

# EFFETTI DELL'ATTRITO INTERNO SULLA VELOCITA' DELLE ONDE SISMICHE SUPERFICIALI A BREVISSIMO PERIODO (\*) •

PIETRO CALOI

In una delle sedute dell'A.S.I. tenute ad Oslo nell'agosto 1948 ebbi occasione di presentare un lavoro (1) che riassumeva i risultati di ricerche, da me condotte negli anni precedenti, sulla propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo elastico, che ammette attrito interno.

Richiamerò qui alcuni di detti risultati.

La firmo-viscosità determina una sensibile riduzione della componente verticale del moto, riduzione che è tanto maggiore, quanto più piccoli sono il rapporto  $\mu/\mu'$  e il periodo proprio dell'onda: per onde originanti con grossi periodi, l'azione dell'attrito interno sul rapporto delle ampiezze è pressoché nulla e il mezzo si comporta come puramente elastico. La firmo-viscosità può far variare il rapporto delle ampiezze  $Z/H$  da un valore prossimo all'unità (1,05) a 1,47, valore che la teoria di Rayleigh assegna a quel rapporto per  $\lambda = \mu$ .

La ricerca ha consentito di chiarire un altro aspetto della propagazione delle onde superficiali, finora rimasto insoluto. Nella classica teoria di Rayleigh, le onde che portano il suo nome sono considerate come libere, persistenti, non soggette ad assorbimento da parte del mezzo. L'osservazione prova invece che l'assorbimento è fortissimo per i periodi più piccoli e tende a decrescere rapidamente, per raggiungere il valore di circa  $e^{-0.0003}$  per periodi dell'ordine di  $20^{\circ}$ . La nuova teoria prova che in un mezzo firmo-viscoso (con un rapporto  $\mu/\mu' = 50 \text{ sec}^{-1}$ , conforme alla media dei valori osservati) ciò è pienamente dimostrato: da un assorbimento elevatissimo per piccoli periodi, passando a periodi dell'ordine di  $20^{\circ}$  e per  $\mu/\mu' = 50$ , il coefficiente d'assorbimento diviene dell'ordine di 0.0003, che è appunto quello generalmente osservato.

---

\* Riassunto di una comunicazione presentata alla IX Assemblea Generale del PUG.C.I., tenutasi a Bruxelles dal 19 al 31 agosto 1951.

Di recente, proseguendo nell'investigazione delle caratteristiche delle onde superficiali in un mezzo firmo-elastico, ho provato che un altro degli effetti dell'attrito interno riguarda la forma della traiettoria percorsa da una particella sollecitata da queste onde (<sup>2</sup>).

Anche in un mezzo firmo-viscoso, le onde di tipo Rayleigh costringono le particelle raggiunte su traiettorie ellittiche; però, a differenza di quanto avviene in un mezzo puramente elastico, tali traiettorie non sono riferite ai propri assi. Solo per periodi infinitamente piccoli o infinitamente grandi, le traiettorie ellittiche tendono a quelle riferite ai propri assi, proprie di un mezzo puramente elastico.

Lo scopo del mio intervento non si esaurisce però in quanto ho finora detto. È mio proposito richiamare l'attenzione dei Colleghi su un altro effetto dell'attrito interno, effetto che ritengo opportuno sia messo nella sua giusta luce.

Fino dal 1944 avevo provato che, in un mezzo elastico, che ammette attrito interno, la velocità di fase delle onde superficiali, a brevissimo periodo, era fortemente influenzata dall'azione dell'attrito, nel senso che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo firmo-elastico, da un valore infinito per periodi nulli, tende rapidamente, per periodi crescenti, al valore che le compete in mezzi puramente

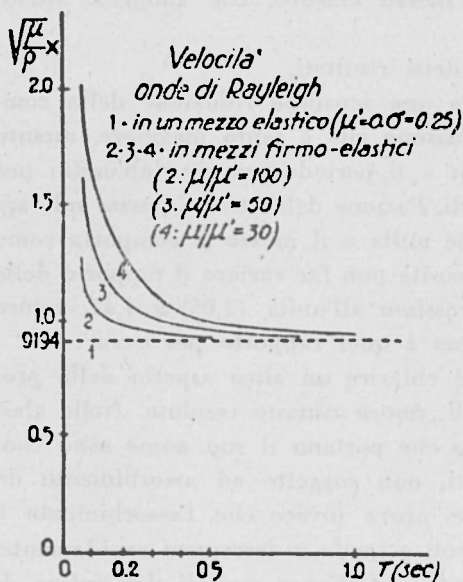


Fig. 1

elastici, tanto più rapidamente quanto maggiore è il valore del rapporto  $\mu/u'$  ( $u$ , costante di Lamé;  $\mu'$ , coefficiente d'attrito interno equivoluminale), come da fig. 1.

In un primo momento, questo risultato mi aveva lasciato alquanto perplesso; una dispersione anomala, relativa alle onde di elevata frequenza, mi riusciva del tutto nuova, anche se essa risultava effettiva per le velocità di gruppo nelle verghe e nelle lastre di ghiaccio (come è stato recentemente provato per queste ultime).

Restava comunque da provare sperimentalmente l'attendibilità di questo effetto, teoricamente legato agli altri effetti della firmo-elasticità, che mi avevano consentito di spiegare le fondamentali caratteristiche delle onde di Rayleigh.

Le cose erano a questo punto quando, qualche mese fa, ho avuto modo di leggere un lavoro di due geofisici giapponesi sulla natura dei microsismi (3). Fui colpito sopra tutto dal fatto che lo studio sperimentale sulla propagazione dei microsismi conduceva i due giapponesi a questa conclusione: la velocità di propagazione delle onde superficiali microsismiche cresce al diminuire del periodo.

Da note a piè pagina risultava che allo stesso risultato era pervenuto il sismologo giapponese K. Sassa nello studio della propagazione delle onde provocate da esplosioni; questo però con relazione alla velocità di gruppo, mentre le conclusioni sui microsismi, raggiunte dai due giapponesi, si riferiscono alla velocità di fase.

Si aveva così anche la conferma sperimentale della validità del principio da me ottenuto per via teorica: l'attrito interno cioè agisce sulla velocità delle onde superficiali, in modo da determinare dispersione

anomala, in modo cioè da far tendere la velocità di fase all'infinito col tenere del corrispondente periodo a zero.

Tale conferma è stata reiterata dai due giapponesi su nominati in una loro recentissima pubblicazione (4), dalla quale riproduco la fig. 2. Dal confronto delle due figure, potrà sembrare che l'effetto dell'attrito interno risulti più notevole nelle conclusioni conseguite dai due giapponesi. Va osservato però che i microsismi da essi osservati interessano strati alluvionali. In queste stratificazioni, il rapporto  $\nu/\mu'$  è molto più piccolo di quello relativo alle rocce (5): esso è dell'ordine di 5-10.

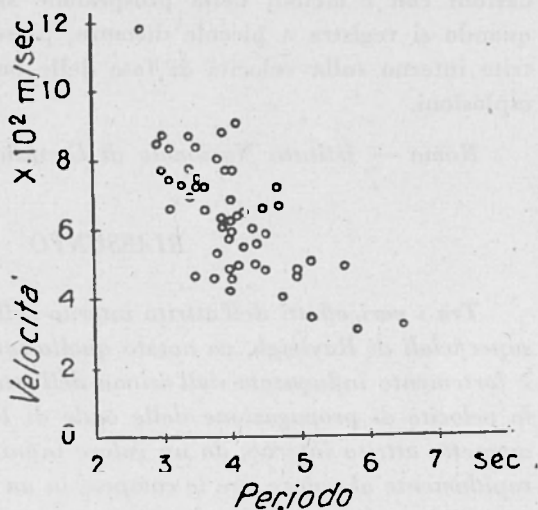


Fig. 2

Pertanto, per tali strati, anche teoricamente l'azione dell'attrito interno riesce sensibilmente più grande.

Osservo ancora che l'assorbimento del mezzo si mostra crescente con la frequenza dell'onda: tende all'infinito col tendere del periodo a zero. Ciò fa sì che le onde legate ai periodi più piccoli (dell'ordine del centesimo di secondo e meno) vengono rapidissimamente assorbite dal mezzo. *Ne deriva che l'effetto dell'attrito interno è apprezzabile solo per le piccole distanze.*

Le velocità che in questo caso vengono osservate non sono velocità del mezzo considerato come puramente elastico, in quanto su esse influisce, più o meno notevolmente, l'attrito interno, tanto più sensibilmente quanto più piccolo è il periodo legato alla fase osservata.

Concludendo penso che, per una valutazione esatta delle stratificazioni con i metodi della prospezione sismica non sia consentito, quando si registra a piccole distanze, prescindere dall'azione dell'attrito interno sulla velocità di fase delle onde sismiche provocate da esplosioni.

Roma — Istituto Nazionale di Geofisica — Luglio 1951.

#### RIASSUNTO

*Tra i vari effetti dell'attrito interno sulla propagazione delle onde superficiali di Rayleigh, va notato quello sulla velocità: tale grandezza è fortemente influenzata dall'azione dell'attrito interno, nel senso che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh, in un mezzo che ammette attrito interno, da un valore infinito per periodi nulli, tende rapidamente al valore che le compete in un mezzo puramente elastico.*

*D'altronde, poiché anche l'azione assorbente del mezzo tende all'infinito col tendere del periodo a zero, se ne conclude che l'effetto dell'attrito interno sulla velocità di propagazione può essere constatato solo per piccole distanze.*

*Recentemente, una conferma sperimentale di questo effetto è stata ottenuta dai giapponesi Ikegami e Kishinouye.*

#### BIBLIOGRAFIA

(1) CALOI P.: *Comportement des ondes de Rayleigh dans un milieu firno-élastique indéfini*. Bur. Centr. Séism. Int., Trav. Scientif., 17 (Mémoires présentés à l'Ass. d'Oslo, 1948).

— *Sulle onde di Rayleigh in un mezzo elastico, firmo-viscoso indefinito*. Pontificia Academia Scientiarum, Acta, X, 1946.

(2) CALOI P.: *Teoria delle onde di Rayleigh in mezzi elastici e firmo-elastici, esposta con le omografie vettoriali*. Archiv. f. Meteorol., Geophys. und Bioklimat., Serie A, Met. und Geophys., IV, 1951.

(3) IKEGAMI R., KISHINOUE F.: *A Study on the Propagation of Microseismic Waves*. Part II. Bull. Earthq. Res. Institute, XXVIII, Parts 1-2, 1950.

(4) IKEGAMI R., KISHINOUE F.: *A Study on the Propagation of Microseismic Waves*. Part IV. Bull. Earthq. Res. Institute, XXIX, Part 2, 1951.

(5) GUTENBERG B.: *Physics of the Earth - VII - Internal Constitution of the Earth*. 1939, pag. 367.