

Che cosa succede al centro della terra? Intervista all'astrofisico Roberto Pesce.

L'interno della Terra e lo spazio profondo sono accomunati da un fattore: l'inaccessibilità. L'intervista intende approfondire il tema, assai dibattuto in ambito scientifico in questo periodo, riguardante gli studi sul nostro pianeta: che cosa c'è e cosa succede sotto la crosta terrestre?

Francesco Provinciali

Caro Prof. Pesce, in questi gg è stata diffusa la notizia pubblicata su *Nature Geoscience* di una ricerca condotta da alcuni geologi dell'università di Pechino che ipotizza che il nucleo centrale del nostro pianeta abbia smesso di ruotare in una direzione e dopo una pausa abbia iniziato un analogo movimento in direzione opposta, pare basandosi su uno studio delle onde sismiche. In realtà come è possibile studiare da fuori ciò che accade al centro del pianeta?

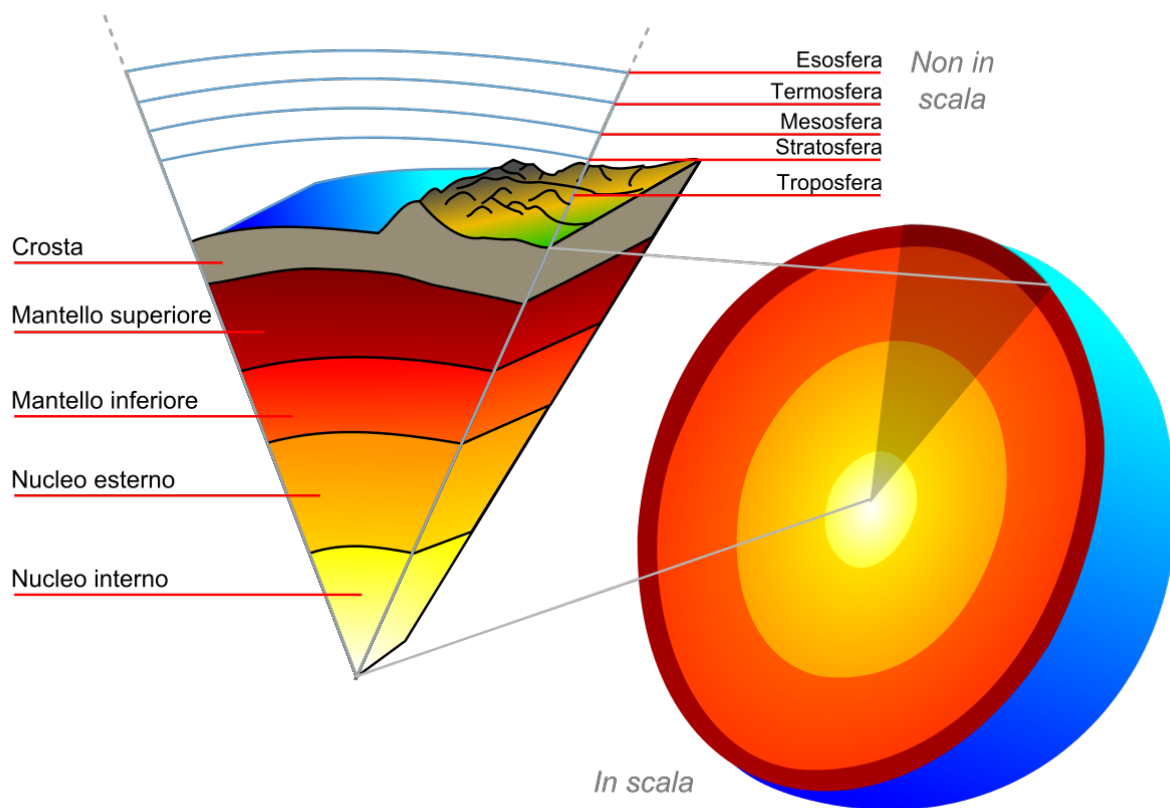
Il nostro pianeta è una sfera di quasi 6400 km di raggio. Lo strato superficiale, la crosta terrestre, ha una profondità media di 35 km (può variare tra 5 e 70 km), poi c'è il mantello superiore fino a 410 km di profondità e quello inferiore che raggiunge i 2890 km. Al di sotto abbiamo il nucleo, suddiviso in nucleo esterno (fino a 5300 km circa) ed infine il nucleo interno, fino al centro della Terra (vd. Figura).

Di tutto questo riusciamo ad avere contezza in modo diretto solo dei primi chilometri. Infatti tramite i carotaggi si è arrivati ad estrarre materiale fino a 20 km. Tutto quello che

accade al di sotto lo abbiamo intuito solo grazie alla sismologia, cioè lo studio dei terremoti. La propagazione delle onde sismiche riesce a dirci molto sulla composizione dell'interno della Terra, grazie soprattutto allo studio della loro velocità. Non entro nei dettagli, anche perché andrei a finire in settori che non sono propriamente di mia competenza, ma è un po' come quando osserviamo una cannuccia "spezzata" in un bicchiere d'acqua: nel passaggio tra acqua, vetro e aria la luce cambia velocità e questo produce l'illusione ottica che la cannuccia venga piegata. In modo analogo, passando in materiali diversi, le onde sismiche cambiano direzione e velocità ed è possibile risalire da questi dati ai valori medi di densità nei vari strati interni e, di conseguenza, alla natura solida o liquida della zona di interesse. Tutti i giorni avvengono centinaia di scosse, per fortune innocue per la maggior parte, e con gli anni si è riuscito a studiare sempre meglio cosa accade sotto i nostri piedi.

Anche per studiare la struttura interna della Luna si sono usati i terremoti generati dallo schianto del modulo lunare una volta che gli astronauti hanno fatto ritorno sul modulo di comando principale (sulla Luna praticamente non esiste attività sismica naturale). Anche l'interno del Sole viene analizzato a partire dalle onde di pressione che si generano nei processi intrinseci alla nostra stella.

Immagine tratta da Wikimedia Commons



Quali rilevanze di questo fenomeno possono determinare cambiamenti in superficie o determinare eventi inattesi come i movimenti tellurici? Proprio in questi giorni siamo rimasti colpiti e strabiliati dall'intensità del terremoto di magnitudo 7,9 verificatosi tra la Turchia e la Siria, con conseguenze catastrofiche.

Esiste un'attinenza tra i fenomeni rilevabili al centro della Terra e gli eventi sismici? Quali sono i criteri in base a cui un'area geografica è classificata a maggiore o minore rischio sismico?

La "inversione di marcia" della rotazione del nostro nucleo interno in realtà non sembrerebbe essere un fenomeno raro. Solo adesso si iniziano ad avere più indizi a disposizione, ma è un fenomeno che esiste da sempre. Bisogna fare attenzione che in realtà non c'è un vero e proprio cambiamento nella direzione di rotazione, ma solo uno scarto relativo tra la velocità di rotazione del nucleo e quella della crosta e del mantello. Questo fenomeno potrebbe avere minime influenze su quanto accade ai "piani superiori" ma non è determinante per scatenare i terremoti (che avvengono di solito ai confini tra due placche nella crosta terrestre) o l'attività vulcanica. Un effetto tangibile è quello di cambiare la durata del giorno, allungandolo od accorciandolo di 0.2 secondi con una cadenza di circa sei anni, comunque ininfluente per quello che riguarda la nostra esistenza. La durata della rotazione intorno all'asse terrestre infatti è soggetta continuamente a variazioni minime, tra cui un grosso peso è dato dalle forze di marea provocate dalla Luna, che portano il giorno ad allungarsi di 2,3 millisecondi ogni secolo circa (e la Luna ad allontanarsi da noi di quasi 4 cm all'anno). Altre variazioni minime, legate a cicli millenari, forti terremoti, o altro, vengono comunque tenute sotto controllo aggiungendo quando serve il cosiddetto "secondo intercalare" (leap second). Per quanto riguarda la classificazione della sismicità delle varie zone geografiche si fa ricorso alla statistica, cioè si ci basa sul numero e l'intensità dei terremoti che sono

avvenuti in passato. Questo però costituisce solo cosiddetto fattore di pericolosità del rischio, ovvero qual è la probabilità che avvenga un terremoto importante nella zona. Bisogna considerare anche i fattori di vulnerabilità (ovvero come gli edifici e le strutture presenti nella zona sono in grado di resistere a una scossa) e di esposizione (che tiene in considerazione le conseguenze socio-economiche del sisma). In pratica nel determinare il rischio sismico si valutano cause, effetti e conseguenze.

La complessità degli studi – che si basano su anni e anni di ricerca – è data anche dalle dimensioni del Pianeta, misurate in 500 milioni di chilometri quadrati di superficie ma con una massa volumetrica di un trilione di chilometri cubici. Si può parlare di attendibilità degli studi? Perché risulta paradossalmente più precisa e computabile una ricerca sulle distanze tra i corpi celesti della galassia rispetto a quelle sulle profondità interne della Terra? Con quali strumenti si verificano e si controllano i movimenti interni al nostro Pianeta, peraltro altrettanto affascinanti?

In un certo qual modo l'interno della Terra e lo spazio profondo sono accomunati da un fattore: l'inaccessibilità. Non si possono fare misure dirette in laboratorio, ma dobbiamo accontentarci di misure indirette. Gli studi sono attendibili nella misura in cui viene indicata l'incertezza di misurazione e si dimostra, con strumenti matematico-statistici, che esiste una correlazione effettiva nei dati analizzati che sia un mero frutto del caso. Per assurdo lo spazio è più accessibile del centro della Terra, anche se le distanze sono molto maggiori, sia perché abbiamo

possibilità di mandare delle sonde, anche se finora solo nelle nostre dirette vicinanze, sia perché grazie ai vari telescopi possiamo quantomeno “vedere” qualcosa.

Per l'interno della Terra siamo praticamente ciechi, se non per quel che riguarda gli studi sismologici, come già detto. Sarebbe bello andare a controllare di persona, come nel bellissimo “Viaggio al centro della Terra” di Jules Verne, ma chiaramente non si può fare con i nostri mezzi attuali.

In realtà già la Rivista Esquire, in un interessante articolo di Simone Cosimi del 26/6/2022 aveva riferito con dovizia di particolari sulle risultanze di uno studio pubblicato su *Science Advances*, in base a cui risulterebbe che il nucleo interno ruota più rapidamente del resto del pianeta ma a un ritmo più lento del previsto, di circa 0.29 gradi all'anno. *“L'indagine, firmata da John Vidale e Wei Weng dell'USC Dornsife College of Letters, Arts and Sciences di Los Angeles, ha analizzato con una nuova tecnica e grazie ai dati del Large Aperture Seismic Array, un sito scientifico dell'aeronautica statunitense nel Montana le onde generate dai test delle bombe nucleari sotterranee sovietiche fatte esplodere fra il 1971 e il 1974 nell'arcipelago artico Novaya Zemlya”*. Quindi la ricerca dei geologi cinesi non aggiungerebbe nulla di nuovo se non l'inversione di rotazione da est a ovest del nucleo.

Come già detto, in realtà non si sta scoprendo niente di particolarmente nuovo. È comunque interessante trovare conferme e approfondire i dettagli di meccanismi che riguardano il nostro pianeta e che sono ancora molto misteriosi. Come dicevo prima, la rotazione dei vari strati

della Terra non è sincrona ma ci sono dei leggeri sfasamenti dovuti a vari fattori, periodici e non. L'apparente inversione di marcia del nucleo è dovuta al fatto che il nucleo della Terra ha iniziato a muoversi più lentamente, anche se non ha cambiato direzione: dall'alto sembra che stia girando all'indietro. Proviamo a pensare a questo esempio: siamo in un rettilineo sull'autostrada e osserviamo un'auto dietro di noi, a distanza di sicurezza. Se le nostre velocità sono uguali, l'auto che sta dietro ci sembra ferma; se ha più velocità di noi la vediamo venire avanti; ma se siamo noi ad andare più veloci ci sembrerà andare all'indietro. Se riuscissimo a sollevarci al di sopra del nostro Polo Nord, vedremmo la Terra girare in senso antiorario, da ovest a est (infatti quando siamo coi piedi per terra questo moto ci appare come movimento del Sole e delle stelle da est a ovest). Potendo vedere dall'alto come girano gli strati interni vedremmo che hanno velocità diversa, ma girerebbero tutti in senso antiorario. Da terra, se si potesse guardare dentro, vedremmo invece il nucleo girare in senso orario. Capisco che tutto questo possa provocare anche un giramento di testa nel lettore, ma è normale.

La questione appare controversa poiché nello studio pubblicato dalla Rivista *Science Advances* sembra evincersi un fenomeno diverso da quello dell'inversione della rotazione e cioè una diversa velocità, più precisamente un rallentamento nella rotazione del nucleo rispetto al mantello e alla crosta esterni. Prof. Pesce, siamo in grado di conoscere e descrivere come è composto il nostro Pianeta da sotto la sua superficie esterna fino al punto centrale? Quali materiali, quali elementi fisici, quali movimenti possiamo avvalorare?

Trovo già affascinante che mentre la Terra ruota sul suo asse e si muove nell'orbita del sistema solare e con questo nello spazio, altri movimenti avvengano sotto i nostri piedi, sotto gli edifici, i manufatti ecc. senza che noi se ne colga la pur minima percezione...

Potremmo dire che il nostro pianeta è fatto a strati, come una cipolla (vd. Domanda 1 e figura relativa). I vari strati sono separati dalle cosiddette *discontinuità* (di Mohorovicic tra crosta e mantello, di Gutenberg tra mantello e nucleo esterno, di Lehmann tra nucleo esterno ed interno).

Proprio in corrispondenza di queste discontinuità avvengono le variazioni di velocità delle onde sismiche di cui dicevo prima o vengono assorbiti alcuni tipi di onde

È chiaramente impossibile, allo stato attuale, avere una mappa dettagliata di tutto quello che contiene la Terra, ma abbiamo capito che al di sotto della crosta solida (suddivisa in placche), troviamo un mantello essenzialmente solido, con elementi più pesanti nel mantello superiore (che, assieme alla crosta, forma la litosfera) ed elementi più leggeri nel mantello inferiore.

Sotto al mantello c'è un nucleo esterno costituito essenzialmente da ferro fluido, la cui rotazione genera il nostro campo magnetico e quindi il nucleo interno, che è molto viscoso, cioè non propriamente solido, ma che fa più fatica a scorrere rispetto allo strato superiore.

Un aspetto interessante è che una struttura interna di questo tipo è un ingrediente fondamentale affinché un pianeta possa ospitare delle forme di vita: il nucleo fluido ferroso è in grado di generare un campo magnetico con la sua rotazione, attivando così un sistema di protezione dalle pericolose radiazioni che arrivano dalle stelle e dal cosmo.

Di questi studi e di queste ricerche sentiremo ancora parlare a lungo: tuttavia quanto è importante conoscere la composizione e i possibili fenomeni di assestamento sotto la superficie terrestre, anche in funzione di ciò che accade visibilmente, dei cambiamenti climatici, del surriscaldamento, dell'innalzamento dei mari, dello scioglimento dei ghiacciai e – visto ciò che è recentemente accaduto in modo catastrofico – dei movimenti tellurici che arrivano a determinare persino spostamenti della crosta e dell'asse terrestre?

Approfondire le nostre conoscenze su quanto avviene sotto i nostri piedi è di fondamentale importanza per comprendere i meccanismi che interessano il nostro pianeta. Uno degli argomenti di cui si discute maggiormente, specie in occasione di eventi sismici importanti come quello recente in Turchia e Siria, è la possibilità di prevedere i terremoti con largo anticipo. Questo consentirebbe di mettere in salvo le popolazioni e gli oggetti più importanti. Purtroppo al momento non esistono fenomeni che indichino con ragionevole certezza la possibilità di un evento sismico nei giorni o nelle ore successive. Anche i cosiddetti “sciame sismici” non forniscono indicazioni certe. In certi casi, come all'Aquila nel 2008 effettivamente sono stati il preludio a un evento importante, in altri, come nell'entroterra genovese lo scorso settembre, si ha una serie di scosse avvertite dalla popolazione ma che, per fortuna, non sfociano in qualcosa di grosso. Ci sono poi situazioni in cui arriva un grande terremoto senza neppure una scossa di avvertimento: è ad esempio il caso del sisma di magnitudo 9 in Cile nel 2010.

In qual periodo mi trovavo in Argentina per le mie ricerche sui raggi cosmici, a un centinaio di chilometri in linea d'aria dall'evento, e ho sentito molto bene le scosse di assestamento che sono seguite pochi giorni dopo l'evento principale.

Tutto questo deve invitarci non solo a continuare a portare avanti le ricerche, ma anche a fare attenzione a tutti i segnali che il nostro pianeta ci manda, basti pensare al riscaldamento globale, facendo anche attenzione a mettere in atto le necessarie precauzioni. Nel caso dei terremoti è importante costruire secondo criteri antisismici, per esempio.

Un altro "pericolo" che arriva dal sottosuolo è quello delle eruzioni vulcaniche, anche queste tuttora imprevedibili con grande anticipo. Eventi come terremoti ed eruzioni, ma anche tornado, alluvioni, eccetera, dovrebbero ricordarci costantemente come l'uomo sia spesso impotente dinnanzi alla forza della natura.

Un'ultima domanda, forse la più banale ma per noi umani la più affascinante: in che termini di reciprocità possiamo porre in relazione la "vita" con il "movimento" di tutto ciò che è dentro il nostro Pianeta e – smisuratamente – nell'Universo?

Sì, è senz'altro un tema affascinante. Da quando esiste l'universo, tutto è in continuo movimento. Un movimento che è apparentemente ordinato ma anche caotico (per esempio la Terra ad ogni giro percorre orbite leggermente diverse). Senza questo movimento non potrebbe esserci la vita.

Gli elementi chimici più pesanti, come ferro e silicio, vengono prodotti nelle esplosioni delle stelle più grandi e dispersi nel cosmo. Le prime molecole organiche potrebbero essere arrivate sulla Terra grazie alle comete, senza i movimenti tettonici avremmo una distribuzione diversa delle specie sul nostro pianeta ... E ci sarebbero molti altri esempi da fare. Noi stessi siamo in continuo movimento tra le mille faccende di cui dobbiamo occuparci. Gli esseri umani non sono che un piccolo ingranaggio di questa enorme danza cosmica che va avanti dalla notte dei tempi. Cerchiamo di essere dei danzatori consapevoli e godiamoci le splendide coreografie di cui facciamo parte senza rovinarle.

Breve C.V.

Roberto Pesce ha conseguito la laurea e il dottorato in Fisica presso l'Università degli Studi di Genova, specializzandosi nel campo dei raggi cosmici di altissima energia e collaborando con l'Osservatorio "Pierre Auger" in Argentina. Dopo una decina d'anni dedicati alla ricerca, ha iniziato a insegnare matematica e fisica in diversi licei genovesi ed è attualmente in ruolo presso il Liceo "Luigi Lanfranconi" di Genova-Voltri. Tra le sue passioni, oltre naturalmente all'astronomia, c'è la fotografia e la musica corale e organistica.