevede tre moduli

Big Data Analysis for Engineering and Bioengineering

L'insegnamento ha la finalità di fornire allo studente le conoscenze su modelli e tecniche di gestione, elaborazione e analisi di Big Data per il supporto alle decisioni, comprendendo i vantaggi e i limiti delle diverse soluzioni. Una parte fondamentale del corso sarà dedicata alle metodologie di selezione dei dati e la loro trasformazione, analisi e interpretazione. Lo studente sarà in grado di applicare le principali tecniche di Machine Learning, utilizzare i principali strumenti per la gestione e l'elaborazione di Big Data, e analizzare criticamente la qualità dei risultati ottenuti, attraverso applicazioni pratiche di tool Matlab/Python.

Nel dettaglio, si studieranno le metodologie per l'esplorazione e tecniche di visualizzazione dei dati, le metodologie per la riduzione di dimensionalità, si approfondiranno le tecniche di machine learning per il clustering, la classificazione e la regressione. Una parte del corso sarà dedicata ad applicazioni in ambito biomedico.

Il programma del corso riguarderà le seguenti principali categorie di argomenti: - Data mining: regole associative, classificazione e clustering - Algoritmi di machine learning - Applicazioni in ambiente Python/Matlab

Advanced Signal Processing for Engineering and Bioengineering

The module aims to allow the student to develop the ability to analyze the characteristics of a signal in the temporal or spatial domain, of engineering and biomedical interest, in relation to clinical/technological/scientific use. In particular, the student will be able to choose the best methodological approach for the analysis of a wide range of signals, developing the critical ability to identify and apply, among all the methods that make up the body of the teaching, the one that results to be from time to time the most appropriate according to the type of signal being analyzed and according to the purpose of the analysis itself.

The program includes:

1. Techniques for recording biomedical signals
2. Biomedical signals
3. Biomedical signal processing techniques
4. Dimension reduction
5. Classification Methods

Il modulo ha lo scopo di permettere allo studente di maturerà la capacità di analizzare le caratteristiche di un segnale nel dominio temporale o spaziale, di interesse ingegneristico e biomedico, in relazione all'utilizzo clinico/tecnologico/scientifico. In particolare, lo studente sarà in grado di scegliere il migliore approccio metodologico per l'analisi di una vasta gamma di segnali, sviluppando la capacità critica di individuare ed applicare, tra tutte le metodiche che costituiscono il corpo dell'insegnamento, quella che risulti di volta in volta la più appropriata secondo la tipologia di segnale in analisi e secondo lo scopo dell'analisi stessa.

Il programma del corso include:

1. Tecniche per l'acquisizione di segnali d'interesse
2. Tipologie di segnali
3. Tecniche di elaborazione dei segnali
4. Riduzione di dimensionalità dei segnali
5. Metodi di classificazione

“Non-linear analyses of structures”

The course consists of four modules

Introduction to Nonlinear Analysis

Material and geometric nonlinearity, plane diaphragms and rigid planes, nonlinear analysis methods, iterative methods, step integration methods

Reinforced Concrete Structures

Formulations of constitutive elements and bonds, moderation of the main nonlinear mechanisms, fiber section models, phenomenological models

Masonry structures

Behavior of masonry and constitutive bonds. Formulation of equivalent and continuous frame models. Behavior in the plane: models with concentrated and distributed plasticity with one-dimensional elements, continuous homogenized and microscale models. Linear and nonlinear analysis of out of plane mechanisms. Models for the behavior of diaphragms in the plane.

Steel structures

Il corso si compone di quattro moduli

Introduzione alle Analsisi Nonlineari

Nonlinearità materiale e geometrica, diaframmi di piano e piani rigidi, metodi di analisi nonlineari, metodi iterativi, metodi di integrazione al passo

Strutture in Cemento Armato

Formulazioni di elementi e legami costututivi, moderazione dei principali meccanismi nonlineari, modelli di sezione a fibre, modelli fenomenologici

Strutture in muratura

Comportamento della muratura e legami costitutivi. Formulazione di modelli a telaio equivalente e continui. Comportamento nel piano: modelli a plasticità concentrata e distribuita con elementi monodimensionali, modelli continui omogeneizzati e a microscala. Analisi lineari e nonlineari di meccanismi fuori piano. Modelli per il comportamento dei diaframmi nel piano.

Non-linear behavior of the material, with particular regard to hardening behavior and ductility degradation phenomena; Importance of unstable / post-critical phenomena on the non-linear behavior of braced structures equipped with shear walls; Ductile behavior of steel sections (classification); Ductile design in the non-linear field of buildings with concentric bracing; Ductile design in the non-linear field of buildings with eccentric bracing; Flexible design in the non-linear field of framed buildings; Influence of beam-column and column-foundation joints on the non-linear behavior of steel structures.

Strutture in Acciaio
Comportamento non lineare del materiale, con particolare riguardo ai comportamenti incrudenti e ai fenomeni di degrado della duttilità; Importanza dei fenomeni instabili/post-critici sul comportamento non lineare delle strutture controventate e dotate di pareti a taglio; Comportamento duttile delle sezioni in acciaio (classificazione); Progettazione duttile in campo non lineare di edifici con controventi concentrici; Progettazione duttile in campo non lineare di edifici con controventi eccentrici; Progettazione duttile in campo non lineare di edifici intelaiati; Influenza dei giunti trave-colonna e colonna-fondazione sul comportamento non lineare di strutture in acciaio.

“Vibration-based analyses of buildings”

The course includes two modules.
Vibration-based characterization of built heritage
The course aims to provide students with advanced knowledge on the dynamic characterization and structural monitoring of the built heritage, with particular reference to masonry buildings of historical-monumental interest. Through the measurement of the structural response to ambient vibrations and the application of output-only identification techniques, the student will be able to estimate and monitor over time the most significant dynamic parameters for structural control and diagnosis, and to use such parameters for the calibration of numerical models faithfully representative of the real counterpart. The theoretical lectures will alternate with experimental laboratory activities to allow the student acquiring also practical skills in the design and execution of ambient vibration tests.

Seismic protection of structures through passive and semi-active dissipative systems
The course aims to provide basic knowledge for a correct approach in the designing of passive and semiactive dissipative systems. Regarding the

Il corso prevede due moduli
Vibration-based characterization of built heritage
Il Corso intende fornire agli studenti conoscenze avanzate sulla caratterizzazione dinamica e il monitoraggio strutturale del patrimonio costruito, con particolare riferimento agli edifici in muratura di interesse storico-monumentale. Attraverso la misura della risposta strutturale alle vibrazioni ambientali e l'applicazione di tecniche di identificazione output-only, lo studente sarà in grado di stimare e monitorare nel tempo i parametri dinamici maggiormente significativi per il controllo e la diagnostica strutturale, e di utilizzare gli stessi per la calibrazione di modelli numerici fedelmente rappresentativi della controparte reale. Le lezioni teoriche frontali si alterneranno ad attività sperimentali di laboratorio per permettere allo studente di acquisire anche capacità pratiche di progettazione ed esecuzione di test di vibrazione ambientale.

Protezione sismica delle strutture attraverso sistemi dissipativi passivi e semiattivi
Il Corso fornisce le conoscenze preliminari finalizzate ad un corretto approccio per la progettazione di sistemi dissipativi passivi e semiattivi. Nel

passive control, particular attention will be given to the definition and application of design criteria for optimization of viscous elements in the dissipative coupling. Instead, the performance of the semiactive control will be analysed for the seismic mitigation of frame structures. In both cases, in order to achieve a stronger awareness in the application of the techniques analysed, numerical exercises, developed through algorithms implemented in Matlab, will be provided.

controllo passivo particolare attenzione sarà dedicata alla definizione ed applicazione di strategie di progetto semplificate utilizzate per l'ottimizzazione di elementi viscosi nell'accoppiamento dissipativo. Le prestazioni del controllo semiattivo saranno invece analizzate per la mitigazione della risposta sismica di strutture intelaiate. In entrambi i casi saranno previste esercitazioni numeriche, effettuate attraverso algoritmi in ambiente Matlab, al fine di acquisire una maggiore consapevolezza nell'applicazione delle tecniche analizzate.

"Seismic hazard"

The course includes three modules.

Multidisciplinary studies for local seismic hazard assessment

When a site is subjected to seismic shaking, the earthquake effects consist of transient or permanent phenomena: the first display themselves in terms of modifications in amplitude, frequency content and duration of ground motion (local amplification), while the latter involve ground instabilities such as landslides, liquefactions, seismic compression, cavity collapse and fault displacements. These phenomena defining the local seismic hazard, vary from place to place depending on the local geology and morphology (i.e. the local conditions). The quantitative assessment of local seismic hazard is a multidisciplinary process involving different disciplines mainly Geology, Applied Geophysics, Applied Seismology, Structural and Geotechnical Engineering. The course presents, with a multidisciplinary approach, the main steps of local seismic hazard assessment including fault characterization, definition of subsoil model from geological, geotechnical and geophysical data, quantitative evaluation of soil amplification and ground instabilities through simplified and advanced dynamic analyses.

Fault-Based Seismic Hazard Calculations

The purpose of this course is to provide the knowledge necessary for the in-depth study of tectonic earthquakes and for the evaluation of seismic hazard, on a regional and local scale, using individual seismogenic sources data

Il corso prevede due moduli

Multidisciplinary studies for local seismic hazard assessment

Quando un sito è soggetto a scuotimento sismico, gli effetti del terremoto al suolo possono generalmente essere suddivisi in transitori o permanenti: i primi si manifestano in termini di modifica del moto sismico in ampiezza, contenuto di frequenza e durata del moto suolo (amplificazione sismica locale), mentre i secondi comprendono fenomeni di instabilità del suolo e del sottosuolo quali frane, liquefazione, compressione sismica, collasso di cavità e dislocazioni in prossimità di faglie. Questi fenomeni definiscono la pericolosità sismica locale e variano da sito a sito a seconda delle condizioni geologiche e morfologiche locale (o condizioni locali). La valutazione quantitativa della pericolosità sismica locale è un processo multidisciplinare che coinvolge diverse discipline quali geologia, geofisica applicata, sismologia applicata, ingegneria strutturale e geotecnica. Il corso presenta, con un approccio multidisciplinare, le principali fasi della valutazione della pericolosità sismica locale quali la caratterizzazione delle faglie, la definizione del modello del sottosuolo a partire da dati geologici, geotecnici e geofisici, la valutazione quantitativa dell'amplificazione del moto sismico e delle instabilità attraverso analisi dinamiche semplificate e avanzate.

Fault-Based Seismic Hazard Calculations

(fault-based seismic hazard). Topics related to the seismic cycle, to the kinematics and dynamics of earthquakes, to earthquake statistics, and to time-dependent seismic hazard assessments will be explored. The course includes a practical part in which calculation codes will be used in dedicated programming environments, such as Matlab and Python, for the development of complex seismic hazard models. At the end of the course, the student is required to present, in a short oral interview, the development of a small project of fault-based seismic hazard modelling.

Il corso ha come obiettivo l'acquisizione delle conoscenze necessarie per lo studio approfondito dei terremoti tettonici e per la valutazione della pericolosità sismica, a scala regionale e locale, utilizzando dati su sorgenti sismogenetiche individuali (fault-based seismic hazard). Verranno approfonditi temi legati al ciclo sismico, alla cinematica e dinamica dei terremoti, alla statistica dei terremoti, ed alle valutazioni di pericolosità sismica time-dependent. Il corso prevede una parte pratica in cui saranno utilizzati codici di calcolo in ambienti di programmazione dedicati, quali Matlab e Python, per l'elaborazione di complessi modelli di pericolosità sismica. A conclusione del corso allo studente è richiesto di presentare, in un breve colloquio orale, l'elaborazione di un piccolo progetto di modellazione di pericolosità sismica basata su faglie.

"Sustainable building materials"

The course includes two modules.

Recycling and sustainability for building materials

The course aims to make students aware about the sustainability issues related to the construction industry, which represents one of the sectors with the highest environmental impact, in terms of energy and raw materials consumption, waste production and emissions of greenhouse gases. The course consists in a first part focused on the analysis of the main ecological problems related to the production of traditional cements and concretes. The second part deals with the detailed analysis of the possible sustainable alternatives to traditional binders. In particular, the "green" alternatives includes both the study of the recent technological innovations which made productive processes more energy-efficient, and the study of new formulations of innovative building materials, based on the use of secondary raw materials and of more sustainable binders, such as geopolymers or alkali-activated materials.

Construction and demolition waste

Construction and demolition waste (CDW) are the predominant waste at national and continental level, amounting to approximately 1/3 of the

Il corso prevede due moduli

Recycling and sustainability for building materials

Il corso ha lo scopo di mettere a conoscenza e sensibilizzare lo studente sulle principali tematiche di sostenibilità connesse con l'industria delle costruzioni, che rappresenta ancora uno dei settori a più alto impatto ambientale, per consumo di energia e materie prime, produzione di rifiuti ed emissioni di gas serra. Il corso consiste in una prima parte focalizzata sull'analisi delle principali problematiche ecologiche legate alla produzione ordinaria di cementi e calcestruzzi, per poi concentrare dettagliatamente l'attenzione sulle molteplici possibili alternative sostenibili ai leganti tradizionali. In particolare, lo studio di tali alternative "green" include sia l'analisi dei recenti progressi tecnologici che prevedono metodi di produzione più efficienti dal punto di vista energetico e basati su emissioni di carbonio ridotte, sia lo studio di nuove formulazioni di materiali da costruzione innovativi, basati sull'utilizzo di materie prime secondarie e sull'utilizzo di leganti più sostenibili, come geopolimeri o materiali alcali-attivati.

Materiali e rifiuti da costruzione

total. Their petrographic nature, understood as mineralogy, chemism and texture of the crystalline, non-crystalline and pore phases is of fundamental importance in determining the physical-mechanical characteristics of any material at the mesoscopic level. The CDWs present an extreme petrographic variability, depending on the territory of origin / production, architectural styles and / or age of the artifacts. This extreme variability has led to their limited downcycling reuse to date. On the contrary, their separation based on the physical-mechanical and petrographic characteristics would lead to an upcycling-type reuse, i.e. their reuse as secondary raw materials with constant and quantified characteristics in the construction sector or in other fields currently little or nothing explored. This paradigm shift favors the circular economy, the reduction of the volumes of materials in landfills, the abatement of new crops of virgin materials for construction and the creation of new professional profiles.

I construction and demolition waste (CDW) sono i rifiuti preponderanti a livello nazionale e continentale, ammontando a circa 1/3 del totale. La loro natura petrografica, intesa come mineralogia, chimismo e tessitura delle fasi cristalline, non-cristalline e pori è di fondamentale importanza nel determinare le caratteristiche fisico-meccaniche di qualsiasi materiale a livello mesoscopico. I CDW presentano una estrema variabilità petrografica, dipendente dal territorio di provenienza/produzione, stili architettonici e/o età dei manufatti. Questa estrema variabilità ha determinato un loro limitato riuso di tipo downcycling fino ad oggi. Al contrario, una loro separazione basata sulle caratteristiche fisico-meccaniche e petrografiche determinerebbe un riuso di tipo upcycling, ovvero il loro riuso come materie prime seconde con caratteristiche costanti e quantificate nel settore edilizio o in altri campi attualmente poco o nulla esplorati. Tale cambio di paradigma favorisce l'economia circolare, la riduzione dei volumi di materiali in discarica, l'abbattimento di nuove coltivazioni di materiali vergini per l'edilizia e la creazione di nuovi profili professionali.

"Imaging techniques for engineering"

*The course includes three modules.
Analysis of materials by XRPD, XRF, EPMA and microscopy with image analysis
Solid materials can be analyzed in many ways to characterize and quantify their meso- and microscopic peculiarities, that is, from the visible to the atomic scale. The macroscopic properties of physical type (density, color, imbibition, etc.) and mechanical (breaking strength, traction, etc.) depend on the microscopic ones. Consequently, it is of crucial importance to know the crystal-chemistry (elemental composition and arrangement in the space of the atoms) of the crystalline and non-crystalline phases present in natural solids such as rocks and in the related synthetic analogues such as ceramics, glass-ceramics, glasses, metals, etc. These peculiarities must then be complemented by the textural quantification of the phases, i.e. their absolute and relative size, abundance, shape, arrangement, etc. The*

*Il corso prevede tre moduli
Analysis of materials by XRPD, XRF, EPMA and microscopy with image analysis
I materiali solidi possono essere analizzati in molte maniere per caratterizzare e quantificare le loro peculiarità meso- e microscopiche, ovvero dalla scala visibile a quella atomica. Le proprietà macroscopiche di tipo fisico (densità, colore, imbibizione, ecc.) e meccanico (resistenza a rottura, trazione, ecc.) dipendono da quelle microscopiche. Conseguentemente, è di nodale importanza conoscere la cristallo-chimica (composizione elementale e arrangiamento nello spazio degli atomi) delle fasi cristalline e non-cristalline presenti nei solidi naturali come le rocce e nei relativi analoghi sintetici come ceramici, vetro-ceramiche, vetri, metalli, ecc. Queste peculiarità vanno poi complementare dalla quantificazione tessiturale delle fasi, ovvero la loro dimensione assoluta e relativa,*

quantification of textures is obtained from image analysis, a method increasingly used in science and applications.

Infrared Imaging for Engineering and Bioengineering

The present course allows the student to learn about a technology that has various uses in many application fields, from construction to mechanics, from monitoring industrial processes to the biomedical field: infrared thermography.

As part of the course, attention will be focused on the theoretical-physical part that is the basis of the thermal imaging method. The student will have the opportunity to learn the use of informatics tools and applications that allow to manage and analyze thermal images, in order to obtain the information necessary to understand the process of interest.

Part of the course will focus on the use of infrared thermography in the biomedical field. In this field of research, the methodology allows to estimate the distribution of the surface temperatures of the human body, without any contact, thus resulting completely non-invasive. The estimation of the cutaneous temperature is of fundamental importance since this measurement is correlated with the autonomic function, that is with the sympathetic and parasympathetic functions of the autonomic nervous system. During the course, the student will have the opportunity to know which autonomic parameters can be estimated relying on thermal infrared imaging and will be able to learn the state of the art of the applications of this technique in the diagnostic, clinical and psychometric fields. The most recent applications in the fields of artificial intelligence, human-machine interaction and medical and social robotics will also be shown. The student will also have the opportunity to "touch" the technology, since a portion of the course will focus on the practical part of measurements using the latest thermal imaging cameras on the market.

MRI for Engineering and Bioengineering

The module will allow the student to acquire the technical and scientific principles at the base of modern imaging techniques based on nuclear magnetic resonance, including specific applications. In particular, medical

abbondanza, forma, disposizione, ecc. La quantificazione delle tessiture si ottiene dall'analisi d'immagine, metodica sempre più utilizzata in campo scientifico ed applicativo.

Infrared Imaging for Engineering and Bioengineering

Il presente corso permette allo studente di conoscere una tecnologia che ha svariati utilizzi in molti campi applicativi, dall'edilizia alla meccanica, dal monitoraggio dei processi industriali al campo biomedico: la termografia nell'infrarosso.

Nell'ambito del corso, si focalizzerà l'attenzione sulla parte teorico-fisica che si trova alla base della metodica dell'imaging termico. Lo studente avrà la possibilità di apprendere l'uso di strumenti e applicativi informatici che permettono di gestire e analizzare le immagini termiche, in modo da ricavare le informazioni necessarie a comprendere il processo d'interesse. Una parte del corso sarà incentrata sull'uso della termografia infrarossa nell'ambito biomedico. In questo campo di ricerca, la metodologia permette di stimare la distribuzione delle temperature superficiali del corpo umano, senza alcun contatto, risultando così completamente non invasiva. La stima della temperatura superficiale è di fondamentale importanza poiché tale misurazione è correlata con la funzione autonoma, e cioè con le funzioni simpatiche e parasimpatiche del sistema nervoso autonomo. Durante il corso, lo studente avrà la possibilità di conoscere i parametri autonomici che possono essere stimati a partire dall'imaging infrarosso termico e potrà apprendere lo stato dell'arte delle applicazioni di tale tecnica nell'ambito diagnostico, clinico e psicometrico. Verranno inoltre mostrate le applicazioni più recenti nell'ambito dell'intelligenza artificiale, dell'interazione uomo-macchina e della robotica medica e sociale. Lo studente avrà inoltre la possibilità di "toccare con mano" la tecnologia, poiché una porzione del corso sarà incentrata sulla parte pratica di misure mediante l'uso delle più recenti termocamere sul mercato.

MRI for Engineering and Bioengineering

Il modulo permetterà allo studente di acquisire i principi tecnici e scientifici alla base del funzionamento delle moderne tecniche di imaging basate sulla

and more in general bioengineering applications will be illustrated. The student will develop the ability to evaluate the limits and strength of the discussed techniques critically and independently, in relation to a clinical, technological, and scientific use, also in comparison to alternative approaches.

risonanza magnetica nucleare, con specifici esempi di applicazione. In particolare, saranno descritte le applicazioni in ambito medico e più in generale nella bioingegneria. Alla fine del corso lo studente avrà sviluppato la capacità di valutare in modo critico ed autonomo limiti e potenzialità delle tecniche discusse, per quanto riguarda il loro utilizzo in ambito clinico, tecnologico e scientifico.

“Functional MRI methods for Biomedical imaging”

The module will allow the student to acquire the technical and scientific principles at the base of modern functional imaging techniques based on nuclear magnetic resonance. The course will include specific applications to neuroscience and medical topics. In particular, the quantification of functional variables will be illustrated together with presurgical mapping techniques of brain tumors and the related assisted surgery approaches, also based on innovative mixed reality techniques. The student will develop the ability to evaluate the limits and strength of the discussed techniques critically and independently, in relation to clinical, technological, and scientific applications, also in comparison to alternative approaches.

Il modulo permetterà allo studente di acquisire i principi tecnici e scientifici alla base del funzionamento delle moderne tecniche di imaging funzionale basate sulla risonanza magnetica nucleare, con specifici esempi di applicazione. Saranno descritte le applicazioni nel campo delle neuroscienze e in quello medico più in generale. In particolare, per quanto riguarda le applicazioni cliniche, verranno illustrati metodi di quantificazione di variabili metaboliche e le procedure di mappaggio prechirurgico dei tumori cerebrali, descrivendone l'utilizzo nei sistemi di chirurgia assistita anche basati su approcci “mixed reality”. Alla fine del corso lo studente avrà sviluppato la capacità di valutare in modo critico ed autonomo limiti e potenzialità delle tecniche discusse per quanto riguarda il loro utilizzo in ambito clinico, tecnologico e scientifico.

“Bioengineering in Human-Machine Interaction”

The purpose of the course is to introduce students to the state of the art and research trends in the field of human-machine interaction, with particular reference to the aspects of bioengineering and ergonomics. In particular, the techniques adopted to promote the interaction between human and machine will be studied and analyzed, such as mechanical and functional ergonomics, affective computing, functional cooperation between man and machine. Cases of use in assistive, surgical and industrial robotics will also be presented. The course is also open to students without specific basic training.

Scopo del corso è presentare agli studenti lo stato dell'arte e i trend di ricerca nel campo della human-machine interaction, con particolare riferimento agli aspetti di bioingegneria ed ergonomia. In particolare si studieranno e si analizzeranno le tecniche adottate per favorire l'interazione tra uomo e macchina, come l'ergonomia meccanica e funzionale, l'affective computing, la cooperazione funzionale tra uomo e macchina. Saranno inoltre presentati casi di uso in robotica assistenziale, chirurgica, industriale. Il corso è aperto anche a studenti senza una specifica formazione di base.

"Additive manufacturing technologies in building construction"

The class will provide an overview of the various 3D printing technologies focused on the possible research application in the field of construction sector. In particular, the technology of Fused Deposition Modeling (FDM) will be explained in detail by providing specific information on the different printable materials with related mechanical characteristic, energy performance and environmental impact.

In the first part of the class, a training course will start from the three-dimensional parametric modeling of objects in specific software, processing and optimization of the digital model.

The second part of the course will show how to obtain the actual FDM printing through a specific "slicer software" starting from the three-dimensional model.

Finally, a practical experience on the use of the 3D printing in a real research project regarding the construction sector will be proposed to the PhD students.

Machinery: 3D printer Delta WASP 2040 and 1Kg of PLA every 3 students, Software: Rhinoceros and Grasshopper, Ameba plugin.

Il corso fornirà una panoramica delle varie tecnologie di stampa 3D focalizzate sulla applicazione per la ricerca nel settore edile. In particolare, verrà spiegata in dettaglio la tecnologia Fused Deposition Modeling (FDM) fornendo informazioni sui diversi materiali stampabili con relative caratteristiche meccaniche, prestazioni energetiche e impatto ambientale. Nella prima parte del corso, un modulo formativo partirà dalla modellazione parametrica tridimensionale di oggetti in software specifici, elaborazione e ottimizzazione del modello digitale.

La seconda parte del corso mostrerà come passare dal modello tridimensionale alla stampa FDM attraverso uno specifico "slicer software". Ai dottorandi verrà infine proposta un'esperienza pratica sull'utilizzo della stampa 3D in un progetto di ricerca riguardante il settore edile.

Macchinari: 3D printer Delta WASP 2040 e 1Kg di PLA per ogni 3 studenti. Software: Rhinoceros and Grasshopper, Ameba plugin.

"Introduction to Wind Engineering"

The course describes the basic elements for understanding wind-structure interaction phenomena of interest to civil engineering.

The first part of the course is devoted to model the wind field in the atmospheric boundary layer and its effects on bluff bodies such as civil structures.

The second part deals with the static and dynamic response of civil structures subject to wind action, both from a theoretical point of view and with reference to the procedures suggested by the technical codes; an introduction is also given to the aeroelastic phenomena in suspension and cable-stayed bridges.

Finally, the procedures to obtain the aerodynamic and aeroelastic coefficients for some typical structural types are illustrated through examples of wind-tunnel experimental tests on in-scale models.

Il corso descrive gli elementi di base per la comprensione dei fenomeni di interazione vento-struttura di interesse per l'ingegneria civile.

Nella prima parte del corso vengono descritti la modellazione dei campi di vento nello strato limite atmosferico e gli effetti da essi prodotti su corpi tozzi quali le strutture civili.

Nella seconda parte viene trattata la risposta statica e dinamica di strutture civili soggette all'azione eolica, sia dal punto di vista teorico che con riferimento alle procedure previste dalle normative tecniche del settore; viene altresì fornita un'introduzione ai fenomeni aeroelastici nei ponti sospesi e strallati.

Vengono infine illustrati, mediante esempi di prove sperimentali in galleria del vento su modelli in scala, le procedure per determinare i coefficienti aerodinamici e aeroelastici per alcune tipiche tipologie strutturali.

“Non-destructive in situ strength assessment of concrete: an overview on 249-ISC RILEM TC recommendations proposal”

The course could be involved in discussing the 249-ISC RILEM TC recommendation to assess the in-situ compressive strength of concrete in existing structures by combining core strength values and non-destructive measurements. Both mean strength and its scatter are considered. Those Recommendations primarily focuses on the processes for estimating compressive strength (local value, mean strength, strength standard deviation) from measurements performed on site. Deriving a characteristic strength from the assessment results is not considered in that approach. The focus is given on existing reinforced concrete structures where both aging effects and reinforcing steel bars may have a great influence on NDT test results and on subsequent strength estimations. Aging effects include possible mechanical or physical deterioration (e.g. cracking, concrete delamination due to reinforcement corrosion). Another specificity of existing structures, in practice, is linked to a lack of detailed information about the concrete used, and there are no companion specimens, which could be used for comparison. The 249-ISC RILEM TC recommendation applies for most common techniques (ultrasonic pulse velocity, rebound hammer, pull-out) but also for less common techniques (penetration test, etc.). The recommendation does not apply to situations in which no core has been taken from the existing structure and is limited to situations where NDT is combined with cores.

*Il Corso ha lo scopo di presentare i principali risultati delle ricerche del gruppo di lavoro 249-ISC Rilem nell'ambito della valutazione della resistenza meccanica del calcestruzzo esistente nelle costruzioni correnti. I documenti di riferimento sono:
Breysse, D. et al. "Recommendation of RILEM TC249-ISC on non destructive in situ strength assessment of concrete", *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, (2019) 52:71
e
Rilem State-of-the-Art Reports, Volume n. 32, *Non-Destructive In Situ Strength Assessment of Concrete Practical Application of the RILEM TC 249-ISC Recommendations*, Denys Breysse & Jean-Paul Balayssac Editors, ISSN 2213-204X ISSN 2213-2031 (electronic) RILEM State-of-the-Art Reports, ISBN 978-3-030-64899-2 ISBN 978-3-030-64900-5 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64900-5>, 2021
e saranno discussi operativamente nell'ambito del corso*

“Digital transition in water distribution system management”

The course introduces rational, replicable and flexible paradigms and methodologies for the analysis, planning and management of water distribution networks (WDNs). They integrate the physically based modelling of water networks with the opportunities of information and communication technologies, together with representation of such systems using geographic information systems. In this context, the contribution of

Il corso introduce paradigmi e metodologie razionali, replicabili e flessibili per l'analisi, la pianificazione e la gestione delle reti acquedottistiche che integrano la modellazione fisicamente basata delle reti idriche con le opportunità delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, insieme e alla capacità di rappresentare questi sistemi mediante sistemi informativi geografici. In tale contesto, il contributo dell'intelligenza

artificial intelligence and complex network theory is presented to address the issues of reducing water losses in aqueducts and assessing the system reliability. The course includes: introduction of the concepts of advanced hydraulics modelling for the analysis and management of aqueducts: with elements of the theory of complex networks for WDNs; advanced methods for planning districts integrated with the monitoring of hydraulic variables; introduction to pressure control strategies; definition of optimal rehabilitation methods from the point of view of water loss management.

artificiale e della teoria delle reti complesse è presentato per affrontare le tematiche di riduzione delle perdite idriche negli acquedotti e valutazione dell'affidabilità di sistema. Il corso prevede: introduzione dei concetti di modellizzazione dell'idraulica avanzata per l'analisi e gestione degli acquedotti; elementi di teoria delle reti complesse; metodi avanzati di pianificazione delle distrettualizzazione di sistema integrata con il monitoraggio delle grandezze idrauliche; introduzione alle strategie di controllo delle pressioni; definizione di metodi di riabilitazione ottima dal punto di vista della gestione delle perdite idriche.

“Advanced Topics in Port and Coastal Engineering”

The purpose of the course is to provide extended knowledge on hydrodynamics of wave motion, focusing on the fundamental role of water waves in all nearshore dynamics, with particular reference to waves/coastal-port structures interaction. The interplay between fundamental physical phenomena and their mathematical description will be analysed, together with statistical analyses and numerical approaches used in coastal engineering to evaluate environmental loads related to waves, currents and wind. Projected climate changes and possible consequences for the coastal/port structures will be also dealt, with particular reference to the effects of the increasing extreme storm events and sea level rise in structure design.

Specific contents: Wave mechanics and processes that affect ocean waves from deep to shallow waters water towards the coast; Design principles of coastal and port structures (statistical analyses of extreme events – loads calculation for structures design – waves/structure interaction); Advanced mathematical models and numerical approaches in coastal engineering; The effects of climate changes in the design and management of coastal and harbour structures.

Scopo del corso è fornire ai dottorandi conoscenze approfondite sull'idrodinamica del moto ondoso, soffermandosi sul ruolo delle onde di mare nei processi di dinamica costiera, con particolare riferimento all'interazione tra il moto ondoso e le strutture di difesa costiera e portuali. Durante il corso saranno analizzati l'interazione tra i fenomeni fisici fondamentali e la loro descrizione attraverso i modelli analitici, l'analisi statistica di lungo periodo per la valutazione degli eventi estremi e gli approcci numerici utilizzati nel campo dell'ingegneria costiera per valutare i carichi ambientali sulle strutture indotti dal moto ondoso, dalle correnti e dal vento. Il corso, inoltre, tratterà la resilienza delle strutture costiere ai cambiamenti climatici (e.g., innalzamento del l.m.m. ed incremento delle mareggiate estreme), con particolare riferimento agli attuali criteri di progettazione ed agli sviluppi futuri di ricerca.

Contenuti specifici: Meccanica delle onde e processi di trasformazione delle onde dalle acque profonde sino ai bassi fondali; Principi di progettazione delle strutture costiere e portuali (analisi statistiche di eventi estremi – calcolo dei carichi per la progettazione delle strutture – interazione onde/struttura); Modelli matematici avanzati e approcci numerici nell'ingegneria costiera; Effetti dei cambiamenti climatici nella progettazione e gestione delle strutture costiere e portuali.



“Tunnels in seismic conditions”

The course has a dual objective: the first is to provide the student with the theoretical tools for understanding the problem of the interaction of underground tunnels with the ground in seismic conditions; the second is to provide the ability to carry out analyses aimed at designing tunnels under seismic conditions.

The course starts from some necessary preparatory considerations, relating to the design of tunnels in static conditions. The most common excavation technologies, the factors that most influence the behavior of the tunnel lining and the methods of analysis will be illustrated. Once the starting conditions of the tunnel in static conditions have been defined, the course will mainly focus on the problem of soil-structure interaction in seismic conditions. Analytical methods and numerical methods will be described to evaluate the effects of the seismic action on the coating. For a complete understanding of the problem, some recalls of seismic geotechnical engineering (local seismic response) and numerical calculation (finite elements) will be made.

Downstream of the theoretical part, there is an exercise part. With reference to a specific case study, the effects of the seismic action on the coating will be evaluated through both analytical and numerical models (pseudo-static analysis and coupled dynamic analysis), the results of which will be compared. The numerical analyzes will be carried out with a finite element calculation code while the pseudo-static seismic action will be evaluated through specific local seismic response analysis. Finally, indications will be given on how to select spectrum-compatible signals for the design of the work.

Il corso si pone un duplice obiettivo: il primo è quello di fornire all'allievo gli strumenti teorici per la comprensione del problema dell'interazione di gallerie sotterranee con il terreno in condizioni sismiche; il secondo è quello di fornirgli la capacità di svolgere analisi finalizzate alla progettazione dell'opera in oggetto in condizioni sismiche.

Il corso parte da alcune necessarie considerazioni propedeutiche, relative alla progettazione di gallerie in condizioni statiche. Verranno illustrate le più comuni tecnologie di scavo, i fattori che maggiormente influenzano il comportamento del rivestimento della galleria e i metodi di analisi. Definite le condizioni di partenza della galleria in condizioni statiche, il corso verterà principalmente sul problema dell'interazione terreno-struttura in condizioni sismiche. Metodi analitici e metodi numerici verranno descritti per valutare gli effetti dell'azione sismica sul rivestimento. Per la completa comprensione del problema, verranno fatti alcuni richiami di ingegneria geotecnica sismica (risposta sismica locale) e di calcolo numerico (elementi finiti). A valle della parte teorica, è prevista una parte esercitativa. Con riferimento ad un caso studio specifico, verranno valutati gli effetti dell'azione sismica sul rivestimento sia attraverso i modelli analitici che numerici (analisi pseudo-statica ed analisi dinamica accoppiata) i cui risultati verranno messi a confronto. Le analisi numeriche verranno svolte con un codice di calcolo agli elementi finiti mentre l'azione sismica pseudo-statica verrà valutata mediante specifica analisi di risposta sismica locale. Verranno infine date indicazioni sulla modalità di selezione dei segnali spettro-compatibili per la progettazione dell'opera.