

## Propagazione del suono in corpi solidi

### DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DEL SUONO PER ONDE LONGITUDINALI E TRASVERSALI IN CORPI SOLIDI.

- Determinazione della velocità del suono per onde longitudinali in poliacrilico dai tempi di propagazione di un segnale a ultrasuoni da 1 MHz.
- Misurazione della trasmissione di onde sonore longitudinali e trasversali nel corpo solido mediante una piastra pianparallela, disposta inclinata.
- Determinazione delle velocità del suono per onde longitudinali e trasversali dagli angoli limite di riflessione totale.
- Determinazione del modulo di elasticità  $E$ , del modulo di taglio  $G$  e del numero di Poisson  $\mu$  del corpo solido dalle due velocità del suono.

UE1070530  
04/16 JS

### BASI GENERALI

Il suono si propaga nei gas e nei liquidi esclusivamente sotto forma di onde longitudinali. In questo caso la pressione oscilla intorno a un valore di equilibrio e crea aree oscillanti con compressione ed espansione. Il suono attraversa i corpi solidi anche sotto forma di onde trasversali, in cui oscilla la tensione di taglio. Queste si possono propagare in un corpo solido perché sono presenti le forze di taglio elastiche occorrenti alla trasmissione.

Le onde longitudinali e le onde trasversali hanno velocità del suono diverse. Queste dipendono dalla densità  $\rho$  e dalle costanti elastiche del corpo solido. A questo proposito la velocità del suono dell'onda longitudinale è

$$(1) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}}$$

$E$ : Modulo di elasticità,  $\mu$ : Numero di Poisson  
maggiore di quella dell'onda trasversale

$$(2) \quad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$G$ : Schermodul

Il modulo di elasticità  $E$  e il modulo di taglio  $G$  di un corpo solido sono correlati tra loro mediante il numero di Poisson  $\mu$ :

$$(3) \quad \frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

Se sono note le due velocità del suono  $c_L$  e  $c_T$  è quindi possibile calcolare tutte le tre grandezze elastiche.

Nell'esperimento inizialmente si misurano i tempi di propagazione  $t$  per il passaggio di un segnale a ultrasuoni da 1 MHz attraverso tre cilindri di poliacrilico con lunghezza  $s$  differente e si traccia un diagramma  $s-t$  (vedere fig. 1). Dalla pendenza delle rette passanti per i punti di misura risulta la velocità del suono longitudinale del poliacrilico.

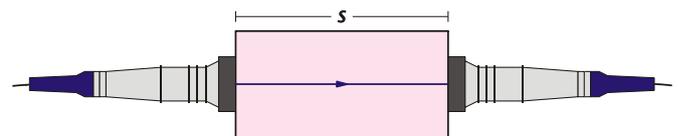


Fig. 1: Disposizione per la misurazione del tempo di preparazione per il passaggio di un segnale a ultrasuoni attraverso un corpo solido di lunghezza  $s$

Introducendo ulteriormente una piastra sottile pianparallela di poliacrilico o di alluminio nel percorso dei raggi quest'ultimo tempo viene ulteriormente ridotto, in quanto il suono si propaga più rapidamente nel materiale della piastra che nell'acqua. Più precisamente, ora si misurano dietro il catino d'acqua due segnali a ultrasuoni separati, che possono essere ricondotti alla differenza del tempo di propagazione per la velocità del suono longitudinale e trasversale nel corpo solido (vedere fig. 2).

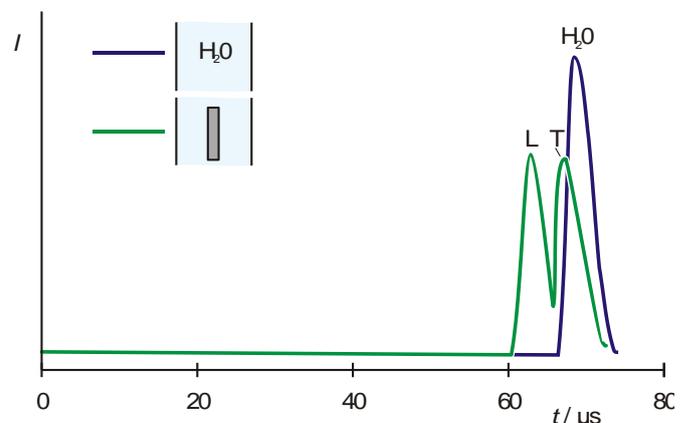


Fig. 2: Segnale a ultrasuoni dopo il passaggio attraverso il catino d'acqua (blu: senza piastra pianparallela, verde: con piastra pianparallela)

## ELENCO DEGLI STRUMENTI

1 Ecoscopio ad ultrasuoni GS200	1018616 (U100102)
2 Sonda ad ultrasuoni 1 MHz GS200	1018618 U10015
1 Kit "Ultrasuoni in corpi solidi"	1002584 (U10020)
1 Piastra in alluminio	1002585 (U10022)
1 Kit 3 cilindri	1002588 (U10026)
1 Gel accoppiante per ultrasuoni	1002588 (XP999)

*Dotazione supplementare necessaria:*

1 PC con Windows

Se la piastra è inclinata di un angolo  $\alpha$  rispetto al raggio incidente, secondo la legge di Snellius quest'ultimo viene rifratto in due raggi parziali con gli angoli  $\beta_L$  e  $\beta_T$  (vedere fig. 3).

$$(4) \quad \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_L}{\sin \beta_L} = \frac{c_T}{\sin \beta_T}$$

$c$ : Velocità del suono nell'acqua

Dal momento che le due velocità del suono  $c_L$  e  $c_T$  del corpo solido sono superiori alla velocità del suono  $c$  dell'acqua, compare infine - separatamente per onde longitudinali e trasversali - il fenomeno della riflessione totale, nel quale i segnali trasmessi scompaiono completamente. Dai due angoli limite  $\alpha_L$  per le onde longitudinali e  $\alpha_T$  per le onde trasversali si possono calcolare le relative velocità del suono:

$$(5) \quad c_L = \frac{c}{\sin \alpha_L} \quad \text{e} \quad c_T = \frac{c}{\sin \alpha_T}$$

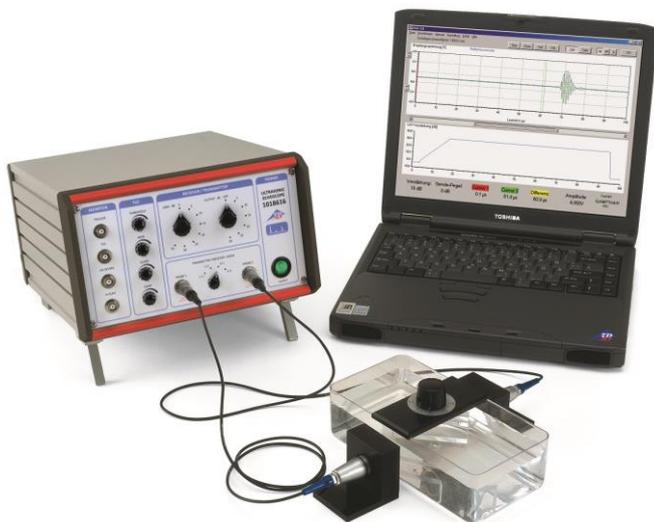
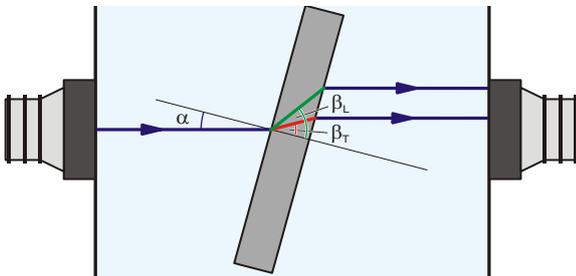


Fig. 3: Disposizione di misurazione per la determinazione della velocità del suono longitudinale e trasversale di un corpo solido dagli angoli limite della riflessione totale.

## MONTAGGIO

- Collegare l'ecoscopio a ultrasuoni al PC.
- Eventualmente installare il software di valutazione sul PC.
- Fissare i due sonde ad ultrasuoni nel supporto dei trasduttori.
- Collegare il primo sonda all'uscita PROBE 1, il secondo all'uscita PROBE 2 dell'ecoscopio a ultrasuoni.

## ESECUZIONE

- Accendere l'ecoscopio a ultrasuoni e avviare il software di valutazione.

### a) Misurazione del tempo di propagazione di onde longitudinali:

- Ricoprire la superficie frontale del sonda ad ultrasuoni con uno strato di gel accoppiante per ultrasuoni e premere la sonda saldamente sulla parte frontale del cilindro di poliacrilico.
- Impostare sull'ecoscopio a ultrasuoni l'intensità del segnale OUTPUT dB, l'amplificazione GAIN dB, nonché i parametri Threshold, Wide e Slope in modo da misurare un segnale del tempo di propagazione il più grande possibile, ma non sovrarmodulato.
- Misurare il tempo di propagazione  $t$  dall'inizio dell'impulso di trasmissione fino all'inizio dell'impulso di ricezione e annotarlo nella tab. 1.
- Effettuare le stesse misurazioni sul cilindro di poliacrilico medio e su quello lungo e annotare i tempi di propagazione nella tab. 1.

### b) Onde longitudinali e trasversali:

- Sostituire il cilindro di poliacrilico con il catino e premere saldamente il sonda a ultrasuoni sui lati longitudinali.
- Riempire il catino con acqua.
- Impostare sull'ecoscopio a ultrasuoni l'intensità del segnale OUTPUT dB, l'amplificazione GAIN dB, nonché i parametri Threshold, Wide e Slope in modo da misurare un segnale del tempo di propagazione il più grande possibile, ma non sovrarmodulato.
- Segnare sullo schermo con il cursore l'inizio dell'impulso di ricezione.
- Inserire la piastra di alluminio con il supporto campione perpendicolare rispetto al percorso dei raggi e osservare la separazione e lo spostamento del segnale del tempo di propagazione.
- Ruotare la piastra di alluminio e determinare l'angolo  $\alpha_L$  al quale scompare il segnale suscitato dalle onde longitudinali (il sinistro).
- Ruotare ulteriormente la piastra di alluminio e determinare l'angolo  $\alpha_T$  al quale scompare il segnale suscitato dalle onde trasversali (il destro).
- Sostituire la piastra di alluminio con supporto campione con la piastra di poliacrilico con supporto campione e collocarla perpendicolare al percorso dei raggi.
- Ruotare la piastra di poliacrilico e determinare l'angolo  $\alpha_L$  al quale scompare il segnale suscitato dalle onde longitudinali (il sinistro).
- Ruotare la piastra di poliacrilico e determinare l'angolo  $\alpha_T$  al quale scompare il segnale suscitato dalle onde trasversali (il destro).

## ESEMPIO DI MISURAZIONE E ANALISI

### a) Determinazione dei tempi di propagazione:

Tab. 1: tempi di propagazione  $t$  in corpi di poliacrilico di lunghezza  $s$

$s / \text{mm}$	$t / \mu\text{s}$
40	15,7
80	30,6
120	45,3

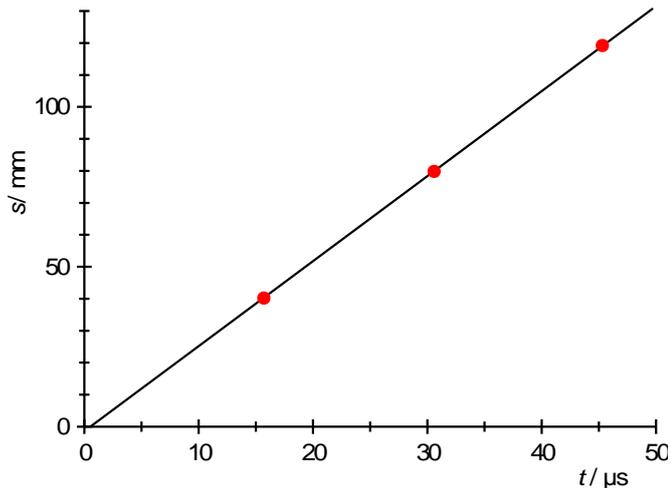


Fig. 4: Diagramma  $s-t$  del segnale a ultrasuoni nel poliacrilico

I dati di misura della tab. 1 in un diagramma  $s-t$  non sono su una retta di origine (vedere figura 4), poiché il tempo di propagazione del segnale a ultrasuoni viene misurato sistematicamente attraverso lo strato di adattamento e di protezione del sonda a ultrasuoni. Ciononostante a partire dalla pendenza delle rette è possibile determinata la velocità del suono longitudinale nel poliacrilico. Si ottiene

$$v_L = 2660 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### b) Onde longitudinali e trasversali:

Tab. 2: Tabella di misurazione con gli angoli limite di riflessione totale per onde longitudinali e trasversali

	Poliacrilico	Alluminio
$\alpha_L$	$33^\circ$	$14^\circ$
$\sin \alpha_L$	0,54	0,24
$v_L / \text{m/s}$	2700	6100
$\alpha_T$	$86^\circ$	$29^\circ$
$\sin \alpha_T$	0,998	0,48
$v_T / \text{m/s}$	1500	3100
$\mu$	0,29	0,33
$G / \text{MPa}$	2700	25000
$E / \text{MPa}$	6900	67000
$\rho / \text{g/cm}^3$	1,2	2,7

Applicando l'equazione 5 nella tabella 2 dagli angoli limite di riflessione totale si calcolano le velocità del suono. A questo riguardo per la velocità del suono in acqua si inserisce il valore

$$c = 1485 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dalle equazioni da 1 a 3 risulta l'equazione condizionale per il numero di Poisson  $\mu$ .

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}{\left( \frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}$$

Con le densità  $\rho$  note è quindi possibile calcolare le costanti elastiche.