



ALL.1) ORDINAMENTO

**MASTER INTERNAZIONALE
DI SECONDO LIVELLO IN
“CO2 GEOLOGICAL STORAGE”
(STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO2)
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA TERRA, FACOLTÀ DI SCIENZE MM., FF., NN.**

Codice corso di studio: 30219

Art. 1 – Informazioni generali

Dipartimento proponente e di gestione	<i>Dipartimento di Scienze della Terra</i>
Facoltà di riferimento	<i>Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali</i>
Denominazione del Master	“CO2 Geological Storage”
Livello	<i>Il livello</i>
Durata	annuale
Delibera del Dipartimento di istituzione del Master	
Eventuali strutture partner e convenzioni	<i>University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Accordo in allegato</i>

Articolo 2 – Informazioni didattiche

Obiettivi formativi del Master	L'obiettivo del Master è di fornire agli studenti partecipanti le conoscenze tecniche e scientifiche necessarie per realizzare lo stoccaggio geologico della CO2 in modo corretto e soddisfacente. Il programma coprirà tutti gli aspetti dello stoccaggio geologico in modo che lo studente possa
---------------------------------------	--



	comprendere lo studio degli specialisti coinvolti nelle attività di stoccaggio (come ingegneri di reservoir, sedimentologi, stratigrafi, geofisici, geologi strutturali, geochimici, legislatori) e per sviluppare competenze specifiche personali.
Risultati di apprendimento attesi	Il corso di Master è rivolto a soggetti interessati a sviluppare una concreta professionalità nel campo dello stoccaggio geologico della CO ₂ . Infatti, lo stoccaggio geologico della CO ₂ costituisce una tecnologia in rapida evoluzione con molti aspetti scientifici interdisciplinari e rappresenta una tecnologia capace di contribuire alla mitigazione della presenza di CO ₂ nell'atmosfera, sfida che deve essere affrontata a livello globale. Questo Master è previsto nelle attività di ricerca e di disseminazione del Progetto europeo ENOS (Enhanced onshore carbon storage in Europe) per preparare una nuova generazione di giovani ricercatori e professionisti che vogliono lavorare su questi argomenti. Gli argomenti del corso includono una sintesi dei risultati della ricerca sul CCS e delle conoscenze acquisite dalle attività di stoccaggio in corso nei siti piloti europei e in quelli del progetto stesso. Il corso fornirà conoscenza tecnica e scientifica necessaria per la gestione del processo di iniezione di CO ₂ , di attività di monitoraggio efficienti e affidabili, per lo studio in laboratorio dei processi critici legati allo stoccaggio e per la modellazione numerica.
Settori Scientifico Disciplinari	<i>Geo/03, Geo/11, Geo/06, Geo/08 ING-IND24, ING-IND25, ING-IND30, ING-IND35</i>
Requisiti di accesso	Possesso di laurea Magistrale in 86S LM 74 <i>Per l'ammissione al Master di il requisito minimo è il possesso di una Laurea a ciclo unico (durata 5 o 6 anni) oppure Laurea con durata di almeno tre anni (equivalente al Bachelor Degree nel sistema anglosassone) + Laurea Magistrale di due anni (equivalente al Master Degree di 2 anni nel sistema anglosassone).</i>
Numero minimo e massimo di ammessi	<i>Numero minimo 5 numero massimo 10 Il numero minimo inferiore a quello previsto dal regolamento è comunque sostenibile perché il master è previsto all'interno del progetto europeo H2020 ENOS</i>
Modalità di svolgimento della selezione di ammissione	<i>Selezione per titoli</i>
Date presunte di inizio e fine del corso	<i>Inizio entro la fine del mese di febbraio 2020 Fine entro la fine di gennaio 2021</i>
Uditori	<i>si</i>
Corsi Singoli	<i>Tutti i moduli possono essere frequentati come corsi singoli da studenti PhD e Post Doc delle Università organizzatrici.</i>
Obbligo di Frequenza	<i>Indicare un obbligo maggiore o uguale al 75% al monte ore complessivo delle lezioni</i>



Offerta di stage	University of Zagreb, Croatia Iris, Norvegia; GEUS, Danimarca; HWU, Scotland, Nottingham University, Scotland; Tallinn University, Estonia (Partners Progetto ENOS) Per ciascuno degli istituti e università indicati è allegata una lettera di disponibilità.
Modalità di Svolgimento Prova Finale	<i>Discussione dei risultati di 3 mesi di stage e dell'elaborato di tesi</i>
Lingua di insegnamento	<i>inglese</i>
Eventuali forme di didattica a distanza	<i>Non previste</i>

Articolo 3 – Informazioni organizzative

Risorse logistiche	<i>n.1 aula Aula informatica (circa 10 giorni)</i>
Risorse di personale tecnico-amministrativo	<i>n°1</i>
Risorse di tutor d'aula	<i>Da definire</i>
Risorse di docenza	<i>5 professori interni, 3 professori dall'Università di Zagabria, 1 professore da HWU (Heriot Watt University, Edimburgo), 1 professore da GEUS (servizio geologico Danimarca), 1 professore da UniNott (università di Nottingham), 1 professore da UniTallinn (università di Tallinn) (tutti partner del Progetto ENOS vedi stralcio progetto allegato)</i>
Sede delle attività didattiche	<i>Università la Sapienza Università di Zagabria</i>
Sede della segreteria c/o il Dipartimento	<i>Dipartimento di Scienze della Terra</i>

Articolo 4 – Fonti di finanziamento del Master

Importo quota di iscrizione	<i>€ 2.000,00 da saldare in due rate.</i>
Eventuali esenzioni o riduzioni di quota (fatta salva la quota a bilancio di Ateneo del 30%)	<i>E' previsto l'esonero dal pagamento della seconda rata a fronte dei finanziamenti del progetto ENOS</i>
Eventuali finanziamenti esterni e/o borse di studio	<i>Il Management Board di Enos sta valutando se è possibile coprire almeno metà dell'iscrizione con fondi del progetto ENOS</i>



Riduzioni di quota derivanti da particolari convenzioni	<i>E' previsto l'esonero dal pagamento della seconda rata a fronte dei finanziamenti del progetto ENOS</i>

PIANO FORMATIVO DEL MASTER

Direttore del Master:	<i>Dott. Sabina Bigi</i>
Consiglio Didattico Scientifico	Prof. Sabina Bigi Prof. Eugenio Ambrogio Maria Carminati Prof. Michele Cercato Prof. Paola Ballirano Prof. Maurizio Battaglia Prof. Bruno Saftic (Zagreb University) Prof. Domagoj Vulin (Zagreb University) Prof. Iva Kolenković Močilac (Zagreb University) Prof. Bruno Tomljenovic (Zagreb University)
Calendario didattico	<i>Da definirsi in funzione della data del Bando</i>

Piano delle Attività Formative del Master in: “CO2 Geological Storage”

Denominazione attività formativa	Descrizione obiettivi formativi	Responsabile insegnamento	(SSD)	CFU	Ore	Tipologia	Verifiche e di profitto
Module 1 - Introduction to CO₂ geological storage - Social aspect (Introduzione allo stoccaggio geologico del CO₂ – Aspetti sociali)	Modulo introduttivo che illustra in generale tutti gli aspetti legati allo stoccaggio geologico di CO ₂ , la necessità di adottare lo stoccaggio geologico nell’ambito della progettazione di un piano energetico nazionale e descrive l’impatto che lo stoccaggio geologico può potenzialmente avere sulla società e i cittadini.	Prof. S. Bigi Prof. E. Carminati	Geo/03	3	75	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto
Module 2 - CO₂ Capture and transport. Present day industrial utilization of CO₂ (La cattura e il trasporto di CO₂. Attuale utilizzo industriale del CO₂)	Il modulo riguarda le altre tecnologie che sono legate allo stoccaggio geologico della CO ₂ , ovvero il trasporto e la cattura. Verranno illustrati i differenti processi industriali di cattura, valutandone vantaggi e svantaggi, nonché il miglior campo di applicazione (cementi, idrocarburi, ecc.). Verranno illustrati alcune esempi di processi attualmente in uso nell’industria.	Prof. A. Pettinau (Sotacarbo, Progetto Enos)	ING-IND 24, 25	3	75	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto
Module 3 - Introduction to exploration geophysics	Il modulo introduce le basi della interpretazione sismica, con particolare riguardo alla caratterizzazione del sito e alla valutazione del potenziale del sito.	Prof. S. Bigi Prof. M. Battaglia	GEO/03 GEO/10	2 1	75	Lezioni frontali, esercitazioni, studio	Vedi sotto



(Introduzione alla esplorazione geofisica)	Il modulo presenta i principali aspetti della acquisizione, elaborazione e interpretazione del dato sismico al fine della ricostruzione del modello geologico statico in 2 e in 3D.					individuale	
Module 4 - CO₂ geological storage options - geology and geochemistry (Tipologie di stoccaggio geologico – geologia e geochimica)	Il modulo fornisce una panoramica dei tipi di reservoir da un punto di vista geochimico - mineralogico, delle relative modalità di intrappolamento e del potenziale volume utilizzabile. Verranno discusse le proprietà fisiche della CO ₂ in condizioni di stoccaggio (supercritiche) che influenzano lo stoccaggio stesso, e saranno descritti i processi geochimici che influenzano il comportamento della CO ₂ a lungo termine nel reservoir stesso.	Docente da definire Prof. Paolo Ballirano	Geo/03 Geo/06 Geo/08	1 1 1	75	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto
Esami orali (presentazione dei risultati delle esercitazioni pratiche). Trasferimento all'Università di Zagabria.							
Module 5 - Introduction to reservoir engineering (Introduzione all'ingegneria di reservoir)	Il modulo fornirà agli studenti le conoscenze di base dei meccanismi di flusso multifase e dei parametri che possono aiutare nella caratterizzazione del flusso nelle rocce porose. Verranno illustrati i principi fondamentali della descrizione dei fluidi PVT (salamoia, gas, olio), con particolare attenzione al comportamento di fase relativo a sistemi con un elevato contenuto di CO ₂ . Saranno presi in considerazione i calcoli	Prof. D. Vulin Prof. Iva K. Močilac (Zagheb University)	Geo/03 ING-IND 30	2 1	75	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto



	relativi all'iniezione (sia miscibili che immiscibili) e ai principi fondamentali della sorveglianza dei dati sui giacimenti.						
Module 6 - Storage site selection and capacity estimates (Selezione del sito di stoccaggio e stima della capacità)	Il modulo illustra i differenti approcci nella stima del potenziale di stoccaggio di CO ₂ durante la valutazione del bacino e della capacità di stoccaggio di CO ₂ di un sito sulla base dello screening del sito e della caratterizzazione. Il corso si concentra sulla spiegazione dei diversi problemi che sorgono quando si valuta il potenziale di stoccaggio di CO ₂ o capacità di stoccaggio di diversi tipi di reservoir (acquiferi salini profondi, giacimenti di idrocarburi esauriti, giacimenti di carbone, caverne di sale). Inoltre, vengono descritte le procedure di caratterizzazione dettagliata delle rocce del serbatoio e delle rocce di copertura.	Bruno Saftic (Zagheb University)	Geo/03	3	75.	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto
Module 7 - Numerical modelling of CO₂ storage (Modellazione numerica dello stoccaggio di CO₂)	Questo modulo introduce gli studenti alla modellazione numerica, tra cui una descrizione di come sono costruiti i modelli seguito da un focus sulla simulazione del flusso. Il corso rafforza la teoria appresa nel modulo di ingegneria del reservoir (5), che è essenziale per garantire che gli studenti possano imparare come impostare le simulazioni e come interpretare i risultati. Viene	Gillian Pickup (Heriot Watt University Edinburgh, Scotland) (Progetto Enos)	Geo/03 ING-IND 30	1 2	75	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto



	presentata la teoria di base della simulazione del flusso, seguita da una serie di sfide (come l'upscaling e il trattamento dell'incertezza nelle proprietà del giacimento). Infine, viene presentata una revisione di processi più avanzati, come la modellazione accoppiata.						
Module 8 - EOR with CO₂	Il modulo fornirà agli studenti approfondimenti sui meccanismi e sui metodi di valutazione per Enhanced Oil Recovery (EOR) e per migliorare i processi relativi allo sfruttamento delle risorse sotterranee in generale. L'accento sarà posto sui processi che coinvolgono l'iniezione di CO ₂ o la riduzione delle emissioni di CO ₂ .	Prof. D. Vulin Prof. I.K. Močilac (Zagheb University)	Geo/03 – ING-IND 30	1 2	75	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto
Esami: elaborazione di una relazione scritta da consegnare alla fine del Modulo 6; presentazioni orali per i moduli 5 e 8; esame scritto per il modulo 7.							
Module 9 - Storage Risks	Il modulo introdurrà la valutazione del rischio per lo stoccaggio geologico di CO ₂ per prevenirne qualsiasi perdita. Il corso si concentra sulla valutazione del rischio; questo è un processo iterativo che deve essere fatto in ogni fase di un progetto di stoccaggio, dalla selezione, caratterizzazione e studio di riferimento fino alle fasi di chiusura del sito, post	Niels Poulsen GEUS, Geological Survey of Denmark and Greenland (Progetto Enos)	Geo/03	2	50	Lezioni frontali, esercitazioni, studio individuale	Vedi sotto



	<p>chiusura e trasferimento definitivo di responsabilità da operatore allo Stato. Questa valutazione è la base per la progettazione di un buon piano di monitoraggio e un piano efficace per la prevenzione e la correzione in caso di perdita. La valutazione dei rischi e il piano di monitoraggio sono aggiornati quando necessario, in particolare in caso di comportamento anomalo o nelle fasi di chiusura e post chiusura. L'attenzione sarà anche sull'obbligo di valutare i rischi e i sistemi di mitigazione associati alla tecnologia CCS.</p>						
Esame scritto e trasferimento a Roma.							
Module 10 - Geophysical monitoring (Monitoraggio geofisico)	<p>Il modulo introduce i principi fisici delle tecniche geofisiche applicate allo stoccaggio di CO₂. Il corso si concentra sulla spiegazione dei metodi geoelettrico, elettromagnetico e sismico applicati alla valutazione del potenziale delle formazioni geologiche per lo stoccaggio di CO₂, e per monitorare il processo di stoccaggio di CO₂.</p>	Prof. M. Cercato	Geo/11	5	125	Lezioni frontali, Escursioni e studio individuale	Vedi sotto
Module 11 - Geochemical monitoring	<p>Questo modulo introdurrà una vasta gamma di tecniche di monitoraggio geochimico a scala regionale e locale, utilizzate per monitorare i siti CCS per</p>	Docente da definire	Geo/08	3	75	Lezioni frontali, Escursioni e studio	Vedi sotto



	<p>garantire l'audit dei "carbon credits", per trovare e quantificare le potenziali perdite e per determinare l'efficacia di qualsiasi azione di bonifica intrapresa.</p> <p>Le lezioni descriveranno il background tecnico e il funzionamento di ciascun metodo, i loro vantaggi e svantaggi in termini di sensibilità, scala e risoluzione e costi. Gli esercizi sul campo alla fine di questo modulo daranno agli studenti un'esperienza pratica con un sottoinsieme dei metodi descritti.</p>					individuale	
Module 12 - Drilling and wells (Perforazioni e pozzi)	<p>Il modulo è un corso introduttivo alla perforazione e ai pozzi. Gli argomenti trattati includeranno attrezzature di perforazione, controllo dei pozzi, collaudo, completamento e miglioramento della permeabilità. Il modulo comprenderà materiale descrittivo e richiederà anche abilità pratiche nella conduzione di semplici calcoli di progettazione.</p>	<p>Prof. Sean Rigby University of Nottingham (Progetto Enos)</p>	ING-IND 30	2	50	Lezioni, esercitazioni e studio individuale	Vedi sotto
Module 13 - Economic and Regulatory aspects of CCS technology	<p>Il corso fornisce una panoramica delle basi degli aspetti normativi, economici e sociali della tecnologia di cattura e stoccaggio del carbonio (CCS). Il CCS è considerato uno strumento importante nella riduzione delle emissioni globali di anidride carbonica, quindi in grado di ridurre l'impatto del genere umano sui</p>	<p>Prof. Alla Shogenova Tallinn University, Estonia (Progetto Enos)</p>	ING-IND 35	1	25	Lezioni, esercitazioni e studio individuale	Vedi sotto



	<p>cambiamenti climatici. I singoli progetti CCS di successo derivano da condizioni geologiche adeguate, da un quadro normativo favorevole che contribuisce alla loro redditività economica e al sostegno pubblico sia a livello nazionale che locale.</p>						
<p>Module 14 - CCUS and cross-cutting issues</p>	<p>Il modulo introdurrà diverse opzioni di utilizzo della CO₂ catturata, compresa una breve panoramica di tutte le possibili opzioni di utilizzo della CO₂, compreso l'uso di CO₂ per il recupero potenziato delle risorse (energia geotermica, recupero di metano da strati di carbone, "shale gas", acqua) e utilizzo di CO₂ per la produzione di idrocarburi. Verranno introdotti il concetto di Bio-CCS e le emissioni negative, comprese le emissioni di gas serra dirette e indirette, le tecnologie Bio-CCS, le loro sfide e vantaggi e l'attuazione di progetti Bio-CCS. Il modulo tratterà inoltre: la carbonatazione minerale di CO₂, la comparazione tra le tecnologie di stoccaggio geologico e di carbonatazione minerale, lo stoccaggio di CO₂ nei basalti, la sinergia di CGS con il recupero</p>	<p>Prof. Alla Shogenova, Tallinn University, Estonia (Progetto Enos)</p>	<p>Geo/03 Geo/08</p>	<p>3</p>	<p>75</p>	<p>Lezioni, esercitazioni e studio individuale</p>	<p>Vedi sotto</p>



	di energia geotermica, stoccaggio di energia e recupero di acqua, vantaggi della sinergia tra CCS ed energie rinnovabili, ruolo delle industrie di cemento nella produzione di CO ₂ .					
Esami: scritto per il modulo 10 ed orale per tutti gli altri moduli.						
Tirocinio 1	<i>lavoro di gruppo (5 gruppi di 2 studenti) questa settimana sarà organizzata con un lavoro attivo degli studenti, che saranno divisi in gruppi e dovranno condurre una piccola ricerca in modo indipendente. Il database di partenza sarà lo stesso per tutti i gruppi. Il risultato sarà una interpretazione geologica e la valutazione del potenziale di stoccaggio dell'area in esame.</i>	Geo/03 ING- IND 30	4 1	125	<i>C/O strutture di Sapienza</i>	
Prova finale	<i>Valutazione totale e assegnazione sede per il project work Gli studenti saranno valutati in base ai punteggi ottenuti durante il corso e saranno loro assegnate le sedi per lo svolgimento dello stage in funzione della valutazione, tenendo presente gli interessi degli stessi e delle attività offerte delle diverse sedi.</i>	vari	15	375	<i>Project work, con relazione finale e presentazione da discutere davanti alla commissione/consiglio scientifico consistente nella presentazione e discussione dei risultati del lavoro svolto nel tirocinio</i>	
TOTALE			60	1500		

Roma

IL DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO DI RIFERIMENTO