

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

# RENDICONTI

---

PIETRO CALOI

## Sulla natura fisica del nucleo interno della Terra

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 34 (1963), n.4, p. 352-357.*

Accademia Nazionale dei Lincei

[http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1963\\_8\\_34\\_4\\_352\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1963_8_34_4_352_0)

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

---

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma  
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)  
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

**Geofisica.** — *Sulla natura fisica del nucleo interno della Terra.*  
Nota (\*) del Corrisp. PIETRO CALOI.

1. Due anni or sono, in un lavoro pubblicato sopra una rivista inglese [1], avevo dimostrato che il nucleo interno terrestre restituisce parte dell'energia elastica che lo investe, sotto forma di onde riflesse (onde indicate con il simbolo PKiKP). Ciò veniva a provare, in modo chiaro e definitivo, che il nucleo interno si comporta, nei confronti dell'energia sismica, come solido, a conclusione di una controversia, che durava da qualche decennio.

Da quando, nel 1936, la Lehmann [2] aveva suggerito — a spiegazione delle registrazioni di onde longitudinali, che si ottengono nell'interno della « zona d'ombra » —, che il nucleo terrestre, fino allora considerato fluido ed omogeneo, doveva presentare una discontinuità dinamica verso i 5000 Km circa di profondità, indagini teoriche erano state compiute, separatamente, da Gutenberg e Richter e da Jeffreys. Tali indagini concludevano a favore dell'ipotesi della Lehmann. Però, mentre Jeffreys non negava la possibilità che in corrispondenza di tale accidentalità potessero verificarsi delle riflessioni [3], Gutenberg e Richter ritenevano più probabile trattarsi — più che di una discontinuità — di una zona di transizione, in cui si verificava un graduale aumento della velocità delle onde sismiche longitudinali, senza che ciò potesse interpretarsi come un cambiamento di stato della materia. Questa conclusione veniva naturalmente ad escludere la possibilità di registrazione delle onde PKiKP. Solo negli ultimi anni della sua vita laboriosissima, Gutenberg manifestò qualche perplessità sulla natura del nucleo interno, non escludendo che esso potesse considerarsi come solido [4].

2. Il disaccordo fra le vedute di Jeffreys e di Gutenberg verteva sopra tutto sulle caratteristiche del transito fra il nucleo esterno e il nucleo interno. Mentre il primo riteneva che il brusco aumento di velocità fosse preceduto da una zona in cui la velocità delle onde sismiche subiva una sensibile flessione (fig. 1), il secondo sostenne — specie nei suoi ultimi lavori — che la zona di transizione fra nucleo esterno ed interno fosse soprattutto caratterizzata da accentuata viscosità (o firmo-viscosità), con graduale aumento della velocità. Nella parte esterna di detta zona, le onde PKiKP (onde rifratte in corrispondenza del nucleo interno — fig. 2) di minor periodo (1 sec circa) si propagherebbero con velocità maggiore di quella spettante allo stesso tipo di onde, ma con periodo  $\geq 2$  sec, che interesserebbero però il mezzo 300 Km circa più in basso (limite del nucleo interno, secondo Jeffreys). Questi fatti portarono Gutenberg alla conclusione che il raggio apparente

(\*) Presentata nella seduta del 20 aprile 1963.

del nucleo interno risultava sensibilmente maggiore per le onde aventi breve periodo ( $\leq 1$  sec) che per quelle di periodo sensibilmente maggiore (vedi

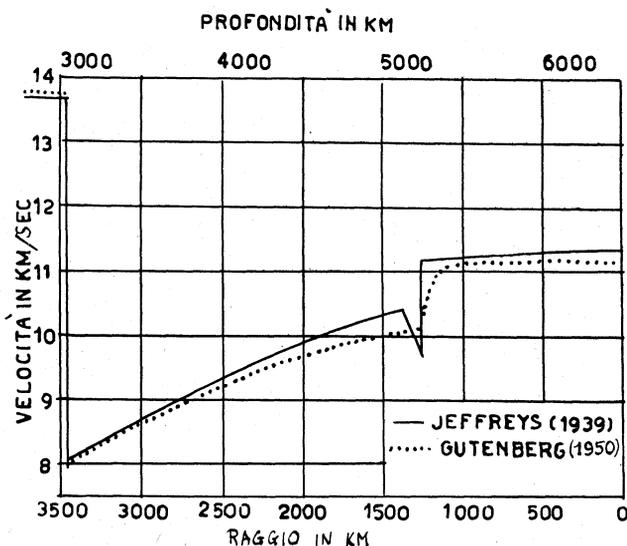


Fig. 1. - Andamento della velocità delle onde longitudinali nel nucleo terrestre, secondo Jeffreys e Gutenberg.

fig. 4). La differenza di velocità sarebbe da attribuire a dispersione. In questa ipotesi però, poiché l'accrescimento di viscosità, a cui Gutenberg attribuiva queste disparità, si verificherebbe in modo graduale, ci si dovrebbe aspettare

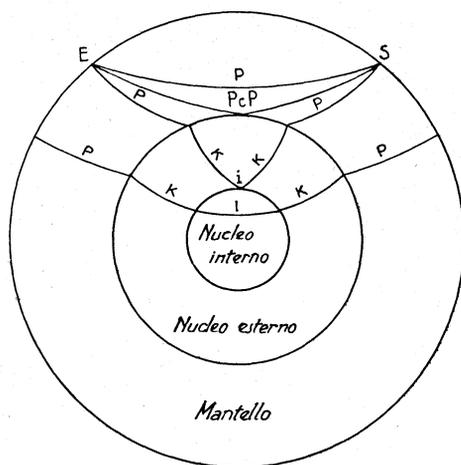


Fig. 2. - Onde longitudinali nel mantello (P), riflesse dal nucleo esterno (PcP), riflesse dal nucleo interno (PKiKP) e rifratte dal nucleo interno (PKIKP).

un grande aumento del periodo delle PKiKP. In realtà, le osservazioni provano che il passaggio fra la serie di periodi di valore intorno al secondo, alle onde di periodo dell'ordine di  $3^s$  è brusco (vedi esempi riportati da Gutenberg nelle sue note [4]). Ciò lascia supporre che la spiegazione della

esistenza dei due tipi di onde PKiKP debba ricercarsi per altra via, probabilmente nell'esistenza di accidentalità entro il nucleo interno stesso.

3. Ad ogni modo, le conclusioni cui pervenne Gutenberg, lasciavano prevedere che l'estensione del nucleo interno fosse sensibilmente maggiore

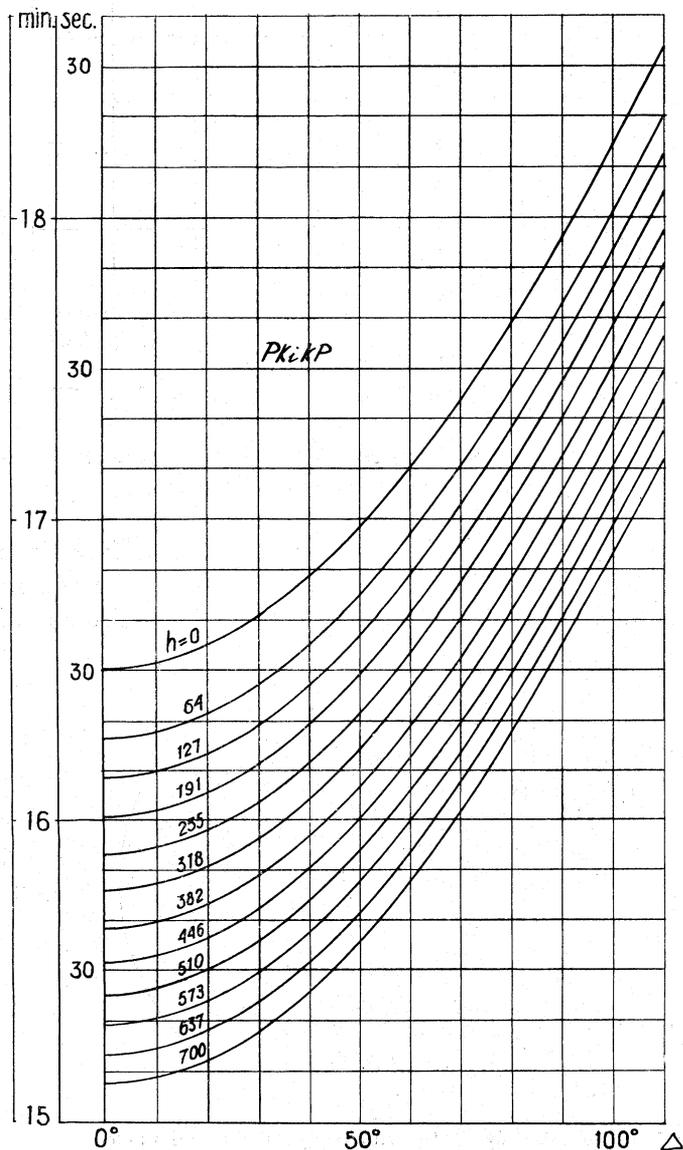


Fig. 3. - Tempi di tragitto delle onde PKiKP in funzione della profondità ipocentrale ( $h$ ), dedotti dalla teoria di Jeffreys.

di quella generalmente ammessa. Se ciò corrispondeva a verità, e se la consistenza della zona limite del nucleo interno è tale da permettere la riflessione delle onde longitudinali, queste dovevano venire registrate con sensi-

bile anticipo sui tempi calcolati nell'ipotesi di Jeffreys (fig. 3). Data la notevole brevità dei periodi, associati alle onde comunque interessanti il nucleo, si presenta qui una difficoltà derivante dalle insufficienze strumentali. Ricordo, per esempio, che gli strumenti a breve periodo funzionanti a Tolmezzo, a Pieve di Cadore e al Vajont (Longarone) registrano – soli fra tutte le stazioni europee – le onde ScS e PKiKP per terremoti originanti in corrispondenza delle isole dell'Egeo. Le onde PKiKP, in particolare, presentano periodi sensibilmente al disotto del secondo: caratteristica questa evidentemente associata alle onde longitudinali K <sup>(1)</sup>. Solo apparecchi speciali, pertanto,

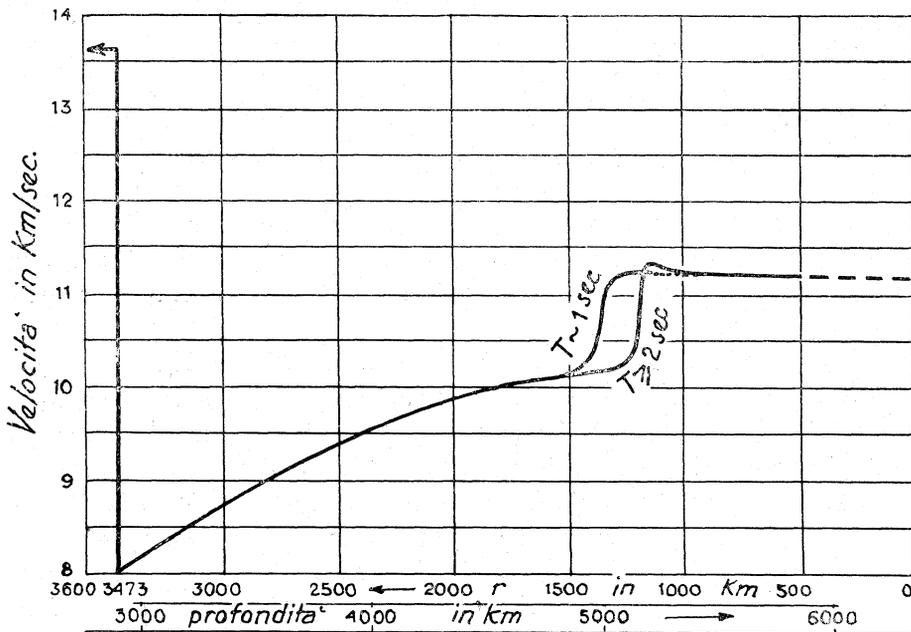


Fig. 4 – Andamento della velocità delle onde longitudinali nella zona di transizione tra il nucleo esterno e il nucleo interno, secondo Gutenberg.

possono mettere in evidenza le onde riflesse dal nucleo interno, nella sua parte esteriore, dove esso confina con la parte liquida, dando inizio alla zona di transizione. Meglio se tali apparecchi risultano muniti di filtri, che consentano la esclusiva registrazione di determinate gamme d'onda. Uno di tali apparecchi è il « Dual Galvo » di Willmore, funzionante ad Halifax (Canada). Si tratta di una componente verticale filtrata, che presenta ingrandimenti dell'ordine di 3000 per periodi di 0,4 o 0,9 sec, con massimi intorno

(1) Va osservato, a questo riguardo, che le onde propagate dai liquidi hanno in comune questa caratteristica: basti pensare alle onde T. Si deve vedere in ciò una nuova testimonianza a favore dell'ipotesi che ritiene il nucleo esterno allo stato liquido.

a 4000, per periodi da 0,5 a 0,8 sec. La registrazione è consentita fino ad onde di periodi di poco superiori a 2 sec. Ebbene, in occasione del forte terremoto dell'Iran del 1° settembre 1962, il « Duval Galvo » Willmore di Halifax ha dato, alla distanza epicentrale di 80° circa, la registrazione riportata nella fig. 5. Da essa appare evidente l'esclusione di periodi superiori ai due secondi: infatti, nonostante l'intensità del terremoto, la registrazione si arresta praticamente dopo 5-6 minuti. Le fasi registrate sono esclusivamente di carattere longitudinale: onde P, onde PcP ed onde PKiKP. La selezione provocata dal filtraggio, ha permesso la registrazione delle onde a breve periodo (PKiKP), interessanti il nucleo esterno, dopo riflessione sulla zona di transizione verso il nucleo interno. Senza tale azione filtrante, le onde PKiKP sarebbero state mascherate da onde di altro tipo e di maggior periodo, come testimonia la registrazione della componente verticale dello stesso terremoto, ottenuta nella stessa stazione di Halifax (fig. 5), ma con un periodo strumentale di 75 sec circa.

Le PKiKP, ottenute con la componente verticale filtrata di Halifax, anticipano sensibilmente sui tempi previsti dalla teoria di Jeffreys, con i quali, invece, praticamente coincidono i tempi delle stesse onde, con periodi maggiori o uguali di 2 sec.

Sembra quindi di poter concludere che la riflessione delle onde PK avvenga a quote diverse, legate alla lunghezza d'onda. Così stando le cose, si avrebbe una conferma dell'ipotesi di Gutenberg, almeno per quanto concerne la zona di transizione, la quale - sulla base dei tempi ottenuti per riflessioni di onde PK di breve lunghezza d'onda - risulterebbe molto più estesa di quanto comporta la teoria di Jeffreys. La riflessione delle onde longitudinali testimonia però - per questa zona - una rigidità nettamente superiore di quella suggerita da Gutenberg.

Non è pertanto azzardato ritenere che il raggio effettivo del nucleo interno sia *almeno di 1500 Km*, 250 Km circa maggiore di quanto viene indicato nella teoria di Jeffreys. Ciò sarebbe provato anche dall'estensione della zona di transizione, alle cui accidentalità vanno attribuite le lunghe serie di oscillazioni che seguono le *KiK*. Sembra inoltre di poter escludere l'esistenza di una zona a forte diminuzione di velocità, come introduzione al nucleo interno (teoria di Jeffreys).

4. Per finire, devo osservare che l'anticipo delle onde PKiKP sui tempi dedotti dalla teoria di Jeffreys potrebbe anche essere spiegato col fenomeno della dispersione anomala, proprio della propagazione associata ad altissime frequenze, e ancora sensibile per onde con periodi minori od uguali ad 1 sec [5]. In tal caso, le dimensioni del nucleo interno non subirebbero variazioni apprezzabili, nei confronti di quelle finora ammesse.

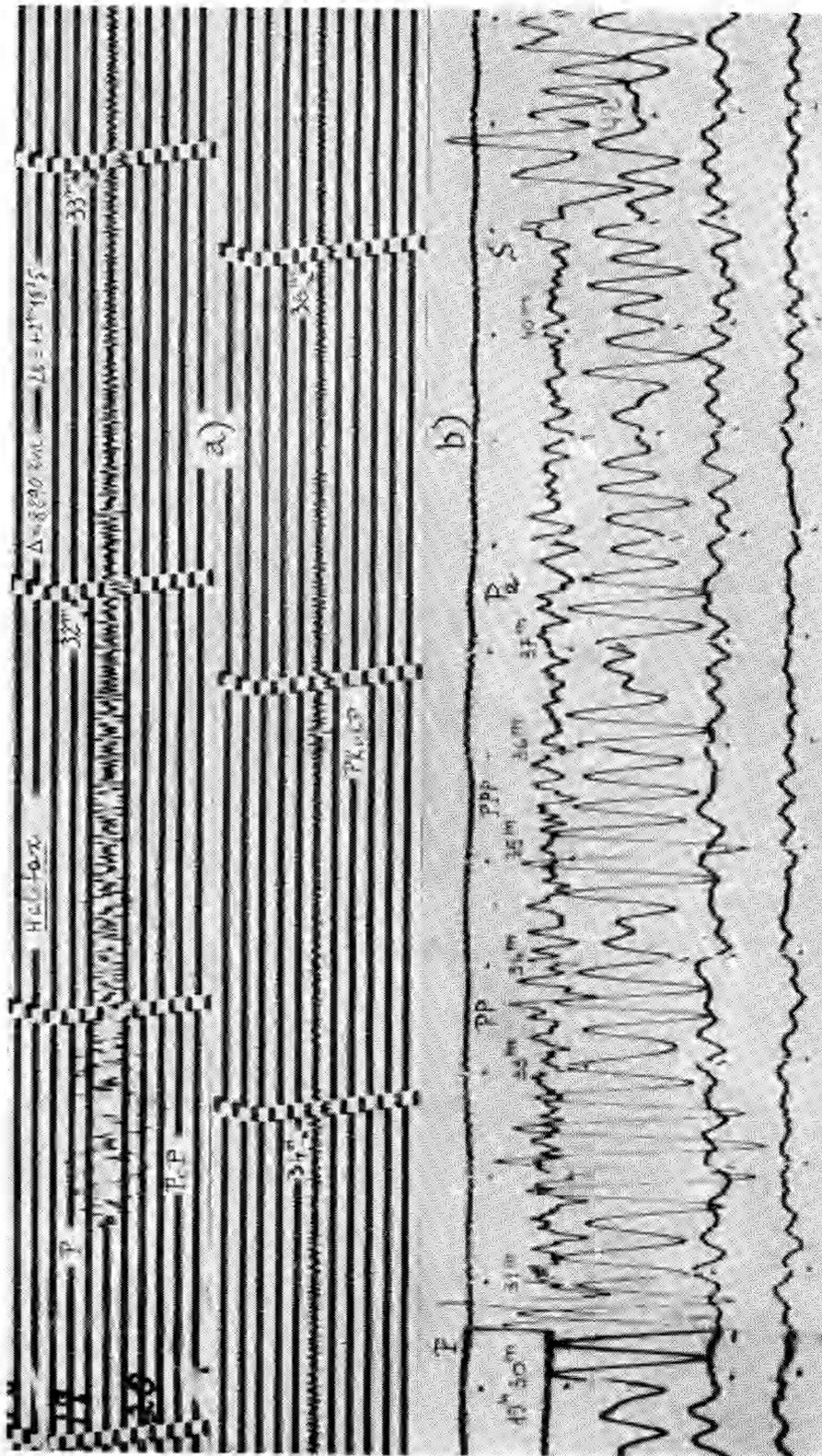


Fig. 5. - Il terremoto dell'Iran del 19 ottobre 1962, registrato ad Haftiya: a) da una componente verticale Willmore a breve periodo, filtrata; b) da componente verticale a lungo periodo. Nella componente a lungo periodo non c'è traccia delle onde PKKP, mentre si apprezzano strapicco fasi ordinarie mancanti nell'altra.



## BIBLIOGRAFIA.

- [1] P. CALOI, *Seismic Waves from the Outer and the Inner Core*, « Geophys. Journ. of the Roy. Astr. Soc. », vol. 4 (1961).
- [2] I. LEHMANN, *P'*, « Pub. Bureau Central Séismol. Int., Trav. Sci. », sér. A, vol. 14 (1936).
- [3] H. JEFFREYS, *The Earth*, Cambridge – University Press (1939).
- [4] B. GUTENBERG, *Waves velocity in the Earth's core*, « Bull. Seismol. Soc. Amer. », vol. 48 (1958).
- [5] P. CALOI, *Comportamento delle onde di Rayleigh in un mezzo fimo-viscoso indefinito*, « Annali di Geofisica », vol. I (1948); IDEM, *Dispersione delle onde sismiche nell'ambito delle altissime frequenze*, « Rend. Acc. Naz. dei Lincei » (classe Sc. fis., mat. e nat.), ser. VIII, vol. XXIV, fasc. 3 (1958).