

onde P e onde S: velocità e modalità di propagazione

La velocità di propagazione delle onde P e delle onde S dipende dalle proprietà fisiche dei materiali attraverso cui esse si propagano, in particolare dalla loro densità e dalla loro elasticità. Se le onde sismiche attraversano un materiale omogeneo, cioè con le stesse caratteristiche fisiche e chimiche in ogni punto, procedono in linea retta e a velocità costante. Se invece incontrano un materiale con caratteristiche differenti, in corrispondenza della superficie di separazione tra i due mezzi o materiali (*superficie di discontinuità*), le onde subiscono variazioni nella velocità e nella direzione. Ciò avviene perché le onde sismiche vanno incontro a fenomeni di *riflessione* e *rifrazione*, che possiamo descrivere immaginando di rappresentare la loro propagazione mediante raggi sismici, analoghi ai raggi luminosi utilizzati nell'ottica geometrica. Un *raggio sismico* è una semiretta che ha origine nell'ipocentro ed è perpendicolare alla *fronte d'onda*: le onde sismiche sono onde sferiche e il fronte d'onda è l'insieme dei punti che in un dato istante sono interessati dalla vibrazione. Consideriamo un raggio sismico che raggiunge una superficie di discontinuità che separa, per esempio, due mezzi diversi (potrebbero essere due zone a diversa densità di uno stesso materiale o due materiali differenti): se l'angolo che il *raggio incidente* forma con la normale alla superficie di discontinuità (*angolo di incidenza, i*) è inferiore a un certo valore (*angolo critico*) che dipende dal mezzo attraversato, si scompone in un *raggio riflesso* e in un *raggio rifratto* (cioè deviato) (fig. 1). Il raggio riflesso torna indietro nel primo mezzo in modo tale che l'angolo di riflessione r è uguale all'angolo di incidenza (*legge della riflessione*).

Il raggio rifratto prosegue nel secondo mezzo e l'*angolo di rifrazione r'* è diverso dall'angolo di incidenza ed è legato a que-

sto dalla relazione:

$$\text{sen } i / \text{sen } r' = v_1 / v_2$$

dove v_1 è la velocità del raggio sismico nel primo mezzo e v_2 la velocità del raggio sismico nel secondo mezzo. La formula utilizzata si richiama alla *legge di Snell* (applicata in ottica per descrivere la rifrazione della luce). Dalla formula si ricava che, se la velocità nel secondo mezzo (v_2) è maggiore rispetto quella nel primo mezzo (v_1), l'angolo di rifrazione r' è maggiore dell'angolo di incidenza i e quindi il raggio rifratto è più distante dalla normale. Questa situazione si verifica, per esempio, se un'onda sismica passa da una zona meno densa a una più densa di uno stesso materiale (fig. 1b) oppure da un materiale meno denso a uno più denso (o anche da un materiale liquido a uno solido).

Se, viceversa, il passaggio dell'onda fosse da una zona più densa a una meno densa di uno stesso materiale (fig. 1c) (o da un materiale più denso a uno meno denso, o ancora da un solido a un liquido), il raggio rifratto, a causa della minore velocità, risulterebbe più vicino alla normale.

Ritornando alla figura 1a, se l'angolo di incidenza coincide con l'*angolo critico*, l'angolo di rifrazione assume il valore di 90° : in tal caso il raggio rifratto giace lungo la superficie di discontinuità e l'onda sismica si sposta lungo questa direzione con velocità v_2 . Per valori dell'angolo incidente superiori all'angolo critico l'onda viene totalmente riflessa. A causa dei fenomeni della riflessione e della rifrazione, ai sismografi arrivano non solo onde P e S che provengono dall'ipocentro seguendo il tragitto più breve, ma anche onde che, dopo essere penetrate in profondità all'interno della Terra, sono state riflesse e rifratte anche più volte incontrando materiali differenti, fino a emergere in superficie al termine di percorsi complessi.

Fig. 1.

a. Schema dei fenomeni di riflessione e rifrazione che può subire un raggio sismico nel passaggio attraverso una superficie di discontinuità che separa due mezzi differenti. b. Se la velocità v_2 dell'onda rifratta è maggiore della velocità v_1 dell'onda incidente, l'angolo di rifrazione è maggiore dell'angolo di incidenza, mentre l'opposto accade (c) se v_2 è minore di v_1 .

