

ESPLORANDO IL NOSTRO PIANETA CON LE ONDE

E. Piegari, G. Balassone

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II, via Vicinale Cupa Cinthia 21, 80126 Napoli, Italia

Moltissimi sono i fenomeni naturali che avvengono sul nostro pianeta e che possono essere descritti in termini di onde. Le onde sono perturbazioni che si propagano nello spazio e nel tempo e, trasportando energia, ci consentono di ottenere informazioni preziose sulle caratteristiche delle sorgenti che le generano e le proprietà dei mezzi attraverso cui si propagano. Se durante il loro viaggio a oscillare sono le particelle del mezzo in cui avviene la propagazione, le onde sono dette *meccaniche*; se, invece, a propagarsi sono le variazioni di intensità del campo elettrico e magnetico, le onde sono dette *elettromagnetiche*. Entrambi i tipi di onde, meccaniche ed elettromagnetiche, sono utilizzati dai geologi per esplorare il nostro pianeta e ottenere informazioni necessarie non solo allo studio della sua composizione e struttura interna, sia superficiale che profonda, ma anche delle sue risorse e del suo stato di salute.

Le onde meccaniche, dette anche elastiche o sismiche, sono perturbazioni dovute a una deformazione locale del mezzo e poiché esistono diversi modi per deformare un corpo (compressione, flessione, trazione, torsione,..), di conseguenza, esistono diversi tipi di onde sismiche. Viaggiando verso l'interno della Terra, le onde sismiche cambiano velocità e direzione ogni volta che attraversano mezzi con proprietà elastiche differenti. Dagli inizi del secolo scorso, lo studio delle riflessioni e delle rifrazioni dei diversi tipi di onde sismiche ha permesso di scoprire la struttura a strati della Terra, permettendone un'esplorazione indiretta fino al suo nucleo interno, ed è oggi strumento di indagine basilare sia per lo studio della complessa dinamica interna del nostro pianeta in continua evoluzione, sia per la ricerca di risorse naturali quali gas e idrocarburi. La determinazione delle velocità delle onde di compressione (P) e delle onde di taglio (S) permette un'accurata caratterizzazione di rocce e suoli e, in particolare, la stima della velocità media delle onde S nei primi 30 metri dal piano campagna è considerata dalla normativa vigente un parametro indispensabile per gli studi di microzonazione sismica necessari per la valutazione della pericolosità sismica e obbligatori per l'approvazione di strumenti di pianificazione urbanistica. Le onde elettromagnetiche, diversamente dalle onde meccaniche, permettono un'esplorazione indiretta del nostro pianeta che può raggiungere al più profondità dell'ordine del centinaio di chilometri. Nondimeno, le informazioni che le onde elettromagnetiche ci forniscono sono di grande importanza in un numero crescente di campi di indagine. Le onde elettromagnetiche che permettono le maggiori profondità di investigazione sono le onde a più bassa frequenza che si generano nella ionosfera per effetto della complessa interazione tra il vento solare e la magnetosfera terrestre. Dalla loro propagazione è possibile ottenere informazioni sui contrasti di conducibilità elettrica che, per esempio, ben evidenziano i fenomeni che avvengono in prossimità di una zona di subduzione. Dalle figure di interferenza delle microonde registrate dai satelliti in una stessa

area ad istanti diversi è possibile ottenere informazioni sulle deformazioni del suolo e, per esempio, visualizzare le zone di faglia sorgenti di terremoti. Le onde elettromagnetiche emesse nella banda dell'infrarosso per irraggiamento termico consentono di monitorare aree soggette a diversi tipi di rischio, quali ad esempio quelli legati alla fratturazione delle rocce, alla degassazione o alla circolazione di fluidi.

Nelle Scienze della Terra gli studi sui minerali e le rocce, o più in generale sui geomateriali, sono imprescindibili per qualsiasi tipo di indagine, sia di base che di dettaglio. Molto spesso, in considerazione delle dimensioni molto piccole degli elementi costituenti dei geomateriali (minerali, sostanze amorfe, etc.) e dei caratteri anche molto simili osservati alla mesoscala (ad occhio nudo o con una lente di ingrandimento), si rende necessario utilizzare strumentazioni che forniscano informazioni dalla microscala fino alla nanoscala (Mercurio et al., 2019).

Fra le numerose tecniche analitiche utilizzate nel campo della Mineralogia e Petrografia per “decodificare” i geomateriali, la ricerca geologica si avvale primariamente di strumenti che impiegano la radiazione elettromagnetica con lunghezze d’onda nel campo dello spettro visibile, quali i microscopi ottici a luce polarizzata. Accanto a questi, sono diventati indispensabili strumentazioni molto più sofisticate, che impiegano metodi spettroscopici con lunghezze d’onda fuori dal campo dello spettro visibile (come ad esempio i raggi X) e che permettono una maggiore rapidità e precisione nella definizione della natura e della composizione chimica di minerali, vetri e rocce. Ad esempio, ulteriori sviluppi scientifici e tecnologici hanno messo a disposizione degli scienziati che studiano la Terra e i pianeti del Sistema Solare, metodologie e strumentazioni che permettono l’analisi chimica di “ultratracce” contenute in minerali e rocce, anche su microscopiche quantità di campione, fino all’analisi della composizione isotopica dei geomateriali.

In geologia, i campi di applicazione concernenti le interazioni tra geomateriali e radiazione elettromagnetica sono dunque molteplici. Come accennato sopra, un metodo di base per lo studio di minerali e rocce è senza dubbio la microscopia ottica a luce polarizzata, grazie alla quale vengono studiati gli effetti tra i minerali (ed eventuali amorfi) contenuti nelle rocce e la luce visibile (in questo caso, la luce può essere considerata come un fenomeno puramente ondulatorio, rispondendo ai principi dell’ottica geometrica). Pertanto, è possibile caratterizzare i vari costituenti delle rocce, valutando le sostanze otticamente isotrope da quelle anisotrope e studiando i diversi comportamenti ottici legati direttamente alla loro simmetria cristallina. Lo studio al microscopio ottico avviene normalmente mediante le cosiddette “sezioni sottili”, ossia fettine di roccia dello spessore medio di 30 μm e dunque in grado di permettere il passaggio delle onde luminose e l’interazione tra queste ed i materiali solidi (Fig. 1a).

Un altro metodo di indagine dei geomateriali mediante la radiazione elettromagnetica riguarda l’impiego dei raggi X. Essi sono caratterizzati da una lunghezza λ d’onda particolarmente corta, dello stesso ordine di grandezza delle distanze tra atomi disposti in modo ordinato e simmetrico all’interno di un reticolo

cristallino. I raggi X sono quindi particolarmente adatti allo studio a scala atomica dei minerali delle rocce ed in particolare si utilizzano i principi della “diffrazione dei raggi X” da parte della materia cristallina; ogni elettrone degli atomi di una determinata sostanza cristallina, per diffusione elastica, diventa centro diffusore secondario di raggi X della stessa λ del fascio che incide sul campione. Tale interferenza risulta essere costruttiva solo in quelle direzioni in cui le onde diffuse da tutti gli atomi sono in coincidenza di fase; i raggi che si vengono così a creare sono i veri e propri raggi diffratti e il sistema di atomi prende il nome di reticolo di diffrazione (nel caso dei minerali, si parla di reticoli tridimensionali). I dati raccolti da questo tipo di analisi possono essere visualizzati, ad esempio, sotto forma di diagrammi di diffrazione o diffrattogrammi, ottenibili anche analizzando pochi mg di materiale; i diffrattogrammi sono vere e proprie “impronte digitali” dei minerali, di conseguenza permettono l’identificazione univoca della sostanza in esame (Fig. 1b).

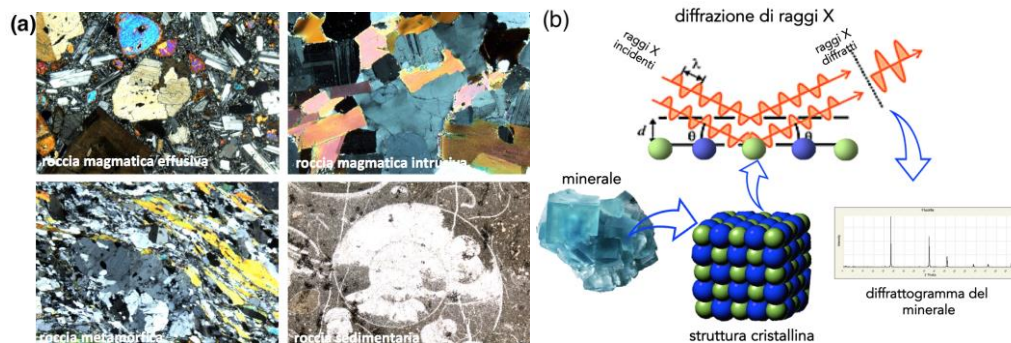


Fig. 1: (a) Immagini di rocce osservate al microscopio ottico polarizzatore in sezione sottile (da <https://www.alexstrekeisen.it/>). (b) Diffrazione di raggi X nei minerali.

BIBLIOGRAFIA

1. M. Mercurio, A. Langella, R.M. Di Maggio, P. Cappelletti. Analisi mineralogiche in ambito forense. Aracne, 2019, 460 pp.