

## INGEGNERIA

### Il telerilevamento

Ogni volta che guardiamo un cielo stellato siamo coinvolti in un'operazione di telerilevamento, cioè di rilevamento a distanza ed elaborazione di dati: la luce proveniente dalle stelle attraversa lo spazio, raggiunge i nostri occhi (sensori) e il segnale acquisito viene elaborato dal nostro cervello. In senso lato, quindi, il telerilevamento è l'acquisizione di informazioni da oggetti lontani senza bisogno del contatto diretto. In senso più stretto con questo termine ci si riferisce a una tecnologia con la quale vengono acquisiti a distanza dati sulla superficie terrestre o sull'atmosfera, estendendo così la capacità percettiva dei nostri sensi ed elaborativa del nostro cervello.

### Telerilevamento e onde

Protagoniste indiscusse del rilevamento a distanza sono le onde: esse si propagano nello spazio mettendo in comunicazione punti lontani; trasportano, insieme all'energia, anche informazioni sulla sorgente che le ha generate, sul mezzo attraversato e sulle caratteristiche degli ostacoli che hanno incontrato sul loro cammino. Un'onda, infatti, può raggiungere il ricevitore con caratteristiche diverse rispetto a quelle che aveva all'origine, in uscita dalla sorgente, in base a ciò che è accaduto durante la propagazione: un'onda riflessa da un ostacolo, per esempio, modifica la direzione di propagazione in base all'orientamento della superficie rispetto alla direzione di propagazione.

### Esempi

Le onde – principalmente elettromagnetiche e meccaniche – sono utilizzate secondo due strategie: la prima prevede l'acquisizione diretta di onde prodotte, riflesse o trasmesse da una sorgente naturale da parte di un sensore classificato come *passivo*; nell'altra invece sono acquisite onde riflesse o trasmesse, generate da una sorgente artificiale abbinata al sensore, detto pertanto *attivo*. I sensori possono essere collocati sulla superficie terrestre oppure su satelliti, palloni, aeroplani, veicoli spaziali ecc. In meteorologia viene utilizzato un sensore di tipo attivo, detto *sodar*, in cui una sorgente invia un segnale sonoro lungo tre direzioni e il cono di ricezione raccoglie il segnale retrodiffuso dalle molecole d'aria; dall'analisi del segnale retrodiffuso il sensore è in grado di ricavare informazioni sulla struttura termodinamica della bassa atmosfera.



Il telerilevamento propriamente detto è un'estensione dei nostri sensi per l'acquisizione a distanza di dati sulla superficie terrestre.



Laboratorio per tele misure in atmosfera, Dipartimento di Fisica, Sapienza, Università di Roma.

Il SODAR (Sound Detection And Ranging) è un sensore di rilevamento a distanza di tipo attivo, che utilizza onde sonore.



Norman Kuring, NASA Ocean Color Group

Le immagini in luce visibile acquisite dai satelliti forniscono informazioni sulla morfologia e la composizione della superficie terrestre. In questa fotografia è riprodotta in colori naturali una fioritura di fitoplancton nel Mare di Barents: i diversi colori sono dovuti alle differenti specie e concentrazioni.

**DOMANDA** Un ricevitore GPS è un sensore per il rilevamento a distanza: esso riceve segnali radio da un certo numero di satelliti, ciascuno con un proprio ritardo dall'emissione, che dipende dalla distanza percorsa. Dai tempi di percorrenza dei segnali l'elaboratore abbinato al sensore calcola la propria posizione. Si tratta di un sensore attivo o passivo? Quali tipi di onde usa?

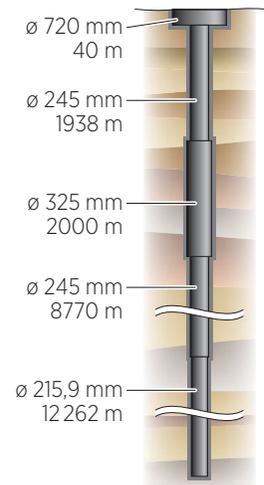
## GEOLOGIA

### Viaggio al centro della Terra

*Viaggio al centro della Terra* è un romanzo di Jules Verne, che nel 1800 immaginava viaggi avventurosi intorno al mondo, negli abissi oceanici, sulla Luna... Viaggi che allora erano solo fantasticabili, ma che gli anni a venire avrebbero reso possibili, facendo diventare lo scrittore francese un anticipatore del progresso. L'uomo infatti è andato sulla Luna e in fondo all'Oceano grazie ai veicoli spaziali e ai sottomarini; tuttavia, nonostante non sia più un'impresa fare «il giro del mondo in 80 giorni», nessuno è ancora mai andato fino al centro della Terra.

#### Osservazioni dirette

Negli anni Settanta in Russia (che allora faceva parte dell'Unione Sovietica) iniziò la perforazione del pozzo superprofondo di Kola, che raggiunge ormai i 12 262 m, attraversando il più spesso strato di roccia mai penetrato da alcuna trivella. Oggi il Giappone è impegnato in un progetto simile, con lo scopo di perforare la sottile crosta oceanica e raggiungere il mantello sottostante. Si tratta di perforazioni difficilissime, che richiedono tecnologie *ad hoc*; queste tecnologie consentono di esplorare zone altrimenti inaccessibili che sono tuttavia ben lontane dal centro della Terra, situato in media 6370 km sotto il livello del mare.



Alcuni dati sul pozzo superprofondo di Kola: in figura sono indicati il diametro del foro e la profondità.

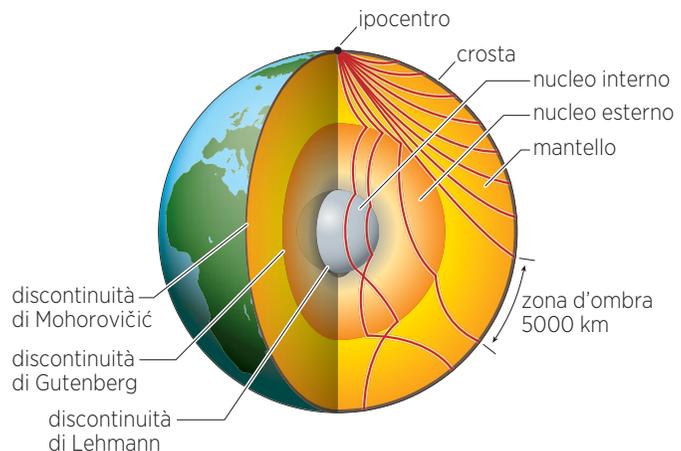
#### Osservazioni indirette

C'è un altro modo per studiare l'interno della Terra, che non ha bisogno di trivelle e perforazioni ma di semplici rivelatori di onde. Attraverso lo studio delle onde meccaniche che si propagano da un punto all'altro del pianeta durante un sisma naturale o artificiale (generato da un'apposita esplosione) è possibile conoscere alcune proprietà della materia attraversata. Sappiamo infatti che in un mezzo omogeneo le onde elastiche si propagano lungo direzioni rettilinee, mentre subiscono una deviazione quando incontrano una discontinuità.

A partire dai dati registrati nelle varie stazioni di rilevamento, sparse su tutta la superficie, si possono ricostruire i percorsi fatti dalle onde e risalire quindi alle caratteristiche dei materiali attraversati.

#### Il centro della Terra

A circa 2900 km di profondità si incontra la discontinuità di Gutenberg, che delimita il nucleo. Tale limite è caratterizzato da una brusca diminuzione della velocità di propagazione delle onde longitudinali. Inoltre, al di là del nucleo rispetto all'ipocentro vi è un'ampia zona nella quale non vengono rilevate onde trasversali, fatto che si spiega ipotizzando che il nucleo sia liquido, per cui al suo interno possono propagarsi solo onde longitudinali.



L'interno della Terra presenta disomogeneità e discontinuità che possono essere studiate per mezzo delle onde sismiche che attraversano il pianeta.

**DOMANDA** Nel 1692 Edmond Halley ipotizzò che la Terra potesse essere un guscio di materiale omogeneo cavo all'interno. Disegna secondo tale modello la propagazione delle onde sismiche dall'ipocentro a un certo numero di punti dislocati su tutta la superficie e confrontala con lo schema rappresentato nella figura.

## CON GLI OCCHI DI UN FISICO

### Comunicare a distanza

#### Corrieri, messi e piccioni viaggiatori

Nel settembre del 490 a.C. gli eserciti persiano e ateniese erano schierati l'uno contro l'altro nella piana di Maratona. I Greci difendevano il loro territorio dall'attacco persiano con un numero di soldati nettamente inferiore, ma la loro azione fu decisiva: accerchiarono il nemico attaccando con decisione da più lati e costrinsero i superstiti alla fuga via mare. Una vittoria importante, che andava prontamente comunicata ad Atene. Lo storico greco Erodoto ci racconta che Filippide corse ininterrottamente dal luogo della battaglia alla città, distante circa 40 km, dove annunciò gridando la vittoria con le sue ultime forze, per poi morire stremato dalla fatica. La maratona olimpica rievoca, sin dalle origini, questo storico evento.

Oggi i migliori atleti del mondo percorrono la distanza ufficiale della maratona, 42,195 km, in poco più di due ore: un tempo decisamente lungo rispetto a quanto impiega una notizia a viaggiare sulla stessa distanza. All'epoca, comunque, le notizie circolavano soprattutto in questo modo, con corrieri a piedi o a cavallo. Il vastissimo impero persiano era organizzato con una rete postale di oltre 2000 km con 100 postazioni per il ristoro e il cambio dei cavalli. Anche i Romani comunicavano con la capitale mediante corrieri a piedi o a cavallo o con veri e propri carri postali, che facevano correre le notizie sull'imponente rete stradale dell'impero. Nel Medioevo le strade andarono in rovina, gli spostamenti da un luogo all'altro divennero più lenti e mandare in giro corrieri divenne pericoloso, in mancanza di una struttura sociale che garantisse la sicurezza. Il servizio postale fu gestito principalmente dai monaci, che godevano della protezione dell'immunità ecclesiastica: i monasteri funzionavano talvolta come vere e proprie stazioni di posta. Inoltre, accanto alle comunicazioni a distanza via terra si svilupparono quelle aeree: già i Sumeri e gli Egizi usavano con successo le straordinarie capacità di orientamento dei piccioni per recapitare velocemente messaggi a grandi distanze. Nel Medioevo tale pratica fu diffusa e potenziata, come testimoniano le torri colombaie presenti nelle costruzioni dell'epoca.



© 2010 Accademia Italiana di Filatelia e Storia Postale

A lungo le comunicazioni a distanza sono state affidate quasi esclusivamente al servizio postale.

**PAROLA CHIAVE** **Perturbazione**

**DOMANDA** Quale tipo di perturbazione viaggia nei rincocchi di una campana?

#### Segnali sonori

Nel Medioevo la società si raccoglieva intorno alla chiesa. La chiesa scandiva i ritmi della vita quotidiana facendo suonare le sue campane: annunciava in questo modo le rituali funzioni religiose, i matrimoni, i funerali, le feste pastorali, ma anche le situazioni di pericolo o semplicemente lo scoccare delle ore. I rincocchi delle campane riuscivano a raggiungere luoghi relativamente lontani e, in tempo reale, diffondevano le notizie o chiamavano a raccolta la popolazione. Con una velocità di circa 340 m/s il suono è un messaggero assai veloce, utilissimo per trasmettere a distanza semplici messaggi di pubblico interesse. Questo tipo di comunicazione a distanza ha origine nei primitivi tam tam che, di villaggio in villaggio, facevano circolare le notizie secondo codici stabiliti.

È una forma di comunicazione antichissima e longeva: dai tamburi ai corni da guerra, dalle campane ai megafoni, dalle cornette dei postiglioni, che nel 1700 annunciavano l'arrivo e la partenza del carro postale, alle moderne sirene che annunciano l'arrivo di un mezzo di soccorso. Sono segnali sonori quelli che scandiscono gli orari nelle fabbriche e nelle scuole o quelli che sincronizzano la partenza degli atleti durante una gara: dalla sorgente l'onda sonora si propaga in tutto lo spazio circostante e raggiunge i destinatari, indicando loro che è il momento di compiere una determinata azione.

In genere i campanili sono gli edifici più alti e visibili di una città; dalla loro sommità il suono delle campane riesce a coprire una vasta area tutto intorno. Il Torrazzo di Cremona è il campanile storico più alto d'Italia; alto circa 110 metri, la sua costruzione iniziò nel XIII secolo.



Mom

**PAROLA CHIAVE** **Sovrapposizione**

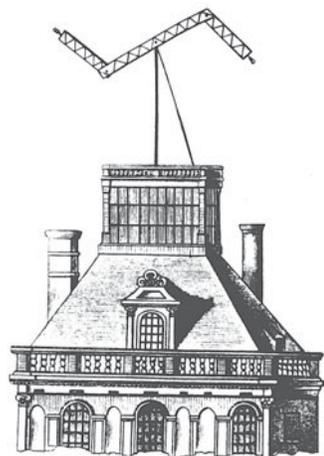
**DOMANDA** I suoni di due campane vengono uditi contemporaneamente sovrapponendosi l'un l'altro. Spiega tale fenomeno in termini di onde.

## Segnali visivi

Il Faro di Alessandria era una delle sette meraviglie del mondo antico. Costruito nel 300 a.C. era alto probabilmente più di 130 metri e indicava ai naviganti la rotta per entrare in sicurezza nel porto della città: di notte mediante fuochi e di giorno mediante i riflessi della luce del Sole. I Greci utilizzavano questi sistemi di comunicazione a distanza anche per far viaggiare le notizie tra luoghi lontani. Una serie di vedette poste in siti reciprocamente visibili accendevano sequenze di fuochi per comunicare esiti di battaglie o di eventi sportivi: in questo modo Clitennestra apprende della caduta di Troia nella tragedia greca *Oresteia*, scritta da Eschilo nel V secolo a.C.

Con un balzo nel tempo di oltre 2000 anni, arriviamo alla Rivoluzione francese, durante la quale Claude Chappe rinnovò la tecnica greca sostituendo al fuoco il *telegrafo ottico* (o semaforo), un marchingegno articolato, in grado di assumere diverse posizioni e di comunicare, quindi, una maggiore varietà di messaggi.

Napoleone fu uno dei primi utilizzatori dell'invenzione, che ebbe un successo straordinario e si diffuse in tutta Europa. Nel 1853, data in cui fu introdotto il telegrafo elettrico, si contavano oltre 500 stazioni, per una rete complessiva di circa 4800 km, nella quale erano impiegati 3000 telegrafisti che, muniti di cannocchiale, raccoglievano il messaggio e lo replicano alla stazione successiva.



Una stazione del telegrafo ottico (o semaforo) di Chappe.

## Segnali invisibili

Il telegrafo elettrico soppiantò il semaforo di Chappe fino a quando, nel 1869, il ventiduenne Guglielmo Marconi brevettò un sistema per la comunicazione a distanza mediante onde radio, in grado di aggirare ostacoli e raggiungere quindi posti non visibili e non cablati. Con il supporto economico dell'Inghilterra, sviluppò un sistema di trasmissione e ricezione che, dopo numerosi esperimenti intermedi, consentì alla lettera «esse», codificata nei tre punti del codice *Morse*, di raggiungere il Canada attraversando l'Oceano Atlantico: era il 12 dicembre 1901. Il segnale, come qualunque onda elettromagnetica, avrebbe dovuto allontanarsi dalla Terra, viaggiando in linea retta a partire dalla sorgente: perciò i fisici avevano scartato l'ipotesi che un segnale di quel tipo sarebbe potuto partire dall'Europa per raggiungere l'America seguendo la curvatura terrestre. In effetti i fisici avevano ragione, ma ignoravano l'esistenza della ionosfera, una porzione di atmosfera altamente ionizzata sulla quale le onde radio rimbalzano proprio come la luce su uno specchio.

Da Marconi a oggi, in poco più di un secolo, sono stati fatti moltissimi progressi tecnologici nella comunicazione a distanza mediante onde elettromagnetiche a bassa frequenza; basti pensare alla telefonia cellulare. Tuttavia l'idea di fondo è sempre la stessa: una sorgente e un ricevitore tra i quali viaggia una perturbazione velocissima che non ha bisogno di cavi.

Guglielmo Marconi e la sua apparecchiatura radio in una posa del 1903.



PAROLA CHIAVE

**Onde periodiche**

**DOMANDA** Ogni nota musicale corrisponde grosso modo a una frequenza, pertanto l'orecchio è in grado di distinguere le onde sonore periodiche dalle altre. L'espressione «stonato come una campana» deriva dal fatto che, quando percuotiamo una campana, il bronzo inizia a vibrare con diverse frequenze che si sovrappongono mascherando quella fondamentale. Come è chiamata l'onda meccanica che si stabilisce sulla superficie di bronzo della campana?