



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA E DELL'AMBIENTE



Piano Nazionale Lauree Scientifiche 2014-2016 (DM 976/2014, art. 3 comma 4 e 5 ed art. 4)

Progetto Nazionale Geologia

PLS-L34 – UniPV, Università di Pavia

**SUMMER STAGE
PER LE SCUOLE SECONDARIE DI SECONDO GRADO**

12-16 giugno 2017
Via Ferrata 1, Pavia

CONTENUTI DELLO STAGE ESTIVO

A cura di:
Commissione Piano Lauree Scientifiche
Commissione Promozione e Comunicazione

Referente PLS-L34 – UniPV
Dott. Patrizio Torrese

DICEMBRE 2016

GEOLOGIA STRATIGRAFICA E PALEO GEOGRAFIA

Ronchi Ausonio

Materiali e metodi: gli obiettivi e le leggi della stratigrafia

La **stratigrafia** è quella scienza che si occupa della descrizione di tutti i corpi rocciosi (stratificati e non) che formano la crosta terrestre e la loro organizzazione in unità distinte, cartografabili secondo il dettaglio richiesto e caratterizzate da particolari proprietà. Il fine ultimo è quello di **ricostruire la storia e l'evoluzione della Terra**.

Questa scienza studia la disposizione nel **tempo** e nello **spazio** delle formazioni geologiche e degli eventi che esse rappresentano:

Componente temporale:

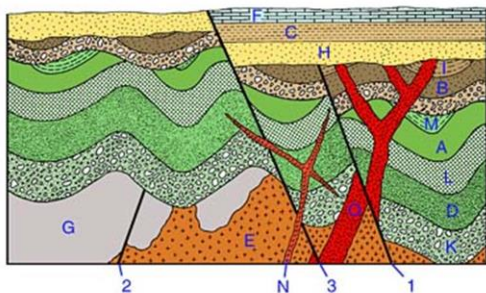
Studio della successione e della cronologia dei corpi rocciosi con lo scopo di costruire una scala cronostratigrafica standard.

Componente spaziale:

Studio della distribuzione nello spazio dei corpi rocciosi e delle loro caratteristiche litologiche paleontologiche, geofisiche e geochimiche, con il fine di effettuare ricostruzioni paleogeografiche e paleoambientali.

La stratigrafia si basa sui seguenti principi fondamentali:

- ✿ Principio di originaria orizzontalità degli strati
- ✿ Principio di originaria sovrapposizione degli strati
- ✿ Principio di originaria continuità laterale degli strati
- ✿ Principio di successione faunistica
- ✿ Principio di intersezione
- ✿ Principio di inclusione
- ✿ Legge di Walther



Successione di rocce sedimentarie stratificate

Categorie stratigrafiche (UNITA')	Termini principali
1. U. LITOSTRATIGRAFICHE	Gruppo Formazione Membro Strato
2. U. BIOSTRATIGRAFICHE	Biozone: Zona di distribuzione Zona di intervallo Zona fletica Zona di associazione Zona di acme
3. U. MAGNETOSTRATIGRAFICHE	Zona di polarità magnetostratigrafica
4. U. A LIMITI INCONFORMI (UBSU)	Sintema
5. U. CRONOSTRATIGRAFICHE	EQUIVALENTI GEOCRONOLOGICHE
Eonotema Eratema Sistema Serie Piano Sottopiano (Cronozona)	Eon Era Periodo Epoca Età Sottoetà (Chron)

Le unità stratigrafiche



Strumenti del geologo e dello stratigrafo

Descrizione del laboratorio: gli studi paleogeografici e la ricostruzione della storia della Terra

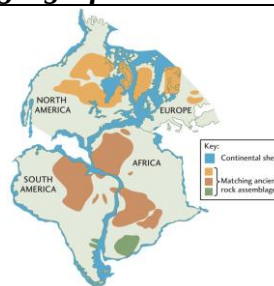
Negli ultimi vent'anni i geologi che si occupano di processi geodinamici hanno trovato numerose prove che dimostrano come il supercontinente di **Pangea** sia stato solo l'ultimo di una serie di supercontinenti che si è succeduta nell'arco di tre miliardi di anni. In figura viene mostrato come siano almeno **sei** i **supercontinenti** che si sono aggregati nel corso della storia della Terra.

Le moderne tecniche di datazione delle rocce hanno consentito di stabilire che l'attività di aggregazione e disaggregazione dei supercontinenti non è continua ma segue un ciclo di circa **500** Milioni di anni. Ci si è resi conto che l'attività orogenetica non è distribuita uniformemente nel tempo: si riscontrano intervalli relativamente brevi di circa 100-200 Ma durante i quali si è verificato un numero significativo di collisioni continentali e periodi più lunghi, di circa 300 Ma, in cui l'attività tettonica è stata minima.

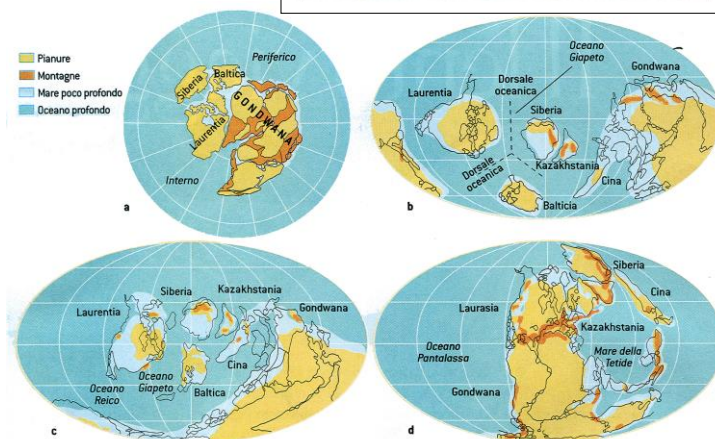
Le ricostruzioni paleogeografiche sono possibili grazie a tre dati fondamentali:

1. Lo **studio del paleomagnetismo** conservato all'interno delle rocce e che consente di risalire alla paleolatitudine di quel dato continente nel tempo;
2. i **confronti geologici** attraverso i continenti;
3. Le **correlazioni paleontologiche** e le datazioni assolute.

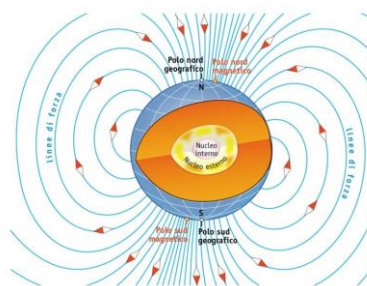
Il laboratorio esaminerà i dati in nostro possesso per descrivere e ricostruire i supercontinenti a partire da quelli più antichi fino all'ultima grande unione continentale, la Pangea, fino a spingersi ad ipotizzare come sarà l'aspetto della Terra tra 250 milioni di anni.



Evento	Anni fa
Frammentazione di Pangea	~ 200 milioni
Aggregazione di Pangea	~ 300–250 milioni
Frammentazione di Pannotia	~ 550 milioni
Aggregazione di Pannotia	~ 600 milioni
Frammentazione di Rodinia	~ 760 milioni
Aggregazione di Rodinia	~ 1,1 miliardi
Aggregazione di Nuna/Columbia	~ 1,8 miliardi
Aggregazione di Kenorland	~ 2,5 miliardi
Aggregazione di Ur	~ 3,0 miliardi



I grandi supercontinenti nella storia della terra



Il campo magnetico terrestre

LABORATORIO DI PALEONTOLOGIA

Claudia Lupi

Materiali e metodi: i fossili e il loro significato

La **Paleontologia** è la disciplina che studia gli organismi del passato. Il termine Paleontologia fu coniato nella prima metà del XIX secolo dal greco *paleo* = antico, *onto* = vita, *logo* = discorso) e significa letteralmente "discorso sugli antichi organismi".

Gli oggetti di studio della Paleontologia sono i **fossili**. Con fossile si intende ogni **resto**, **impronta** o **traccia** di un organismo del passato (animale o vegetale), giunto sino a noi attraverso il processo di fossilizzazione (**Fig. a**). Per “**passato**” si intende l’intervallo di tempo più antico dell’Olocene, cioè il tempo in cui viviamo e che per convenzione viene fatto iniziare dopo l’ultima glaciazione, ca. 10.000 anni fa.

La **fossilizzazione**, invece, è il processo attraverso il quale il resto di un organismo si trasforma in fossile, inglobato in una roccia sedimentaria. A parte casi di “fossilizzazioni eccezionali” **in genere fossilizzano solo le parti dure bio-mineralizzate**.

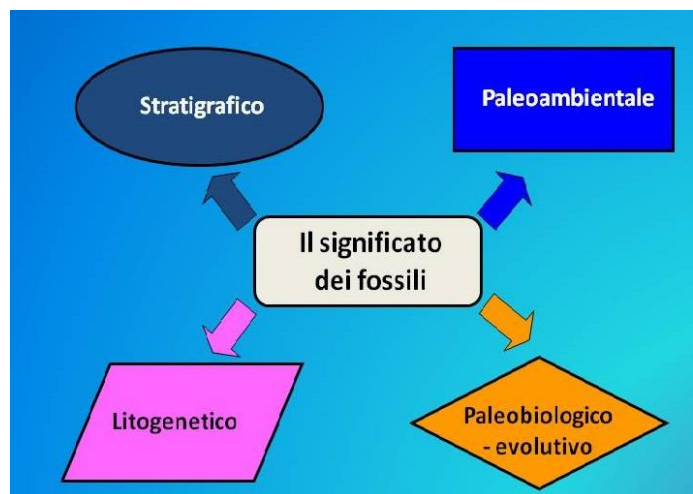
I fossili si rinvencono all'interno delle rocce che compongono la porzione più superficiale della crosta terrestre. Essi si ritrovano solo nelle rocce sedimentarie poiché questo tipo di rocce si forma sulla superficie terrestre a bassa temperatura e pressione.

I **fossili**, in quanto resti di antichi organismi, **sono preziosi testimoni del passato della Terra**, oggetti scientifici che ci **permettono**, attraverso il loro studio, **di ricostruire gli eventi biologici, geologici e geografici** avvenuti in tempi antichi.

I fossili hanno molteplici significati, in particolare, consentono di: **datare** le rocce nelle quali sono contenuti, **ricostruire l'ambiente** in cui tali rocce si sono formate, **ricostruire le tappe evolutive** della biosfera, e sono in grado di **formare** essi stessi le **rocce** (**Fig. b**).



a)



b)

Descrizione del laboratorio: riconoscimento di fossili e loro relazione con la roccia inglobante

Per il paleontologo il ritrovamento di un fossile all'interno di una roccia è fonte di un gran numero di informazioni.

Partendo dalla definizione di fossile e dal suo significato durante il laboratorio **gli studenti saranno guidati nel riconoscimento di resti, impronte e tracce e nella ricostruzione delle loro relazioni con la roccia inglobante.**

Attraverso l'osservazione prima di **fossili isolati (Fig. a)** poi di campioni di **rocce sedimentarie (Fig. b)**, gli studenti ricostruiranno gli ambienti di formazione delle rocce stesse distinguendo l'ambiente **continentale** da quello **marino (Figg. c - d)**.

Grazie a semplici osservazioni e pregresse conoscenze ecologiche di carattere generale e divulgativo, sarà possibile fare delle valutazioni circa i **parametri ambientali** presenti al momento in cui l'organismo è vissuto. Nello specifico sarà possibile valutare la quantità di **ossigeno** disponibile sia in atmosfera che nella colonna d'acqua, la disponibilità di **nutrienti** e **luce** nonché la **temperatura dell'aria e dell'acqua o l'intensità delle correnti marine.**

I fossili saranno anche utilizzati per comprendere il **concetto di tempo** distinguendo tra tempo **relativo e assoluto (Fig. e)**.

I fossili, infatti, sono degli ottimi strumenti per la cronologia relativa. Grazie al principio di "Irreversibilità dell'Evoluzione" essi **permettono di ricostruire** in modo univoco una sequenza storica di eventi all'interno di una successione rocciosa e **di fornire** una connotazione temporale agli strati che li contengono. Inoltre, attraverso il riconoscimento di particolari **strutture dette geopetali**, lo studente sarà in grado di riconoscere l'**alto stratigrafico** di una successione e quindi valutare se le rocce che si stanno osservando hanno subito **deformazioni per effetto della tettonica.**



a)



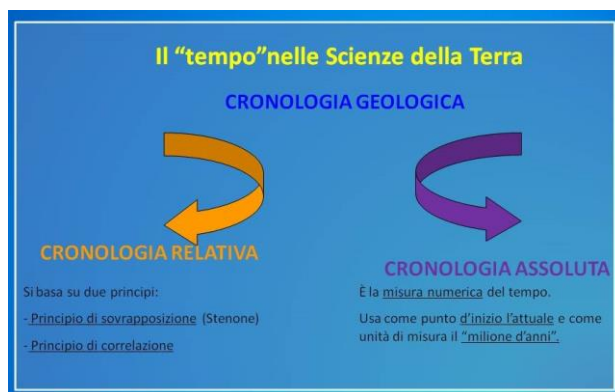
b)



c)



d)



e)

LABORATORIO DI PALEONTOLOGIA DEI VERTEBRATI

Santi Giuseppe

Materiali e metodi: ossa, denti e impronte

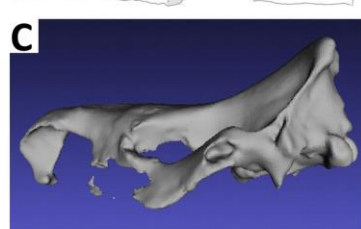
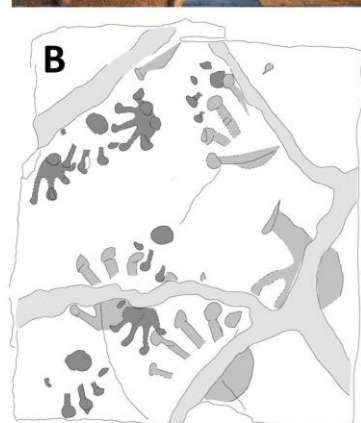
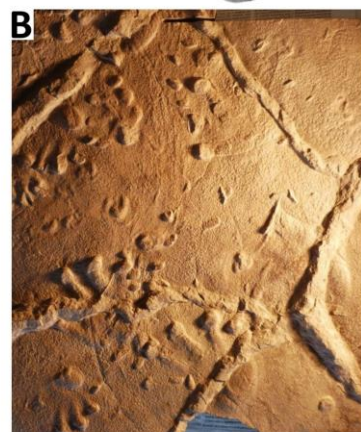
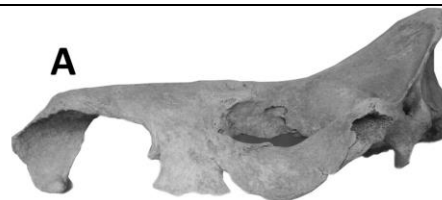
La **Paleontologia dei Vertebrati** è una disciplina che studia i fossili di vertebrati ed è fortemente integrata nella **Paleontologia Generale** intesa nel suo significato più ampio. Accanto ai resti veri e propri (ossa, denti) (**Fig. A**) anche le **impronte** (“*footprints*”) studiate dalla **Iconologia** (**Fig. B**) assumono un ruolo determinante. L'importanza assunta da queste discipline è notevole poichè hanno significati ambientali, stratigrafici, ma soprattutto evolutivi.

I resti dei vertebrati e le impronte sono studiati in vari modi, dai più semplici che si possono applicare anche sul terreno, ai più sofisticati come un'analisi a **3D** o la **TAC** (**Fig. C**) o tramite analisi del **mtDNA**.

Il primo passo è certamente la raccolta del materiale che avviene direttamente sul terreno (roccia o depositi fluviali come per esempio le alluvioni del fiume Po) (**Fig. D**). In entrambi i casi lo studio di laboratorio comprende la pulizia e il “restauro” del reperto e una documentazione fotografica o video.

Una volta terminata questa fase iniziale il passo successivo è dato dallo studio scientifico vero e proprio finalizzato all'individuazione di caratteri diagnostici utili per arrivare alla definizione della specie di appartenenza del reperto. Sia che si tratti di resto, sia di impronte questo approccio allo studio è il medesimo.

L'esame sui resti di vertebrati porta a delle conclusioni che si possono riassumere in: **a) cronologiche** (il fossile è utile per datare la roccia in cui è contenuto), **b) ambientale** (consente una ricostruzione dell'ambiente di vita del vertebrato o dell'associazione a vertebrati), **c) evolutive** (permette di ricostruire tratti evolutivi del genere e della specie cui il vertebrato in studio appartiene come per esempio per l'evoluzione del cavallo o dell'uomo).



Descrizione del laboratorio: studio di denti di elefanti del Pleistocene

Trovare denti di elefanti nelle alluvioni del fiume Po è un evento piuttosto raro, tuttavia un loro ritrovamento ed un successivo esame consente di poter ricostruire un antico ambiente di vita durante il Pleistocene (**1.8 Ma** a **10000** anni fa). Nel corso di questo periodo nella Pianura Padana si avvicendarono diverse specie di elefanti ciascuno con caratteristiche proprie e tipiche di ambienti di vita differenti. L'individuazione di questi caratteri diagnostici avviene principalmente sui denti molari.

L'esame di laboratorio inizia con la pulizia del reperto e del "restauro" delle eventuali fratture e parti staccate. L'uso di normali colle non aggressive, diluite nell'acqua, è molto consigliato.

Una volta terminata questa operazione (sempre documentata nelle sue varie fasi con foto e video) il passo successivo è quello di ottenere misure osteometriche utilizzando dei parametri codificati in diversi manuali di anatomia e relative pubblicazioni scientifiche in modo da avere un quadro più completo possibile delle proporzioni del fossile esaminato.

La caratteristica fondamentale dei denti degli elefanti del Pleistocene è la disposizione e il numero delle lamelle nei molari. Infatti, durante l'evoluzione, aumenta il numero delle lamelle contenute in un'unità di lunghezza (di solito 10 cm). Poche lamelle (3-4) sono tipiche dell'*Arkidiskodon meridionalis* l'elefante più antico, fino a 7-8 dell'*Elephas antiquus* (parente dell'attuale elefante africano), superiore a 10 del *Mammuthus primigenius* ovvero il mammut tipico dei climi freddi delle fasi glaciali del Pleistocene (**Fig. A, B, C**).

Di conseguenza, conoscendo le diverse specie che si alternarono nel corso del tempo è quindi possibile poter effettuare delle ricostruzioni paleoambientali della Pianura Padana e dell'alternarsi delle faune "calde" (**Fig. D**) e "fredde".



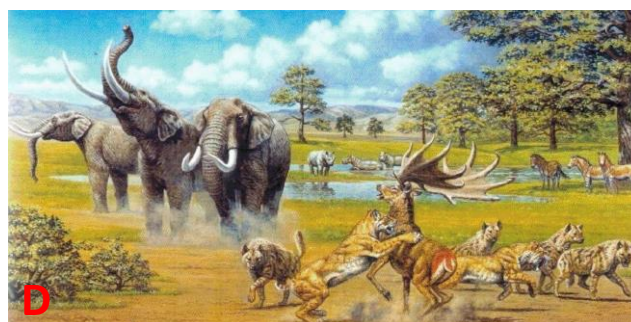
Arkidiskodon meridionalis



Elephas antiquus



Mammuthus primigenius



LABORATORIO DI GEOLOGIA STRUTTURALE E MODELLAZIONE 3D

Giovanni Toscani, Cesare Perotti, Silvio Seno

Materiali e metodi: i modelli analogici e la modellazione 3D

La **Geologia Strutturale** è quella branca delle Geoscienze che si occupa di rilevare e descrivere sia qualitativamente sia quantitativamente le **deformazioni** che coinvolgono corpi rocciosi.

Descrivere la **forma** di un corpo roccioso, calcolarne il **volume**, identificarne i **limiti**, conoscerne lo **spessore**, l'**estensione** areale e risalire ai **processi** che hanno portato alla sua conformazione attuale è fondamentale sia a scopi di ricerca che a fini applicativi.

Ad esempio, è necessario conoscere il volume di un ammasso roccioso quando si vuole cavare la roccia che lo costituisce. È utile conoscere la conformazione delle rocce che si incontreranno nel sottosuolo durante lo scavo di una galleria; è necessario conoscere i limiti di un ammasso quando questi contenga ad esempio risorse minerarie.

Tutte queste informazioni e ricostruzioni si ottengono unendo dati di terreno (mappe geologiche, fig. 1), dati di sottosuolo (sezioni geologiche, fig. 2) e/o unendo le due informazioni in modelli 3D (fig. 3).

Inoltre, i processi geologici possono essere riprodotti in scala ridotta in laboratorio utilizzando materiali (sabbia quarzosa, microsfere di vetro, argilla) che hanno comportamenti **analoghi** a quelli delle rocce (da qui il nome di “modelli analogici”).

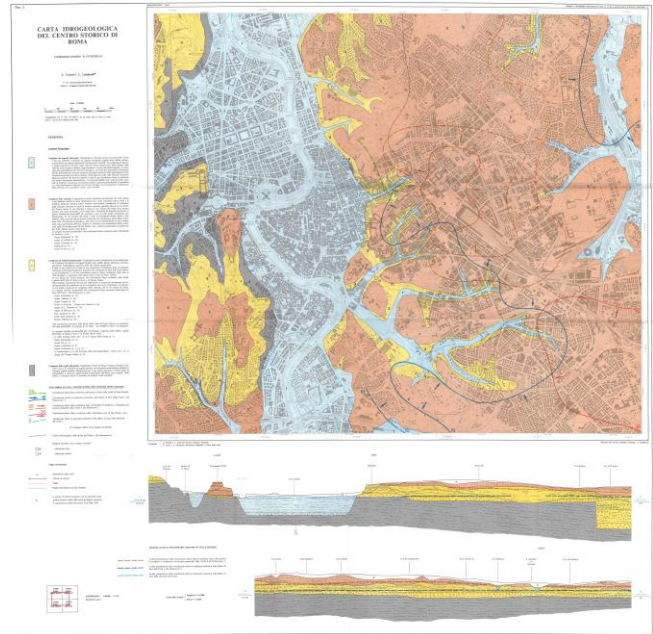


Fig. 1: esempio di carta geologica.

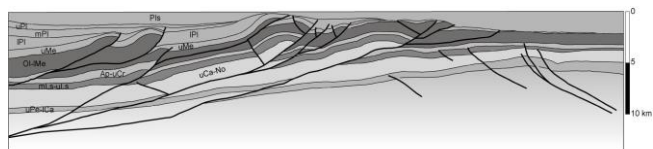


Fig. 2: esempio di sezione geologica.

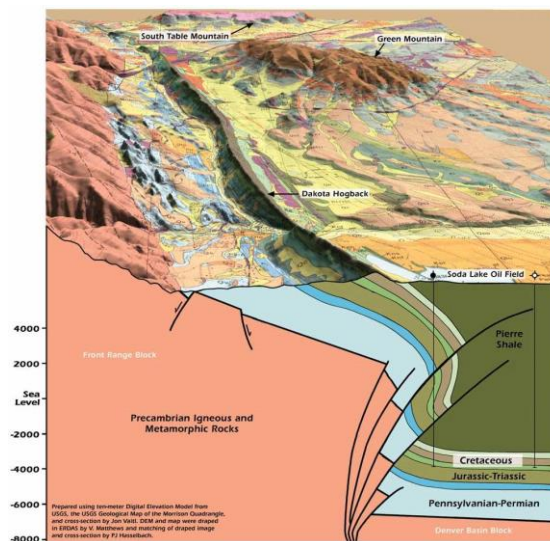


Fig. 3: esempio di modello 3D che unisce mappa e sezione.

Descrizione del laboratorio: realizzazione di modelli analogici

Durante lo stage, lo studente avrà l'opportunità di sperimentare come i modelli analogici vengano realizzati in appositi apparati dotati di strumentazione controllata a distanza per (a) imprimere la deformazione al materiale analogo e (b) rilevare i dati provenienti dai modelli (fig. 4).

Il risultato dei modelli analogici è quello di visualizzare nel tempo di una sessione sperimentale (qualche ora) la **cinematica** di deformazione delle rocce che avviene in tempi geologici.

Le strutture riprodotte sono simili a quelle naturali e consentono **analisi** quantitative sulle geometrie e sui processi geologici.(fig. 5)

Sia i modelli analogici che i casi naturali possono essere **visualizzati** con software dedicati di modellazione 3D. Questi **strumenti di calcolo** consentono non solo una visualizzazione e misura completa degli oggetti geologici ma anche operazioni specifiche quali decompattazione di sedimenti, conversione tempi-profondità, retrodeformazione di strutture geologiche (fig. 6 – modelli 3D).

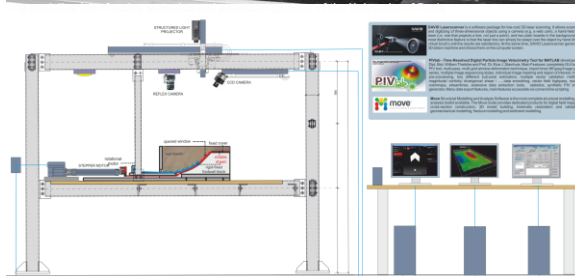
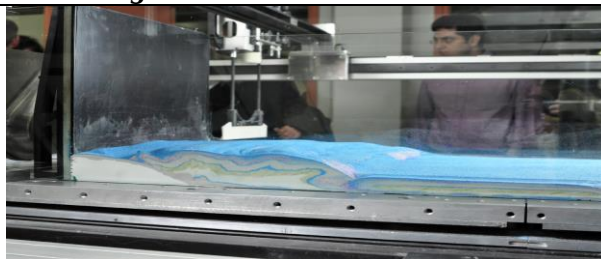


Fig. 4: schema dell'apparato sperimentale per la realizzazione dei modelli analogici.

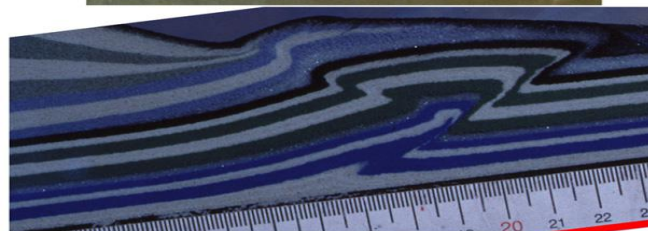


Fig. 5: confronto tra una struttura geologica reale e il suo analogo sperimentale.

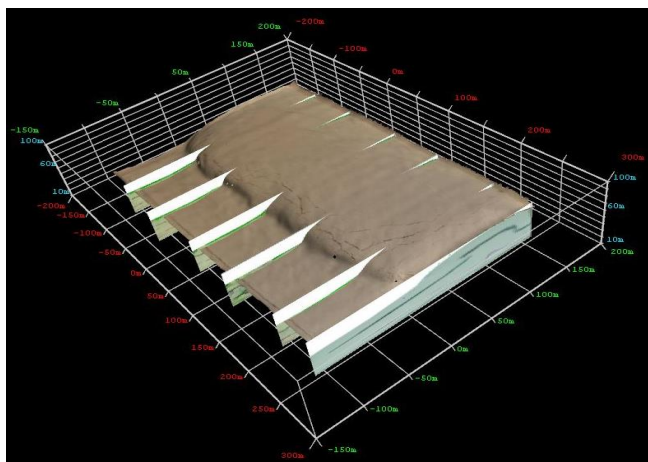


Fig. 6: modello analogico riprodotto in 3D tramite software dedicato

LABORATORIO DI DIFFRATTOMETRIA A RAGGI X METODO “DELLE POLVERI” (XRD)

Setti Massimo

Materiali e metodi

La Diffrazione a Raggi X metodo “delle polveri” (XRD) consente di identificare i più importanti minerali presenti nelle rocce, nei sedimenti e miscugli artificiali come mattoni, ceramiche, cementi, ecc.

I minerali sono corpi caratterizzati da proprietà fisiche omogenee, da una composizione chimica caratteristica e da una struttura ordinata delle particelle costituenti (atomi, ioni, molecole). La tecnica XRD sfrutta il fenomeno della diffrazione dei raggi X da parte dei materiali cristallini, ove per “diffrazione” si intende la deviazione della traiettoria delle onde quando queste incontrano un ostacolo sul loro cammino (Fig. 1).

Lo strumento di analisi è detto Difrattometro delle polveri (Fig. 2)

I raggi X sono radiazioni dello spettro elettromagnetico con lunghezze d'onda comprese tra quelle dei raggi ultravioletti e dei raggi gamma. Ogni minerale possiede una caratteristica struttura cristallina, e pertanto è contraddistinto da una serie di valori che ne consentono l'identificazione.

Questa tecnica trova importanti applicazioni in tanti settori nell'ambito delle scienze della terra, scienze dei materiali, beni culturali, scienze ambientali.

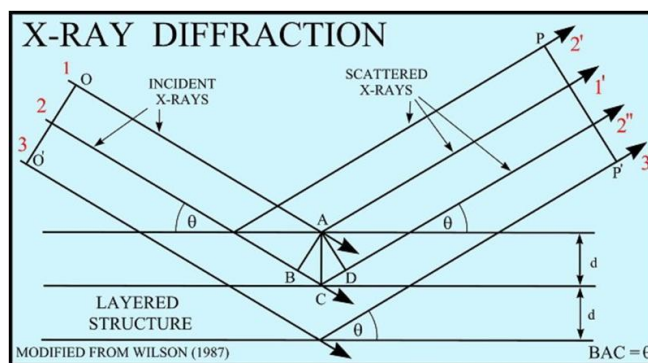


Fig. 1 Il fenomeno della diffrazione dei raggi X avviene solo per quei valori di angolo θ che soddisfano l'equazione di Bragg. I valori di distanza interplanare d sono caratteristici di ogni minerale e ne consentono l'identificazione.

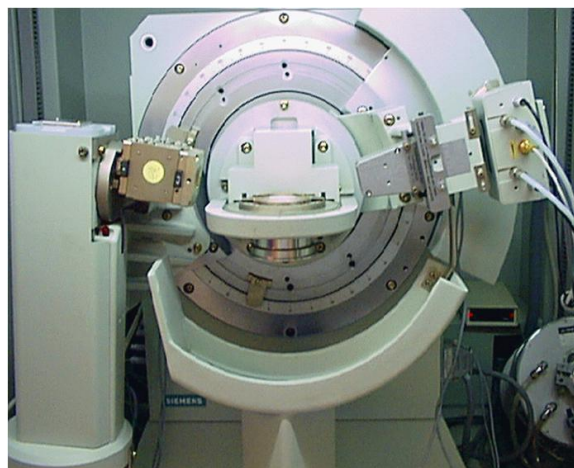


Fig. 2. Moderno Difrattometro delle Polveri.

Descrizione del laboratorio: lettura di diffrattogrammi

Durante lo stage, gli studenti prenderanno visione del laboratorio di diffrattometria e di un diffrattometro delle polveri (Fig. 2). Impareranno ad osservare il risultato di tale analisi, cioè il diffrattogramma (Fig. 3). Esso è un tracciato che riporta i picchi caratteristici dei minerali. Poiché tutti i minerali possiedono una propria serie di picchi (Fig.4), si arriverà alla identificazione attraverso il confronto dei valori ottenuti con quelli riportati dalle tabelle standard compilate dall'International Centre for Diffraction Data (ICDD).

Saranno illustrati casi di studio inerenti la conservazione dei beni culturali della città di Pavia (Fig. 4), indagini ambientali con particolare riferimento all'individuazione della presenza di amianto e analisi paleoclimatiche in sedimenti marini (Fig. 5).

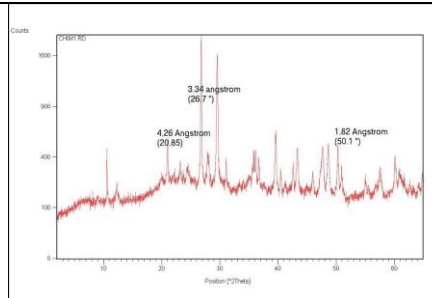


Fig. 3. Il diffrattogramma X del quarzo. Ogni picco corrisponde ad una precisa famiglia di piani reticolari propria del minerale stesso.



Fig. 4. La facciata della chiesa di San Michele in Pavia è costituita da pietra arenaria, soggetta a importanti fenomeni di degrado.

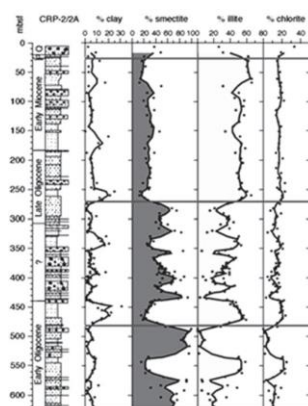


Fig. 5. Percentuali di minerali indicatori del clima (smectite, clorite, illite) presenti in sedimenti marini dell'Oceano Meridionale (mar di Ross, Antartide).

LABORATORIO DI MINERALOGIA APPLICATA

(GEMMOLOGIA)

Franca Caucia

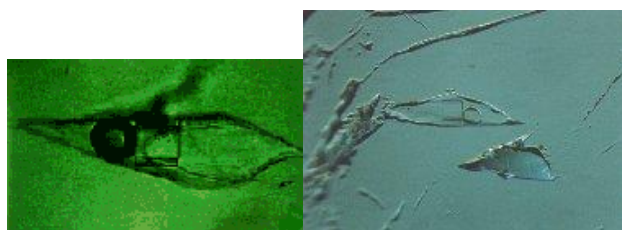
Materiali e metodi

Per **gemma** intendiamo un materiale desiderabile per la sua **bellezza**, di grande valore per la **poca reperibilità** in natura e che sia dotato di **durevolezza** in modo da mantenersi nel tempo. Le gemme naturali sono **materiali naturali inorganici o organici** comprendendo minerali (corindone, berillo, diamante), rocce (lapislazzuli, diaspro); parti e secrezioni di animali (coralli, perle) e vegetali (ambra).

Le gemme prodotte artificialmente mediante procedimenti tecnologici sono dette **sintetiche**: esse hanno la stessa composizione chimica, la stessa struttura cristallina e le stesse caratteristiche ottiche e fisiche delle corrispondenti gemme naturali.

La gemmologia non si occupa solo dello studio delle gemme naturali e sintetiche e della corretta terminologia, ma anche dei metodi di **analisi gemmologica**, del **taglio** e della **lucidatura**, dei metalli preziosi e delle loro leghe e infine delle procedure di **valutazione**.

Le analisi gemmologiche in genere sono **metodologie non distruttive**, a causa dell'elevato valore del materiale oggetto di studio; si tratta di **analisi fisiche e ottiche** quali la misura della **densità** e degli **indici di rifrazione**; le osservazioni microscopiche (presenza di inclusioni polifasiche; pleocroismo); osservazioni alla **lampada UV**; determinazione del colore e del taglio; **spettri di assorbimento nel visibile**.



Inclusioni trifase (solido+liquido+ga) in smeraldo colombiano; inclusioni bifase in smeraldo brasiliano



Inclusioni fluide (in movimento) nel quarzo ialino

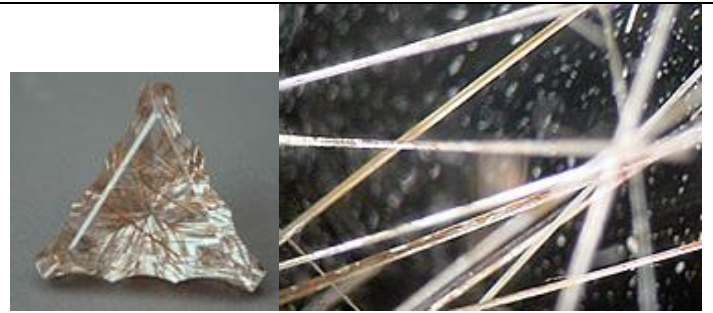
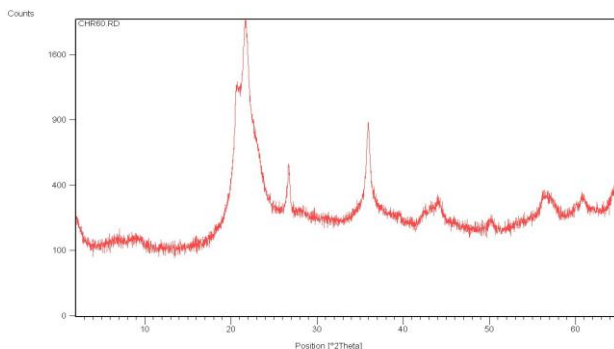


Inclusioni dendritiche (MnO) in calcedonio

In particolare l'analisi delle inclusioni può dare molte informazioni sulla genesi della gemma oggetto di studio e **sull'area giacimentologica** di provenienza.

Le gemme traslucide e opache possono essere studiate anche con metodologie **analitiche distruttive**: in particolare è utile l'**analisi diffrattometrica RX** per polveri, l'**analisi chimica** dei maggiori e delle tracce, la **spettroscopia nell'infrarosso**.

Diffrattogramma RX di opale



Quarzo rutilato ingrandimento degli aghi di rutilo



Inclusioni a strie curve in rubino sintetico; inclusioni a "impronta digitale" in rubini naturali

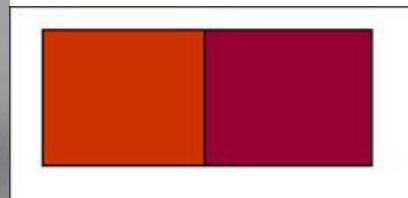


Colorimetro GIA per la determinazione del colore

Descrizione del laboratorio:

Il laboratorio di gemmologia del Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente è un **laboratorio ottico** che permette di riconoscere gemme naturali, prodotti di sintesi e gemme trattate. Sono disponibili due **rifrattometri** per la misura degli indici di rifrazione, alcuni **polariscopi** che permettono di discriminare gemme monorifrangenti e birifrangenti; due **bilance idrostatiche** per la misura della densità; due **microscopi**; una **lampada UV** ad onda corta e lunga; **colorimetri** a tavole GIA, RGB e Pantone; un microscopio per l'analisi del pleocroismo.

La lezione prevista nell'ambito dello stage, della durata di circa 1 ora e mezza, comprende una breve introduzione alla **mineralogia sistematica** e ai minerali qualità gemma (definizioni; sistematica; proprietà fisiche e ottiche; il colore delle gemme), seguirà poi la presentazione del laboratorio e una esperienza pratica su campioni di gemme sfaccettate. In particolare verrà compilata una scheda gemmologica utilizzando gli strumenti a disposizione nel laboratorio.



Dicroscopio; pleocroismo del rubino



Polariscopio

MUSEO DI MINERALOGIA

Athos Maria Callegari

Introduzione

Il Museo di Mineralogia dell'Università è l'unica struttura museale di ambito mineralogico della città di Pavia, aperta al pubblico che consente di conoscere in modo dettagliato la Mineralogia, disciplina che generalmente non è molto conosciuta dal pubblico, pur essendo i minerali fondamentali per la produzione di buona parte delle materie prime che vengono utilizzate da tutti noi nella vita quotidiana.

Il Museo pur facendo parte del Sistema Museale di Ateneo (SMA) è legato al Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente e in particolare all'ex sezione di Mineralogia, Petrografia e Geochimica, che ha da sempre utilizzato il materiale conservato nel museo per studi soprattutto di carattere mineralogico-cristallografico. L'attività scientifica museale quindi segue il filone delle attività di ricerca del Dipartimento sulla mineralogia sistematica e la cristallografia di minerali rari.

Nel museo si svolge con continuità un'intensa attività didattica legata non solo alle normali lezioni rivolte agli studenti dei corsi di laurea in Scienze e Tecnologie per la natura e Scienze Geologiche, ma anche alla didattica divulgativa per fruitori non appartenenti al mondo universitario, mediante l'organizzazione di visite guidate per gruppi e scolaresche di ogni livello.



Patrimonio conservato

I minerali conservati sono circa 8.000 ma ben più della metà, non sono esposti al pubblico e vengono conservati in appositi armadi.

L'organizzazione del museo consente di percorrere percorsi diversi a seconda dell'interesse dei visitatori. Il materiale esposto, infatti, è organizzato secondo diversi criteri espositivi. Una parte del materiale esposto, è ordinato in un'unica collezione ordinata secondo i criteri della sistematica mineralogica,

Esiste poi una collezione regionale, dove sono esposti i minerali più rappresentativi di molte delle regioni italiane. Questa collezione consente di vedere esposti campioni di buon pregio estetico provenienti da miniere dismesse da tempo.

Altre collezioni interessanti sia dal punto di vista storico che da quello mineralogico sono:

la collezione di minerali donati dall'imperatrice Maria Teresa d'Austria e provenienti in gran parte dalla Sassonia e dall'Ungheria;

la collezione della Val Devero (Verbano Cusio Ossola), raccolta nel 1915 da Angelo Bianchi e che comprende campioni particolarmente interessanti dal punto di vista morfologico;

la collezione di diaspri lucidati provenienti per la maggior parte dall'Est europeo e acquisita dal museo nei primi anni dell'800 insieme alla collezione di agate e corniole conservate sotto forma di piccole piastrelline o come piccoli oggetti lavorati.

È conservata una piccola collezione di meteoriti, interessante dal punto di vista storico, in quanto comprende due pezzi caduti nei dintorni di Siena il 26.6.1794 e raccolti da Lazzaro Spallanzani.

Sono inoltre esposti minerali mostranti gli *habitus* più frequenti ed esempi di geminati particolarmente ben formati e cristallizzati secondo le principali leggi di geminazione.

Altre collezioni disponibili sono: la collezione "Marley", donata al museo negli anni '90 e una collezione ad uso didattico che comprende i minerali basilari di una collezione mineralogica.

Degna di rilievo è anche una collezione di marmi lucidati provenienti da tutto il bacino del Mediterraneo, con alcuni litotipi provenienti da cave ormai scomparse.



LABORATORIO DI PETROGRAFIA

Alessio Sanfilippo, Antonio Langone

Le indagini petrografiche del sottosuolo

La **petrografia** racchiude tutto ciò che riguarda lo studio delle rocce. In particolare, la petrografia è volta allo studio delle associazioni dei minerali (costituenti delle rocce), le loro tessiture (rapporti tra minerali diversi) e la loro struttura (il modo in cui i minerali sono orientati nello spazio). Il petrografo utilizza molte metodologie d'indagine per capire 1) i meccanismi di formazione delle rocce e 2) il contesto geologico in cui si sono generate. Da ciò, il petrografo ottiene fondamentali informazioni sul funzionamento del nostro pianeta.

Le **indagini petrografiche** si avvalgono di diversi strumenti di ricerca, acquisiti da discipline parallele quali la **mineralogia**, la **geochimica** e la **geofisica**. Inoltre, lo studio petrografico parte da un dettagliato studio delle relazioni di terreno, fondamentali per comprendere i meccanismi di formazione delle rocce studiate e per prelevare i campioni su cui concentrare le indagini petrografiche. Seppur utilizzata in maniera efficace per lo studio di rocce sedimentarie, la petrografia è strumento necessario per lo studio di rocce **metamorfiche** (rocce trasformate dopo la loro formazione), **magmatiche** (derivanti da magmi) e di **mantello** (il materiale al di sotto della crosta terrestre).

Lo studio inizia con dettagliate indagini degli affioramenti. Ovunque ci siano rocce magmatiche o metamorfiche, sulle montagne o sotto gli oceani (**Fig.1**), il petrografo preleva i campioni utili per lo studio in laboratorio. Primo strumento d'indagine è il **microscopio ottico**. Il campione di roccia prelevato viene tagliato e assottigliato fino a formare una sottile lama di roccia (~30 micron) che, incollata su un vetrino, diventa una **sezione sottile**. Questa sottilissima lama di roccia permette alla luce di attraversare i minerali, che possono essere così studiati nel dettaglio (**Fig. 2**). A questa prima indagine seguono poi indagini **geochimiche**, volte a conoscere la composizione chimica dei minerali e quindi a definirne l'origine.



Figura 1. Sottomarino Shinkai 6500 in fase di messa in opera durante una campagna oceanografica nel Mar delle Filippine.

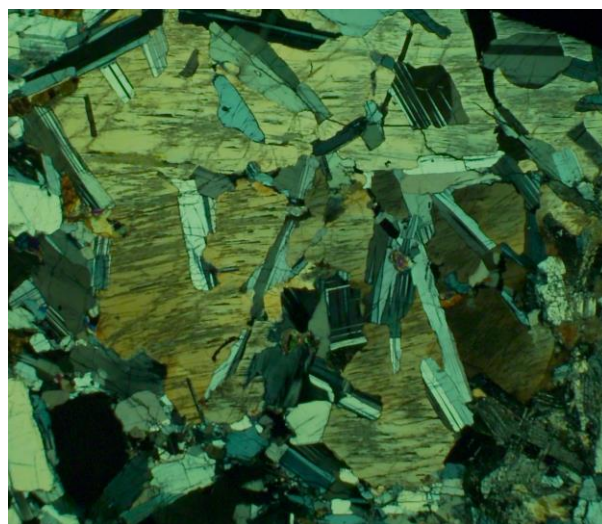


Figura 2. Immagine a nicols paralleli di una sezione sottile ottenuta da un campione prelevato dal fondale oceanico (gabbro).

Descrizione del laboratorio Laser Ablation ICP-MS: misura della composizione chimica dei minerali e datazioni radiometriche

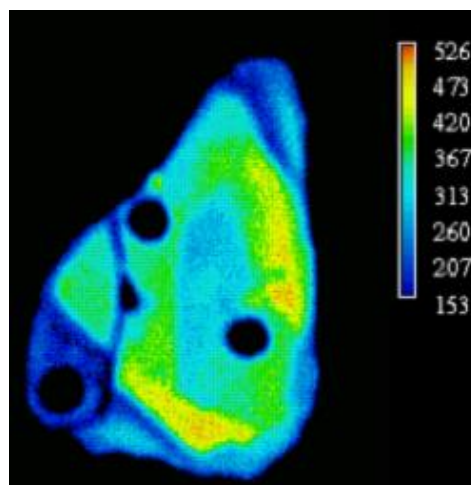
Esistono molti tipi di **indagine geochimica**, utili a conoscere le concentrazioni dei diversi elementi costituenti delle rocce. A seconda che si abbia bisogno di conoscere la composizione dell'intera roccia (analisi di **roccia totale**) o dei singoli costituenti (analisi *in situ*), il petrografo utilizza metodi geochimici su campioni dettagliatamente studiati e caratterizzati al microscopio ottico. Il petrografo spesso utilizza entrambi gli strumenti per una migliore e più completa comprensione del campione prelevato.

La tecnica mostrata in questo laboratorio è indicata come *Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (**Fig.3**). E' una tecnica che si serve di una **sorgente laser** utilizzata per prelevare piccolissime quantità di materiale, successivamente incanalato all'interno di un **plasma ionizzante**. Il campione così ionizzato viene diretto all'interno di uno **spettrometro di massa**, utile a separare e quantificare i diversi ioni (singoli elementi). Il laser è utilizzato per focalizzare la ricerca unicamente su porzioni di minerali molto piccole (fino a 20 micron) , per poter conoscere la variazione della composizione chimica tra i diversi minerali. Questa tecnica è molto utile a quantificare elementi presenti in **bassissime concentrazioni** all'interno dei minerali (fino a poche parti per miliardo), ed è quindi spesso utilizzata per quantificare isotopi utili alla **datazione radiometrica**.

Questa tecnica è utilizzabile su ogni materiale, minerali, vetri basaltici, legni o leghe metalliche. Unico limite è che la quantificazione è dipendente dall'utilizzo di **standard** (minerali e composizione conosciuta) non troppo differenti dal materiale analizzato.



Figura 3. Laboratorio LA-ICP-MS (CNR-IGG), ospitato presso il Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente



Mapa composizionale di una monzonite datata tramite tecnica U-Pb.

LABORATORIO DI PETROGRAFIA APPLICATA

raccontare l'arte con gli occhi della scienza

Maria Pia Riccardi (con la collaborazione di Mario A. Lazzari – Scuola di Specializzazione in Beni Storico-Artistici, Università di Siena)

Materiali e metodi:

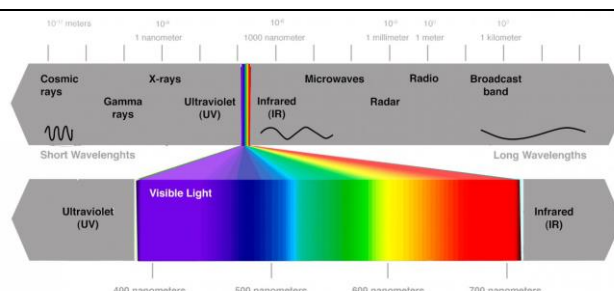
I materiali raccontano una storia: i **materiali naturali**, le rocce, raccontano frammenti della **storia del pianeta Terra**; i **materiali artificiali** raccontano frammenti della **storia dell'Uomo**.

La petrografia applicata utilizza i metodi e le tecniche già conosciute e consolidate nello studio delle rocce per ricostruire e raccontare frammenti di storia degli oggetti realizzati dall'uomo. Tali oggetti hanno sempre una storia complessa, e per questo motivo la petrografia si "allea" con altre scienze per poter decodificare più frammenti della storia dell'oggetto, per meglio ricostruire il suo passato.

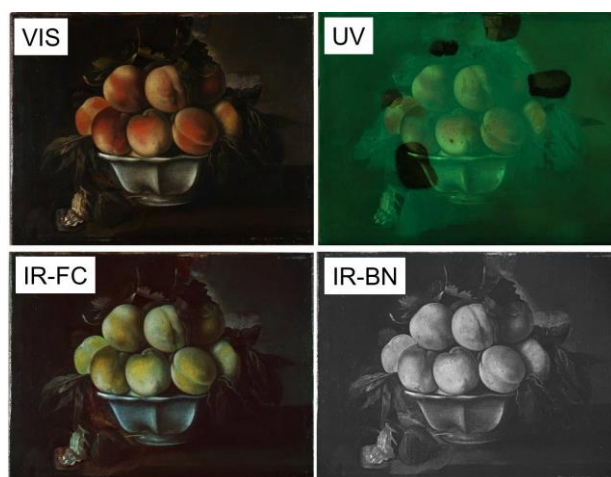
Come è possibile guardare "dentro" agli oggetti e dentro ai materiali? Il primo strumento è il nostro occhio.

Giocando con lo **spettro della radiazione luminosa** è possibile guardare dentro agli oggetti. Il limite della nostra visione è lo **spettro del visibile** (400 – 700 nm circa). Attraverso tecniche particolari, dette di **imaging**, è possibile vedere le opere in bande dello spettro elettromagnetico che ci sono precluse dalla natura. Queste tecniche utilizzano la radiazione del **vicino UV** (Luminescenza Ultravioletta), quella del **vicino Infrarosso** (riflettografia IR e IR in falso colore), oppure i **Raggi X** (Radiografia). L'insieme di queste metodologie ci permette di far slittare la nostra vista permettendoci di vedere gli oggetti sotto una vera e propria luce diversa.

Il limite dell'occhio umano è pure la **risoluzione**. Per superare il limite di osservazione dell'occhio umano occorre utilizzare gli occhiali della tecnologia. Il primo



Lo spettro elettromagnetico
(<http://www.fotografareindigitale.com>)



La stessa opera osservata in luce diretta (VIS), luminescenza ultravioletta (UV), riflettografia nel vicino infrarosso in falso colore (IR-FC) e nel vicino infrarosso (IR-BN).



Il microscopio ottico

strumento utilizzato per “vedere meglio” gli oggetti è un sistema di **lenti ottiche**. Nel nostro caso questo strumento è il **Microscopio** che utilizza la luce, talvolta una **luce polarizzata**, per indagare, alla piccola scala di osservazione, un oggetto.

Ma anche questo strumento ha dei limiti. La tecnologia ancora ci viene in aiuto, fondendoci degli “occhiali speciali”. Questi occhiali non utilizzano più la luce, ma gli elettroni, e le lenti sono **lenti elettromagnetiche**. Questo strumento è il **Microscopio Elettronico a Scansione (SEM)**.



Il microscopio elettronico a scansione

Descrizione del laboratorio: osservazioni al microscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione di materiali storico-artistici

Il laboratorio Arvedi della Università degli Studi di Pavia, permette di seguire il percorso di indagine che solitamente viene attivato per lo studio di oggetti e materiali appartenenti al nostro patrimonio culturale.

Verrà illustrato il **protocollo** di preparazione di un campione (**microprelievo**) per l’osservazione al microscopio ottico.

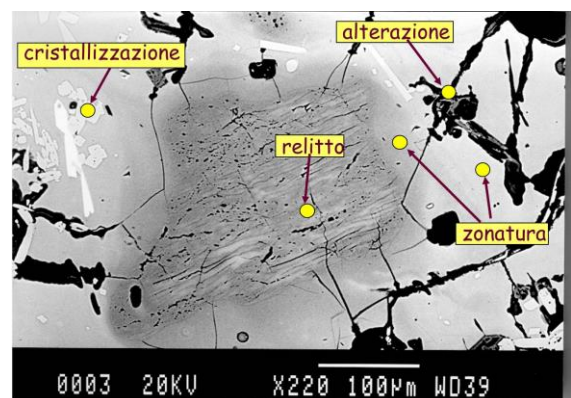
I microscopi presenti presso il Laboratorio saranno utilizzati per la lettura ed interpretazione di una **microstratigrafia**, ossia la successione degli strati tecnici che costituiscono un dipinto e per l’osservazione di una tessera di mosaico in vetro.

Gli stessi campioni saranno osservati al microscopio elettronico a scansione (SEM), dotato di differenti sistemi di analisi.

L’interpretazione della stratigrafia racconterà un frammento della storia del dipinto e ci mostrerà quali pigmenti sono stati utilizzati dall’artista per la realizzazione dell’opera. Le **microstrutture** presenti nella tessera di mosaico e la **composizione chimica del vetro** ci racconteranno dettagli sulla **tecnologia di produzione** e sulla **provenienza** della tessera stessa.



Stratigrafia di un dipinto murale



Microstruttura (difetto) in un vetro archeologico

LABORATORIO DI GEOCHIMICA

Elisa Sacchi

Materiali e metodi: la Geochimica

La Geochimica studia la genesi, la distribuzione e il comportamento degli elementi e dei nuclidi in natura e le loro applicazioni nelle Scienze della Terra, utilizzando i metodi della chimica e della chimica-fisica. Le competenze del settore sono essenziali nella comprensione e nella definizione geocronologica dei processi evolutivi della **Terra solida**, dell'**idrosfera**, dell'**atmosfera** e della **biosfera**. L'applicazione degli approcci geochimici è determinante nella pianificazione dello sfruttamento delle **risorse strategiche naturali**, compresa l'**energia geotermica**, nel controllo e nella quantificazione dei processi di **inquinamento** dei suoli, dell'acqua e dell'aria e nella mitigazione dei **rischi naturali**.

Tipicamente uno studio di tipo geochimico comincia con il **campionamento** della o delle matrici da indagare (rocce, suoli, acque) utilizzando tutte le precauzioni indispensabili per evitare la **contaminazione accidentale dei campioni**.

Seguono le **analisi chimiche** degli elementi contenuti nei campioni, utilizzando diverse tecniche analitiche selezionate sulla base della tipologia di campione da indagare e delle concentrazioni attese.

L'**elaborazione dei dati** viene effettuata con programmi di calcolo di uso comune (per esempio per diagrammi di concentrazione), database e programmi di calcolo termodinamico (per esempio per i processi di interazione acqua-roccia) e programmi che permettono la realizzazione di elaborati cartografici (per esempio, GIS - Geographic Information System).



Campionamento di acque



Campionamento di suoli

Descrizione del laboratorio di Geochimica

Il laboratorio di Geochimica del Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente è attrezzato per effettuare analisi di **elementi minori** o **in traccia** in campioni liquidi e solidi. E' dotato di alcuni strumenti i misura per le **analisi di terreno** (sonda multi-parametrica di temperatura, conducibilità, pH e potenziale ossidoriduttivo), un sistema per l'analisi dell'**alcidità delle soluzioni** tramite titolazione, ed uno spettrofotometro per l'analisi colorimetrica di alcuni parametri (es. fosforo disciolto e silice). Il laboratorio di Geochimica ospita al suo interno anche la strumentazione del Centro Interdipartimentale di Ricerca sulle Acque, tra cui due assorbimenti atomici per l'**analisi dei metalli**.

La lezione prevista nell'ambito dello stage, della durata di 90 minuti, comprende una breve introduzione sulla Geochimica, portando ad esempio alcuni studi realizzati dal Dipartimento, in particolare **studi di tipo ambientale**: tale breve introduzione viene tenuta come lezione in aula. Segue una visita al Laboratorio di Geochimica durante la quale vengono descritti alcuni parametri analitici ed il loro significato nello studio dei **fenomeni di inquinamento delle acque** e dei **processi di interazione acqua-roccia**: temperatura, conducibilità elettrica, pH ed alcalinità. In seguito viene effettuata una dimostrazione pratica di come vengono realizzate queste misure, utilizzando alcuni campioni di acque e bevande potabili. Vengono infine illustrati i principi di funzionamento di alcuni strumenti utilizzati per la determinazione analitica degli elementi di interesse.



Esempio di analisi colorimetrica



Spettrofotometro UV-VIS

LABORATORIO DI GEOTECNICA E DI GEOLOGIA APPLICATA

Meisina Claudia, Tumiatì Marco, Bordoni Massimiliano

Materiali e metodi: l'analisi granulometrica dei terreni

Tra le diverse prove geotecniche, l'**analisi granulometrica** di un terreno ha importanti implicazioni pratiche, soprattutto per quei terreni soggetti a problematiche di natura **geologico-ingegneristica** (frane, alluvioni, liquefazione, ritiro-rigonfiamento). L'analisi granulometrica ha la finalità di individuare le **dimensioni delle particelle** che compongono un terreno e stabilire le **percentuali in peso** delle sue varie frazioni granulometriche. Le frazioni granulometriche di un terreno sono distinte tramite diametri standardizzati, che risultano essere, secondo le norme dell'Associazione Italiana di Geotecnica (AGI):

- ghiaia: diametro superiore a 2 mm;
- sabbia: diametro tra 2 e 0.06 mm;
- limo: diametro tra 0.06 e 0.002 mm;
- argilla: diametro inferiore a 0.002 mm.

La granulometria viene espressa graficamente da una **curva granulometrica** cumulativa (**Fig. a**) che ha in ascisse i diametri delle particelle in scala logaritmica e in ordinate le percentuali riferite al peso dei passanti ai vari setacci.

La prova viene eseguita selezionando una porzione significativa del campione, di peso maggiore a 200 g a seconda del diametro medio-massimo del campione. Il campione viene **essiccato** in forno a 105° C, per toglierne l'**umidità residua**. Esso viene quindi **vagliato al setaccio** standard di diametro 0.038 mm.

La parte di campione con diametro superiore a 0.038 mm viene analizzata mediante la tecnica della setacciatura (**Fig. b**). Si prende circa 100-200 g di materiale essiccato. Esso viene "**lavato**" sotto acqua corrente per eliminare la frazione più fine di 0.038 mm. Il resto del materiale è essiccato in forno a 105° C per una notte, e quindi viene setacciato con setacci di maglie standard con diametro maggiore di 0.038 mm. Si ricava quindi la percentuale in peso trattenuta da ciascuna maglia.

La parte di campione con diametro inferiore a 0.038 mm viene analizzata mediante la **tecnica della sedimentazione** (analisi

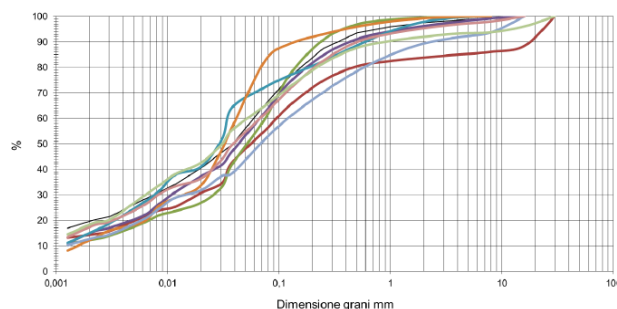


Figura a. Esempi di curve granulometriche di terreni.



Figura b. Serie di setacci usata per il setacciamento di un campione di terreno.

densimetrica) (**Fig. c**). Il metodo si basa sulla **legge di Stokes**, per cui minore è il diametro di una particella maggiore è il tempo necessario perché si sedimenti sul fondo di un recipiente riempito da un certo fluido. La prova della sedimentazione si esegue su 50 g di materiale secco passante a 0.038 mm, a cui è aggiunto un deflocculante (esametafosfato di sodio). Il **deflocculante** ha lo scopo di prevenire che si possano legare tra di loro le particelle di argilla più fini, precipitando sul fondo come granuli. La soluzione viene agitata meccanicamente per circa 10 minuti e quindi viene collocata in un cilindro di vetro, aggiungendo acqua distillata fino a un volume di 1000 cm³. Si procede a misurare la **densità** della soluzione mediante un **densimetro** per 24 ore, secondo intervalli regolari. La densità cambia in funzione delle particelle che sedimentano sul fondo del cilindro. La misura delle densità viene inserita in correlazioni con cui ricavare il diametro delle particelle e la loro percentuale in peso.

Per **classificare** un terreno di cui eseguiamo l'analisi granulometrica seguiamo i seguenti criteri:

- la frazione granulometrica con maggior percentuale in peso dà il nome all'aggregato;
- quando il secondo materiale ha una percentuale in peso tra 25%–50%, diciamo CON per unire i due nomi;
- utilizziamo il suffisso OSO se la percentuale in peso della frazione successiva è tra 10%–25%;
- utilizziamo il suffisso OSO e la particella DEBOLMENTE se la percentuale della frazione successiva è tra 5%–10%.

Nell'esempio di **Fig. d**, le **classi granulometriche** hanno le seguenti percentuali: argilla: 23 %, limo 13%, sabbia: 55%, ghiaia: 9%. Il campione è dunque classificabile come sabbia argilloso-limosa debolmente ghiaiosa.

La forma della curva granulometrica permette di capire anche le modalità di sedimentazione del campione (**Fig. e**). **Curve regolari** sono tipiche di terreni depositi in **ambienti acquei**. **Curve irregolari** sono tipiche di **terreni di riporto e di depositi caotici** (es. depositi di frana).



Figura c. Esempio di prova di densimetria su campioni di terreno.

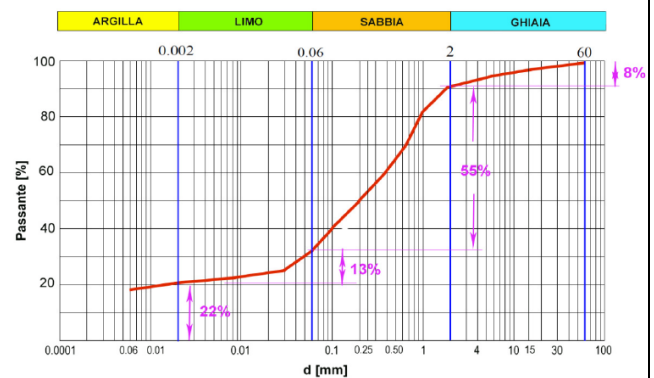


Figura d.

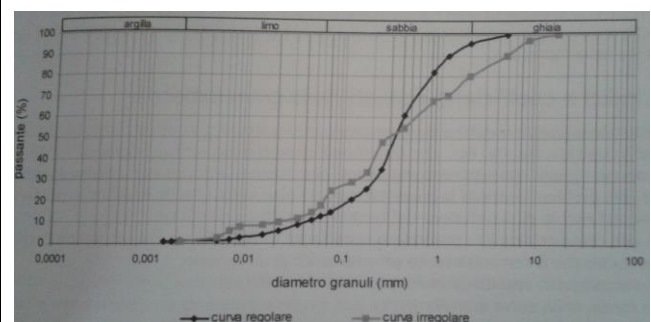


Figura e. Esempi di curva granulometrica regolare ed irregolare.

IDROGEOLOGIA E LABORATORIO DI IDROGEOLOGIA, IDROLOGIA E IDROCHIMICA

Pilla Giorgio

Materiali e metodi:

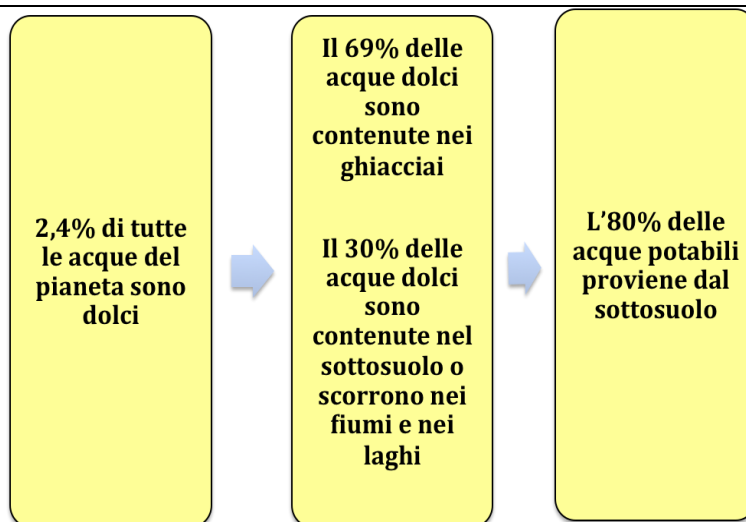
Per l'uomo, come per gli altri viventi, l'acqua è una necessità primaria. Oltre a costituire circa il 70% del suo peso corporeo, è la sostanza che in maggiore quantità entra ed esce dal suo corpo: circa 2.5 litri al giorno.

L'idrogeologia è la Scienza dell'acqua sotterranea, a carattere pluridisciplinare. I suoi obiettivi sono l'acquisizione dei dati numerici per mezzo della prospezione o della sperimentazione sul terreno, la captazione e la pianificazione dello sfruttamento dell'acqua sotterranea.

L'idrogeologia ha come base fondamentale la Geologia. La Geologia da sola non è però sufficiente a soddisfare le esigenze dell'obiettivo principale della Idrogeologia che è la gestione dello spazio sotterraneo per la pianificazione dello sfruttamento e protezione delle risorse idriche, sfruttamento degli acquiferi sia superficiali che profondi, stoccaggi nel sottosuolo di rifiuti, ecc...

Pertanto l'Idrogeologia utilizza anche i metodi e i mezzi della **prospezione geofisica**, delle **tecniche del telerilevamento**, delle **pratiche di perforazione** e di **captazione delle acque**, della **geochimica delle rocce e delle acque**, della **idrobiologia** e, soprattutto, **dell'idrodinamica sotterranea**.

L'acqua sotterranea ha un ruolo molto importante per tutte le attività umane. In molte zone essa costituisce la principale risorsa per le esigenze idropotabili. Per la sopravvivenza sono sufficienti all'uomo circa 5 lt/g, compresi quelli



Uso domestico	
Potabile	2-3 lt
Toilette	12-20 lt
Bagno	130-170 lt
Doccia	20 lt/min
Lavatrice	130 lt
Irrigazione giardino	1300 lt/ora
Animali da allevamento (consumi giornalieri)	
Mucca da latte	150 lt
Cavallo	50 lt
Maiale	15 lt
Pecora	7-8 lt
Pollame (100 esemplari)	25 lt
Agricoltura ed usi vari	
1 tonnellata di grano	1000 mc
1 tonnellata di riso	4500 mc
1 tonnellata di zucchero	1000 mc
1 tonnellata di patate	550 mc
1 hamburger	2.5 mc
1 kg vaniglia pura	96 mc
Processi industriali	
1 tonnellata di birra	6-10 mc
1 tonnellata di mattoni	1-2 mc
1 tonnellata d'acciaio	250 mc
1 tonnellata d'alluminio	1500 mc
1 tonnellata di fertilizzante	600 mc
1 tonnellata di gomma sintetica	3000 mc

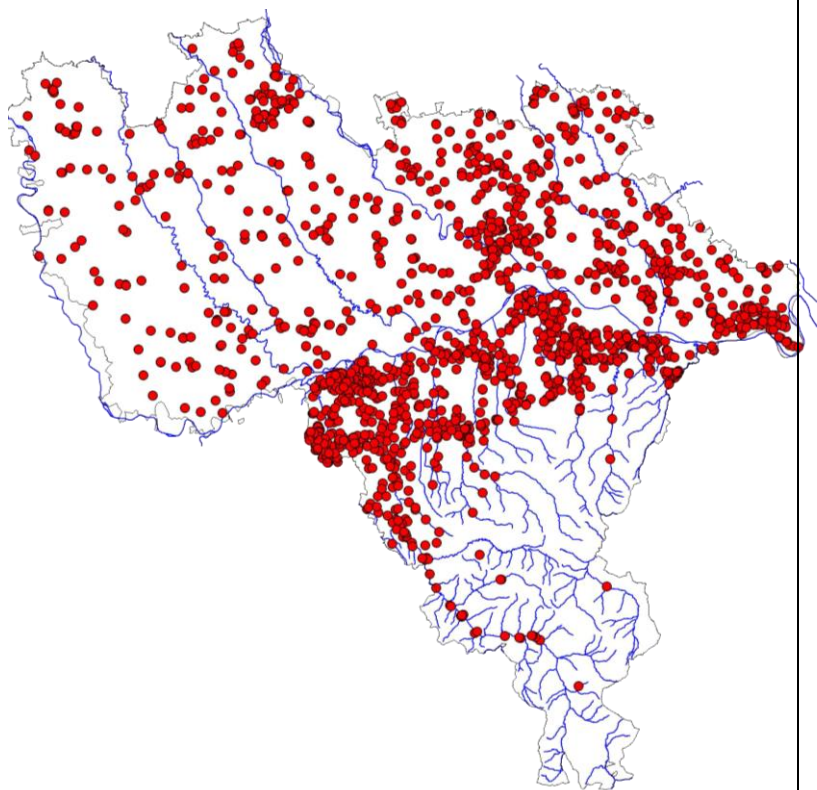
fonte: Todd, Carta di Saragozza 2008

per cucinare, anche se normalmente nelle aree più depresse del pianeta se ne consumano 20-30 lt/g.

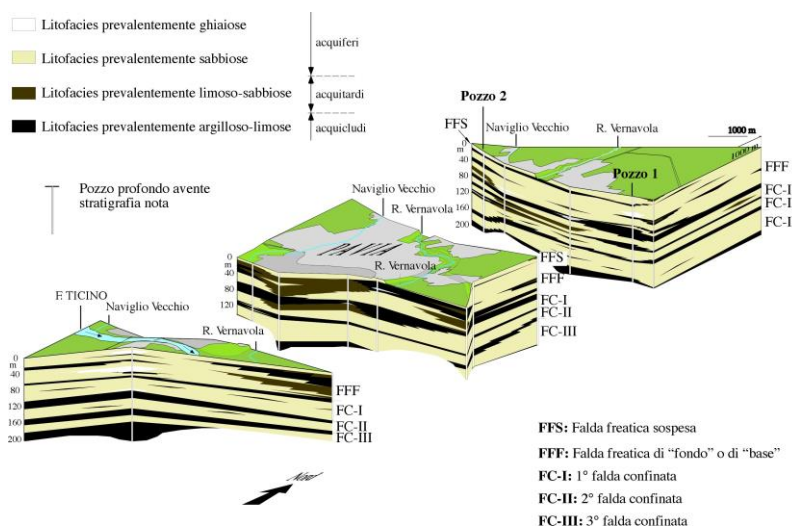
Per questo motivo sono numerosi i progetti UNESCO per portare anche alle popolazioni più “sfortunate” 30 lt/g di acqua con buone caratteristiche chimiche e batteriologiche di potabilità. Nelle nazioni occidentali i consumi crescono di molto, fino a 150-200 lt/g, per la presenza di lavatrici, lavastoviglie, sistemi di irrigazione dei giardini, ecc.

Ovviamente questi valori non tengono in considerazione l’acqua per l’agricoltura o per l’industria, che sono decisamente superiori.

Nel mondo si passa da una disponibilità media di 425 lt/g di un abitante degli Stati Uniti ai 10 lt/g di un abitante del Madagascar, da 237 in Italia a 150 in Francia. Le stime medie indicano un consumo di 350 litri g per una famiglia canadese, 165 lt/g per una europea, 20 lt/g per una famiglia africana.



Pozzi idrici nella Provincia di Pavia



Sottosuolo della città di Pavia

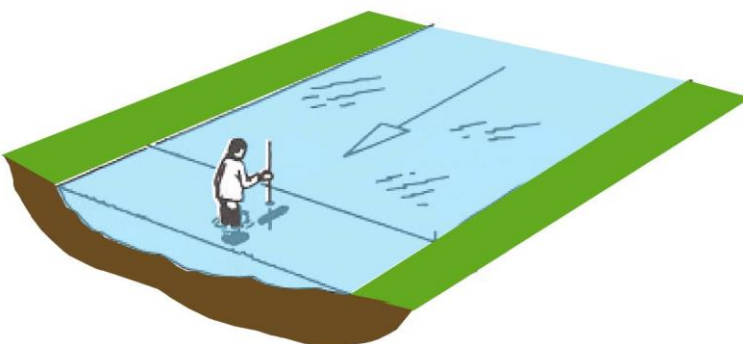
Descrizione delle attività di terreno e di laboratorio:

Le **ricerche a carattere idrogeologico** vengono condotte sia sul terreno, per l'acquisizione di alcuni dati importanti come la misura della portata idrica in un corso d'acqua o la determinazione dei livelli di falda, sia in laboratorio, dove vengono elaborati i dati acquisiti sul terreno o, per esempio, vengono condotte **analisi idrochimiche** su campioni di acque prelevate dai corsi d'acqua o dalla falda.

Il **mulinello idrometrico** è uno strumento tradizionale e collaudato che viene utilizzato per misure di velocità in canali e corsi d'acqua di diverse dimensioni.

E' costituito da una parte fissa di forma idrodinamica e da un'elica posta in rotazione dalla corrente. Il corpo del mulinello contiene un generatore di impulsi che, per ogni rivoluzione dell'albero genera un segnale che viene trasmesso attraverso un cavo ad un contatore d'impulsi totalizzati durante un intervallo di tempo prefissato.

Tramite apposite curve di taratura il numero di impulsi è collegato alla velocità della corrente. Il mulinello può essere utilizzato per misure a guado o da ponte.



Mulinello idrometrico

LABORATORIO DI FOTOINTERPRETAZIONE

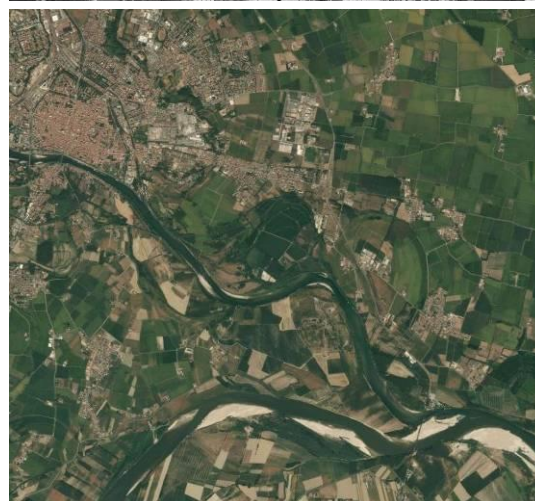
Luisa Pellegrini

Materiali e metodi: la fotointerpretazione

La fotointerpretazione, letteralmente interpretazione di fotografie, può essere considerata un aspetto del telerilevamento, vale a dire di quell'insieme di tecniche e metodi che consentono l'analisi di "oggetti" o processi ambientali "a distanza" senza cioè entrare in contatto con essi. Come tale, la **fotointerpretazione** costituisce uno strumento in grado di fornire informazioni e dati in molti campi della ricerca e della gestione del territorio. Questo strumento, infatti, trova applicazioni nei campi dell'ingegneria, dell'architettura, dell'archeologia, delle scienze agricole e forestali, e, soprattutto, delle Scienze della Terra e delle Scienze Ambientali.

I vantaggi della fotointerpretazione sono molteplici e, tra questi, la **visione sinottica** che permette di riconoscere l'oggetto osservato relativamente al contesto che lo circonda; la ripetitività nell'osservazione nel tempo quando si abbiano a disposizione immagini riprese in momenti diversi ("**multitemporalità**"), la possibilità di osservare l'oggetto da diversi punti di vista o a diversa scala ("**multiscalarità**"); la disponibilità di coperture fotografiche utilizzabili dai ricercatori e dai professionisti. Inoltre, la possibilità di usufruire della **visione stereoscopica** e cioè della visione tridimensionale permette una visione realistica delle aree oggetto di studio.

A titolo esemplificativo vengono elencati alcuni campi di applicazione in diverse discipline. Per quanto attiene all'**Ingegneria**, le applicazioni riguardano la topografia con la restituzione di carte da fotografie aeree, la fotogrammetria, l'analisi di infrastrutture e urbanizzazione nonché la pianificazione territoriale, come peraltro l'**Architettura** che se ne avvale anche per il restauro di monumenti. L'**Archeologia** utilizza la fotointerpretazione per individuare insediamenti sepolti e per ricostruzioni ambientali. Per le **Scienze Agricole e Forestali** il telerilevamento è utile nell'analisi dello stato di salute delle piante, per la



Modificazione del paesaggio dal 1954 (foto in alto) al 2015 (foto in basso della confluenza Po – Ticino)



L'immagine aerea evidenzia la struttura del teatro non ancora scoperta dagli scavi archeologici

sorveglianza della propagazione degli incendi e nell'estensione dei disboscamenti. In riferimento alle **Scienze della Terra**, le immagini sono utilizzate per tracciare limiti fra unità geologiche, per determinare strutture e giaciture di strati, per analizzare le forme del paesaggio, la dinamica dei processi attuali e passati e la pericolosità e il rischio. Riguardo alle **Scienze Naturali e Ambientali**, sia la botanica che la zoologia si avvalgono della fotointerpretazione anche relativamente all'uso del suolo e agli inquinamenti.

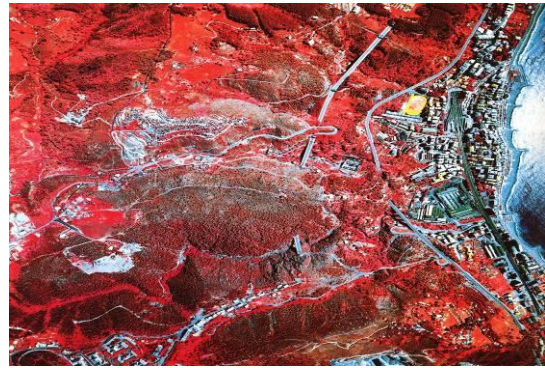


Immagine all'infrarosso-falso colore di un'area vegetata e in parte urbanizzata

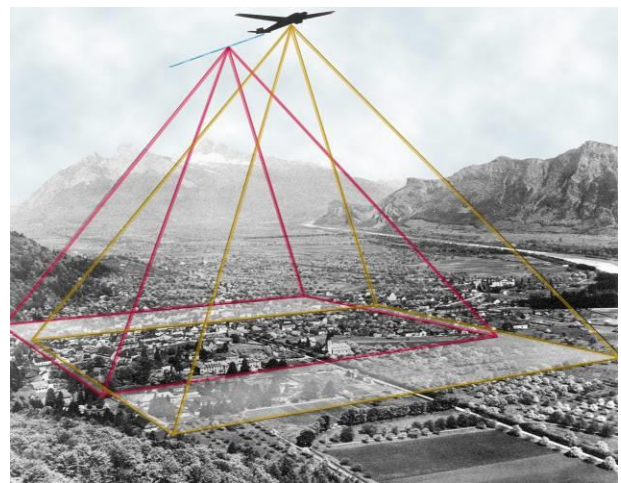
Descrizione del laboratorio: visione stereoscopica di fotografie aeree

Il Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente possiede una fornita fototeca e il **laboratorio di fotointerpretazione** è dotato di strumenti, gli **stereoscopi**, attraverso i quali è possibile osservare fotografie aeree in coppia stereoscopica con visione tridimensionale.

Le fotografie aeree sono acquisite con camere fotogrammetriche particolari in sequenza in modo che ogni fotogramma abbia una parte in comune con il precedente e con il successivo. Questa è la condizione per poter riprodurre la naturale visione stereoscopica dei nostri occhi anche osservando fotografie bidimensionali. Le tecniche di posizionamento dei fotogrammi sotto gli stereoscopi possono essere semplificate nel caso di una semplice osservazione e interpretazione ma dovranno essere molto precise e accurate per ottenere misurazioni bi- e tridimensionali sulle fotografie stesse.

L'interpretazione degli elementi geologici, geomorfologici, ambientali ecc. viene effettuata direttamente sui fotogrammi per poi essere trasferita su cartografia o memorizzata in un GIS che gestirà le informazioni territoriali.

Attualmente molte delle operazioni di interpretazione di fotografie aeree o, più genericamente di immagini aeree o satellitari vengono svolte direttamente in digitale con apparecchiature e software sofisticati e dedicati o elaborando a due a due le immagini stereoscopiche per ottenere degli anaglifi. Queste immagini, proiettate o stampate con due colori (generalmente rosso e ciano) devono essere viste con i filtri colorati (rosso e ciano) in modo che ogni occhio veda solo la prospettiva che gli è destinata ed ottenere una visione stereoscopica.



Sistema aereo di acquisizione delle immagini stereoscopiche



Lo stereoscopio a lenti e specchi e, qui sotto, le fotografie aeree stereoscopiche



LABORATORIO DI GEOFISICA APPLICATA

Torrese Patrizio

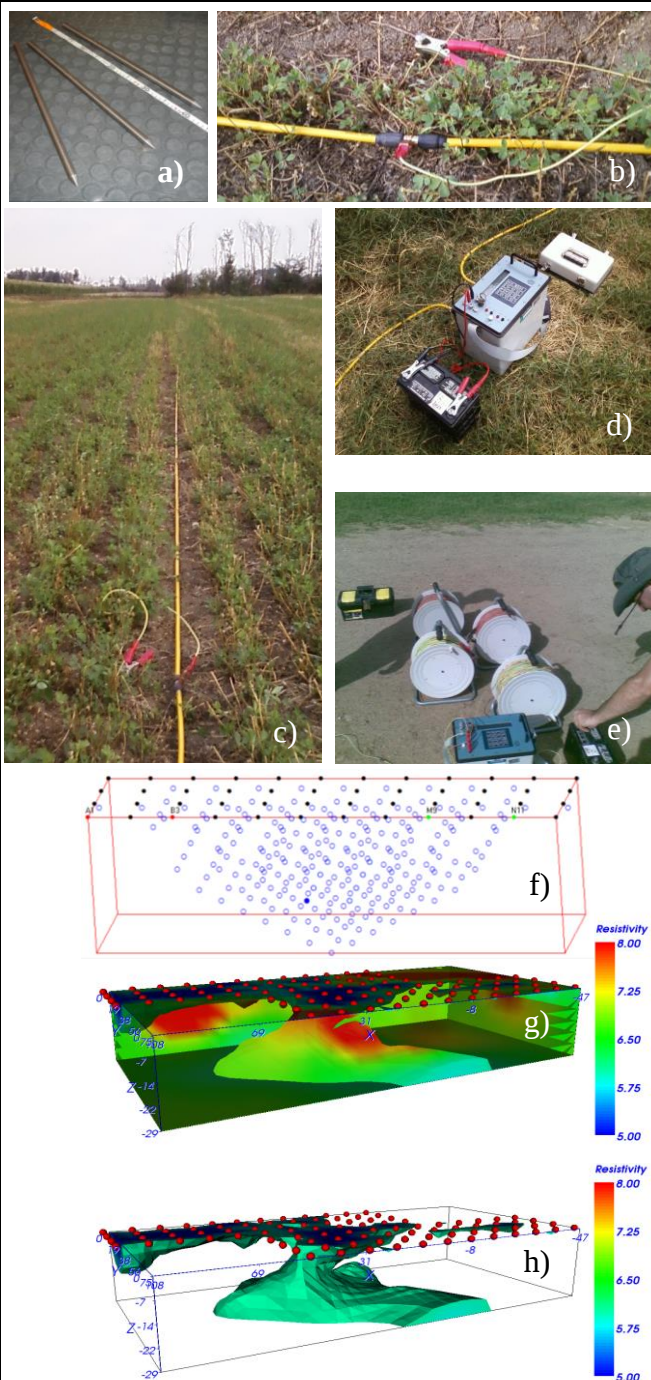
Materiali e metodi: le indagini geoelettriche del sottosuolo

La **geoelettrica** è un metodo geofisico che si basa sull'applicazione di **correnti elettriche** nel sottosuolo mediante due **elettrodi** (Fig. a) detti "elettrodi di corrente" e sulla misura della **tensione** (differenza di potenziale) indotta, mediante altri due elettrodi, detti "di potenziale". Gli elettrodi, infissi nel terreno, sono collegati mediante un **cavo** (Figg. b, c) **multipolare** (i.e. in grado di collegare simultaneamente molte coppie di elettrodi) a uno strumento detto "**georesistivimetro**" (Figg. d, e) che controlla l'erogazione della corrente elettrica e permette di eseguire misure elettriche.

La distanza tra gli "elettrodi di corrente" influenza la **profondità d'investigazione**, mentre la distanza tra gli "elettrodi di potenziale" influenza la **risoluzione laterale** dell'indagine.

Il parametro che viene misurato è la **resistività elettrica** delle rocce che dipende dal tipo di roccia, dalla sua porosità (e.g. percentuale di vuoti), dalla **presenza di fluidi** (e.g. acqua di falda), dal contenuto ionico di questi. La ricostruzione di **mappe di resistività** permette di caratterizzare le rocce del sottosuolo, individuare **falde acquifere**, **siti inquinati**, strutture sepolte, cavità, faglie.

Tra le indagini geoelettriche, la "**tomografia elettrica**" permette di ottenere una ricostruzione dettagliata delle variazioni di resistività del sottosuolo. Questo metodo prevede l'acquisizione di un numero elevatissimo di misure elettriche (Fig. f). I dati acquisiti vengono elaborati mediante un "processo di inversione" che permette di ricostruire modelli bidimensionali (sezioni), tridimensionali (Figg. g, h) ed effettuare **monitoraggi** nel tempo (indagine **time-lapse**) utili, ad esempio, per ricostruire la **migrazione di un inquinante** nel sottosuolo (Fig. h, plume di acqua salata di origine naturale che contamina una falda acquifera dell'Oltrepò Pavese). In tali modelli, ogni colore è associato a un valore di resistività elettrica del sottosuolo.



Descrizione del laboratorio: misura della resistività elettrica dei campioni di roccia

La misura della resistività viene eseguita su **campioni di forma regolare** (Fig. a) e può essere effettuata utilizzando sia **corrente continua**, sia **corrente alternata** a bassa frequenza, per evitare l'attenuazione del segnale elettrico che, per una data **resistività** del mezzo attraversato, è tanto maggiore quanto più elevata è la frequenza. E' necessario che i campioni abbiano una forma regolare (cilindro, cubo o parallelepipedo) e una lunghezza almeno tre volte maggiore della dimensione dei granuli (che compongono la roccia) o di eventuali inclusioni; infatti, per lunghezze inferiori, le proprietà del campione risultano fortemente influenzate dalle caratteristiche dei singoli granuli, o degli inclusi, pertanto il valore misurato di resistività può non essere **rappresentativo** della roccia nel suo insieme.

La strumentazione utilizzata per la misura della resistività è composta essenzialmente da un **generatore di tensione**, un **voltmetro** (misura della tensione) e da un **amperometro** (misura dell'intensità di corrente) (Fig. a). Il voltmetro e l'amperometro devono essere caratterizzati da elevata **precisione** (1 μ V, 1 μ A, rispettivamente) e **accuratezza**. Tra i metodi che utilizzano corrente continua, ci sono i metodi a due e quattro elettrodi.

Il metodo utilizzato durante il laboratorio (Fig. a) è il metodo a **due elettrodi** (Fig. b): consente di misurare l'**intensità di corrente** (I) che fluisce attraverso il campione, applicando agli estremi di esso una **differenza di potenziale** (ΔV) costante. La **resistività** (ρ) è calcolata applicando la **legge di Ohm** (Fig. b), considerando anche la lunghezza (L) e la sezione (S) del campione. La qualità delle misure eseguite è fortemente influenzata dalla **resistenza** che si sviluppa al **contatto elettrodi-campione**; pertanto, è necessario migliorare tale contatto interponendo una sostanza conduttiva (gel ultrasonico) tra i due elementi e applicando agli elettrodi una pressione. Per evitare fenomeni di **polarizzazione** è necessario ripetere la misura di resistività elettrica invertendo la polarità della corrente elettrica ed eseguire una media dei valori misurati.



Dispositivo con due elettrodi:

$$\text{Resistività} = \rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{S}{L}$$

dove:

ΔV è la tensione ai capi del campione

I è la quantità di corrente che lo attraversa

S è l'area della sua sezione trasversale

L è la distanza tra gli elettrodi di corrente
(pari alla lunghezza del campione)

