

Syllabus

Anno Offerta/Year	2021
Periodicità/Frequency	ANNUALE/ANNUAL
Corso di Studio	Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura/PhD programme in Civil Engineering and Architecture
Regolamento Didattico	Regolamento SDIA ver. 02.07.2012
Tematica	INGEGNERIA DELLE INFRASTRUTTURE E DEL TERRITORIO (INFR)/ Infrastructures and Environmental Engineering
Insegnamento/Course	Inverse problems in surface and subsurface hydrology
Sede/Location	Campus Universitario/ University Campus
Tipo attività Formativa/ Type of Training activity	Insegnamenti avanzati erogati dai Corsi di Dottorato afferenti alla SDIA (ICD)/ Advanced courses provided by PhD programmes related to SDIA (ICD)
CFU/Credits	3 CFU
Ore Attività Frontali/Hours in class lectures	18 (1 CFU = 6 h frontali) (1 CFU = 6 h in class lectures)

Tipo Testo/ Text Type	Obbligatorio/ Compulsory	Italian	English
Lingua insegnamento/Teaching Language	Sì/Yes	Inglese	English
Contenuti/Contents	Sì/Yes	La modellazione numerica, nel contesto dell'idrologia superficiale e sotterranea, è cruciale per una corretta gestione delle risorse naturali.	Numerical modelling, in the context of surface and subsurface hydrology, is crucial for a proper management of natural resources. However, to

		<p>Tuttavia, per descrivere adeguatamente i fenomeni e fare previsioni affidabili, i modelli numerici richiedono una corretta scelta di quei parametri che controllano il loro comportamento. La soluzione di problemi inversi condizionati dai dati osservati è ampiamente utilizzata nella modellistica ambientale per identificare i parametri incogniti. Anche se la calibrazione manuale dei modelli è l'approccio tradizionale, la stima automatizzata dei parametri è sicuramente più efficace. Il corso introdurrà gli aspetti teorici della modellazione inversa e dell'uso dei pacchetti software PEST e bgaPEST per la calibrazione automatica dei modelli numerici. Sebbene gli esempi trattati riguarderanno il campo delle acque sotterranee e superficiali, l'applicazione della metodologia può essere estesa a molteplici campi dell'ingegneria.</p>	<p>appropriately describe the phenomena and make reliable predictions, numerical models require a right choice of those parameters that control their behavior. The solution of inverse problems conditioned on observed data is widely used in environmental modeling to identify the unknown parameters. Even though manual model calibration is the traditional approach, automated parameter estimation is certainly more powerful. The course will cover an introduction to the theoretical aspects of inverse modeling and the use of the PEST and bgaPEST packages for automated model calibration. Although the examples will mainly cover surface and subsurface hydrology problems, the application of the methodology can be extended to different engineering fields.</p>
<p>Testi di riferimento/Textbooks</p>	<p>Sì/Yes</p>	<p>Testi consigliati Testi di approfondimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Doherty, J.E., 2010. PEST, model-independent parameter estimation - user manual. 5th ed., with slight additions. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia 2. Fienen MN, D'Oria M, Doherty JE, Hunt RJ. Approaches in Highly Parameterized Inversion: bgaPEST, a Bayesian geostatistical approach implementation with PEST-Documentation and Instructions. U.S. Geological Survey Techniques 	<p>Recommended texts: In-depth texts:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Doherty, J.E., 2010. PEST, model-independent parameter estimation - user manual. 5th ed., with slight additions. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia 2. Fienen MN, D'Oria M, Doherty JE, Hunt RJ. Approaches in Highly Parameterized Inversion: bgaPEST, a Bayesian geostatistical approach implementation with PEST-Documentation and Instructions. U.S. Geological Survey Techniques and

		<p>and Methods, book 7, section C9; 2013. 86 p. Available from: http://pubs.usgs.gov/tm/07/c09</p> <p>Testi per esercitazioni: ND</p> <p>Ulteriore materiale didattico: copia delle slide</p>	<p>Methods, book 7, section C9; 2013. 86 p. Available from: http://pubs.usgs.gov/tm/07/c09</p> <p>Textbooks for exercises: NA</p> <p>Further didactic material: copy of the slides</p>
<p>Obiettivi formativi/ Learning objectives</p>	<p>Si/Yes</p>	<p>Conoscenze e capacità di comprensione:</p> <p>Dopo aver completato il corso, lo studente deve aver acquisito le nozioni fondamentali sulla soluzione dei problemi inversi e la stima dei parametri. Lo studente deve aver familiarizzato con i metodi più comuni per risolvere i problemi inversi.</p> <p>Competenze:</p> <p>Alla fine del corso lo studente deve essere in grado di implementare problemi di stima dei parametri utilizzando i software PEST e bgaPEST in combinazione con diversi modelli numerici in ambito ambientale.</p> <p>Autonomia di giudizio:</p> <p>Alla fine del corso, lo studente deve essere in grado di valutare l'idoneità e la bontà di una soluzione numerica a un problema inverso in termini di stabilità, accuratezza, efficienza e applicabilità.</p> <p>Capacità comunicative:</p>	<p>Knowledge and understanding:</p> <p>After completed the course, the student shall have gained insight into the inverse problems and parameter estimation basics. The student shall have got acquainted with the most common methods for solving inverse problems.</p> <p>Skills:</p> <p>At the end of the course the student shall be able to implement parameter estimation problems using PEST and bgaPEST in conjunction with different environmental models.</p> <p>Autonomy of judgment:</p> <p>At the end of the course, the student shall be able to evaluate the relevance of a numerical solution to an inverse problem regarding stability, accuracy, efficiency, and applicability.</p> <p>Communication skills:</p>

		<p>Alla fine del corso lo studente acquisirà confidenza con la terminologia comune nell'ambito dei problemi inversi.</p> <p>Capacità di apprendimento:</p> <p>Alla fine del corso, lo studente deve conoscere i concetti di base della modellazione inversa e dovrebbe essere in grado di applicare autonomamente i software PEST e bgaPEST a casi di studio reali.</p>	<p>At the end of the course the student will be confident with the inverse problem terminology.</p> <p>Learning ability:</p> <p>At the end of the course, the student shall know the basic concepts of inverse modeling and should be able to autonomously apply PEST and bgaPEST to real case studies.</p>
Prerequisiti/ Prerequisites	No	È utile avere familiarità e dimestichezza con i computer. È utile avere conoscenze di algebra lineare.	It is helpful to have familiarity with computers. It is helpful a background in linear algebra.
Metodi didattici/ Didactic methods	Sì/Yes	La parte teorica del corso verrà illustrata mediante lezioni frontali avvalendosi della proiezione di slide. Per la parte di esercitazioni pratiche ci si avvarrà dell'utilizzo di computer.	The theory of the course will be illustrated by means of slides. Computer will be used for the practical exercises.
Altre informazioni/ Further information	No	Frequenza obbligatoria. I partecipanti al corso sono tenuti a portare il proprio laptop per le esercitazioni pratiche (meglio con Windows).	Mandatory class attendance. Course attendees are required to bring their own laptop for the practical exercises (better running Windows).
Modalità di verifica dell'apprendimento/ Learning	Sì/Yes	<p>Spiegazione della procedura d'esame: Report scritto su uno o più esercizi assegnati</p> <p>Criteri di valutazione: La positiva valutazione finale verrà attribuita allo studente che durante il corso abbia seguito almeno</p>	<p>Explanation of the test procedure: Written report on one or more assigned exercises</p> <p>Evaluation criteria: The positive final evaluation will be attributed to the student who has attended at least 70% of the</p>

verification mode		<p>il 70% delle lezioni teoriche e le esercitazioni pratiche e abbia raggiunto un'adeguata conoscenza dei contenuti del corso dimostrata dallo svolgimento degli esercizi assegnati.</p> <p>Valutazione: esame superato/ non superato</p>	<p>theoretical and practical lessons and has reached a proper knowledge of the course contents demonstrated by solving the assigned exercises.</p> <p>Evaluation: exam passed/exam failed</p>
Programma esteso/ Extended program	Sì/Yes	<p>Lezione 1 (4 ore) - Introduzione ai problemi inversi e alla stima dei parametri. Problemi ben-posti e mal-posti. Teoria dei problemi inversi lineari ed estensione ai modelli non lineari. Tecniche di regolarizzazione per la risoluzione di problemi mal-posti.</p> <p>Lezione 2 (4 ore) - Introduzione al PEST (Parameter ESTimation): codice di modellazione inversa non lineare open-source, sviluppato per la stima dei parametri e l'analisi dell'incertezza.</p> <p>Lezione 3 (6 ore) - Uso del PEST per la calibrazione in diversi contesti: modellizzazione delle acque sotterranee e superficiali.</p> <p>Lezione 4 (4 ore): Introduzione a problemi inversi fortemente parametrizzati nel contesto dell'approccio geostatistico bayesiano (BGA). Nozioni di base sul software bgaPEST, pacchetto open source che implementa il BGA.</p>	<p>Lecture 1 (4 hours) - Introduction to inverse problems and parameter estimation basics. Well-posed problems and ill-posed problems. Linear inverse problems theory and extension to nonlinear models. Regularization techniques for solving ill-posed problems.</p> <p>Lecture 2 (4 hours) - Introduction to PEST (Parameter ESTimation): open-source, general-purpose and model-independent non-linear inverse modeling code developed for parameter estimation and uncertainty analysis.</p> <p>Lecture 3 (6 hours) - Use of PEST for calibration in different contexts: groundwater modelling and surface water modelling.</p> <p>Lecture 4 (4 hours): Introduction to highly parameterized inversion problems in the context of the Bayesian Geostatistical Approach (BGA). Basics of bgaPEST an open source software package implementing BGA.</p>