

## **FISICA DELLE ROCCE (Cod. 246BB) : 6 CFU – 48 h**

WGF-LM GEOFISICA DI ESPLORAZIONE E APPLICATA

Simone Capaccioli - *Dipartimento di Fisica, Università di Pisa*; Email: simone.capaccioli@unipi.it

**Obiettivi formativi:** Il corso introduce a concetti fondamentali utili per descrivere alcune proprietà fisiche delle rocce rilevanti per la geofisica di esplorazione, come la geometria dello spazio poroso, la bagnabilità, la permeabilità, le proprietà meccaniche ed elettriche. Si introducono concetti matematici come gli spazi frattali e la teoria della percolazione, e approcci metodologici come la teoria di mezzo efficace, utili per capire e costruire semplici modelli dei sistemi porosi. Vengono inoltre illustrati i principali metodi di misura (sia per analisi in laboratorio, sia per la rilevazione *in situ*) delle proprietà sopra menzionate.

### **PROGRAMMA DEL CORSO (a.a. 2017/2018)**

#### *I. Metodi, definizioni e primi rudimenti.*

Introduzione alla Fisica delle Rocce: rocce come mezzi porosi ed eterogenei.

Rocce come mezzi porosi: (1) Proprietà dello spazio poroso, porosità, superficie interna, rugosità e dimensione frattale; (2) Fluidi nello spazio poroso, interazioni superficiali, bagnabilità, imbibizione e drenaggio, porosimetria.

Rocce come mezzi eterogenei: Teorie di mezzo effettivo, Teoria della percolazione.

Proprietà meccaniche di rocce dry: risposta elastica. Stress, deformazioni e moduli elastici. Velocità di propagazione delle onde e relazione con le proprietà elastiche delle rocce. Impedenza acustica.

#### *II. Rocce saturate: permeabilità, proprietà elastiche ed elettriche.*

Trasporto dei Fluidi in mezzi porosi: Permeabilità.

Proprietà elastiche di rocce saturate con fluidi. Propagazione di onde acustiche in mezzi porosi saturati (mezzi efficaci). Costanti poroelastiche. Modello di Gassmann.

Risposta elettrica a campi costanti: modelli a mezzo effettivo o percolativi di conducibilità d.c., legge di Archie e porosità connessa accessibile. Potenziali spontanei. Esempi di log geofisici basati su proprietà elettriche.

#### *III. Fenomeni complessi: dispersione, rilassamento, trasformazioni irreversibili. Proprietà fisiche e principi di funzionamento di particolari log geofisici.*

Teoria della risposta lineare e propagazione delle onde. Attenuazione, dissipazione, dispersione, ritardo e sfasamento. Parte reale e immaginaria dei moduli elastici. Comportamento viscoelastico. Onde acustiche in mezzi porosi saturati e variazione con la frequenza. Attenuazione e sfasamento onde da processi elastici e anelastici. Modello di Biot. Metodi di misura e tecniche sperimentali per proprietà elastiche delle rocce in laboratorio e in situ.

Proprietà elettriche e dielettriche di rocce saturate sottoposte a campi elettrici variabili: conducibilità, rilassamento e propagazione di onde elettromagnetiche. Effetto della distribuzione dei fluidi nello spazio microporoso. Metodi di misura del rilassamento dielettrico in laboratorio e con log di pozzo. Radioattività delle rocce, interazione con radiazioni ionizzanti (raggi  $\gamma$  e neutroni) e applicazione in log geofisici. Impiego della Risonanza Magnetica Nucleare in indagini su rocce in laboratorio e in situ.

Proprietà meccaniche di rocce dry e saturate: risposta plastica. Trasformazioni irreversibili e propagazione di fratture.

**Verifica dell'apprendimento:** semplice test scritto di ammissione all'orale, consistente in 10 domande sia aperte sia a risposta multipla, seguito da un esame orale che verte sull'intero programma integrato da un piccolo seminario di approfondimento su un argomento del corso a scelta dello studente (ma concordato con il docente almeno 10 giorni prima dell'esame).

#### **Testi consigliati:**

Testo di riferimento: "Introduction to the physics of rocks" di Yves Guéguen and Victor Palciauskas. Per le proprietà acustiche si suggeriscono i capitoli 2 e 3 di "Acoustics of Porous Media" di Thierry Bourbié, Olivier Coussy Editions TECHNIP, 1987

Materiali aggiuntivi (appunti, articoli, note) per approfondimento vengono forniti dal docente durante il corso (contattare il docente per l'accesso al sito del corso).

## ECTS Notes

**Learning outcomes:** The student who successfully completes the course is introduced to the main concepts concerning the physical properties of rocks useful for the exploration geophysics, such as the pore geometry, the wettability, the permeability, the mechanic and electric properties. Relevant mathematical issues and descriptions, like the fractal character of the pores and the percolation theory, as well as theoretical methods, like the effective medium theory, will be presented. The aim is to enable the student to understand and develop simple models of porous systems. Moreover, the main experimental methods (both in lab and in-situ) to measure and assess the above mentioned properties will be introduced.

**Course Summary:** Rocks as porous and heterogeneous media. Properties of the porous space. Porosity. Inner surface: roughness and fractal dimension. Rocks as porous media: porous geometry, interfacial interactions, wettability. Rocks as heterogeneous systems: Effective Medium Theory and Percolation Theory. Fluid transport in porous media: permeability. Mechanical properties of dry and fluid-saturated rocks. Acoustic Properties: wave propagation (velocity, attenuation, anisotropy) in saturated porous media (as effective and viscoelastic media). Electric and dielectric properties: d.c. and a.c. conductivity, electromagnetic wave propagation in porous media. Radioactivity of rocks, interaction with ionizing radiations ( $\gamma$  rays and neutrons) and application to geophysical logs. NMR relaxation and its application in well-log and core analysis.

**Evaluation procedure:** A preliminary assessment test with 10 questions (both open and multiple choice types) is followed by an oral exam concerning all the issues introduced during the course. Additionally, the student, in agreement with the teacher, can present an oral report or a seminar about an issue that have been further studied in deeper details by the student his/her own. During the oral exam the student must be able to demonstrate his/her knowledge of the course material and be able to discuss the reading matter thoughtfully and with propriety of expression. The oral report is important to show how the student can apply some basic concepts introduced during the course.

**Recommended reading includes the following works:**

- 1) "Introduction to the physics of rocks" by Yves Guéguen and Victor Palciauskas.
- 2) For acoustic properties only we suggest chapters 2 and 3 of "Acoustics of Porous Media" by Thierry Bourbié, Olivier Coussy Editions TECHNIP, 1987
- 3) Further bibliography (notes, papers) will be made available during lectures and in the website of the course.