

Diffrazione prodotta dalle onde di tensione superficiale sull'acqua

Introduzione

La formazione e la propagazione di onde sulla superficie di un liquido sono fenomeni importanti e ben studiati. Per tali onde, la forza di richiamo che agisce sul liquido in oscillazione è dovuta in parte alla gravità e in parte alla tensione superficiale. Per lunghezze d'onda molto più piccole di un valore critico, λ_c , l'effetto della gravità è trascurabile e devono essere considerati solamente gli effetti della tensione superficiale ($\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$, dove σ è la tensione superficiale, ρ è la densità del liquido e g è l'accelerazione di gravità).

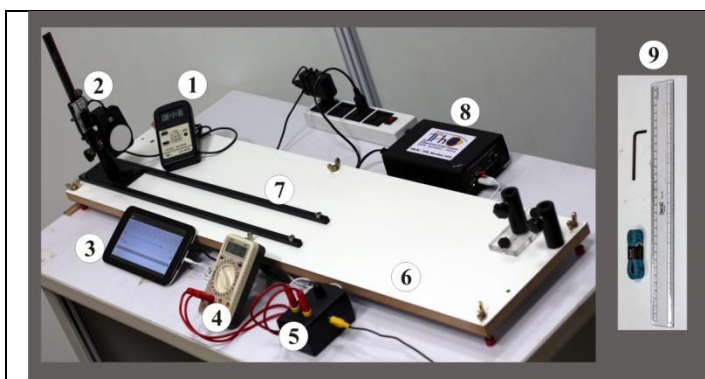
In questa parte studierai le onde di tensione superficiale con lunghezze d'onda minori di λ_c prodotte sulla superficie di un liquido. La tensione superficiale è una proprietà dei liquidi a causa della quale la superficie di un liquido si comporta come una membrana elastica tesa. Quando la superficie del liquido è perturbata, l'impulso si propaga come un'onda proprio come accade su una membrana. Per produrre le onde sulla superficie dell'acqua si usa un vibratore elettrico. Quando un raggio laser incide con un angolo radente su queste onde superficiali, queste si comportano come un reticolo di diffrazione in riflessione, producendo una ben definita figura di diffrazione.

Le onde di tensione superficiale vengono smorzate via via che si propagano (la loro ampiezza decresce gradualmente). Questo smorzamento è causato dalla viscosità del liquido, una proprietà determinata dalla opposizione di strati adiacenti di liquido al loro moto relativo.

Obiettivo

Utilizzare la diffrazione causata da onde di tensione superficiale sull'acqua per determinare la tensione superficiale e la viscosità del campione d'acqua fornito.

Lista della strumentazione



[1]	Misuratore di intensità luminosa (collegato al sensore di luce)
[2]	Sensore di luce montato su un calibro posto sul supporto che sosteneva lo schermo
[3]	Tablet (usato come generatore di onda sinusoidale)
[4]	Multimetro digitale
[5]	Sistema di controllo del vibratore
[6]	Tavola di legno
[7]	Binario per spostare il sensore di luce
[8]	Alimentatore in corrente continua
[9]	Chiave esagonale, nastro metrico e righello

Figura 1: unità "tavola di legno"

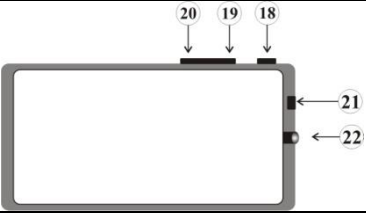


[10]	Scala con cursore per la posizione del vibratore
[11]	Vibratore
[12]	Bacinella contenente acqua
[13]	Copertura di plastica
[14]	Dispositivo per regolare l'altezza del vibratore
[15]	Laser 2 (Lunghezza d'onda, $\lambda_L = 635 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
[16]	Campione dell'acqua per l'esperimento
[17]	Cilindro graduato da 500 ml

Figura 2: unità "sorgente laser / vibratore"

Descrizione dell'apparato

a) Tablet usato come generatore di onde sinusoidali

	[18]: Interruttore di accensione
	[19]: Tasto di aumento del volume
	[20]: Tasto di diminuzione del volume
	[21]: Ingresso alimentazione
	[22]: Presa per lo spinotto audio del cavo proveniente dal sistema di controllo del vibratore [5]
Figura 3: Interruttori e prese del tablet	

- Note
- Mantenere il tablet sempre sotto carica.
 - Premere delicatamente l'interruttore di accensione *una volta* per mostrare lo schermo iniziale.
 - Mantenere il volume di uscita al massimo usando il tasto di aumento del volume [19].





			
Tocca e trascina l'icona [23] per sbloccare		Dai un colpetto sull'icona [24] per avviare il generatore di onde sinusoidali	

Figura 4: Schermate iniziali del tablet

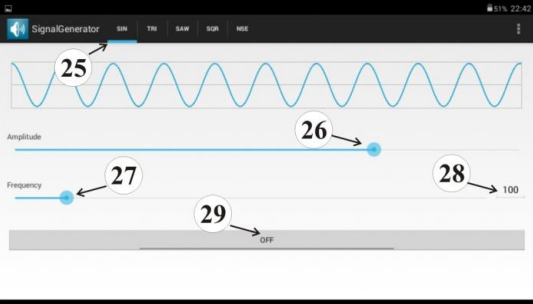
	[25]: Selettore della forma d'onda (mantenere sempre su "SIN")
	[26]: cursore regolatore dell'ampiezza
	[27]: cursore regolatore della frequenza
	[28]: Display del valore della frequenza (in Hz)
	[29]: Indicatore di stato e interruttore "OFF" – Il generatore di onde sinusoidali è spento "ON" - Il generatore di onde sinusoidali è acceso

Figura 5: L'app del generatore di onde sinusoidali

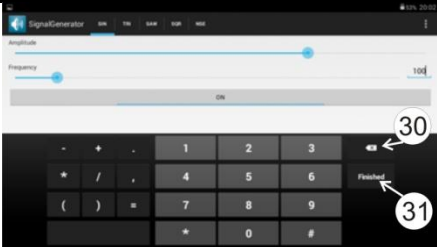
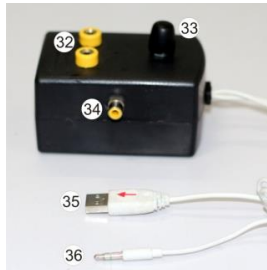

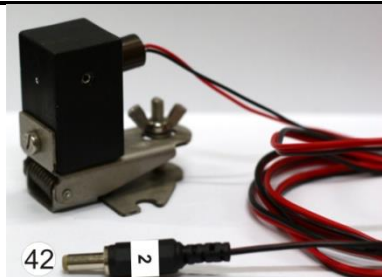

	<i>Per variare la frequenza</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Dai un colpetto sul display del valore della frequenza [28] (Fig. 5) per visualizzare il tastierino numerico • Usa il tasto backspace [30] per cancellare il valore della frequenza • Immetti la frequenza desiderata e premi il tasto "Finished" [31]


Figura 6: Schermo che mostra il tastierino numerico per immettere il valore della frequenza

Per variare l'ampiezza

- Usa il cursore regolatore dell'ampiezza [26] sullo schermo del tablet o la manopola [33] sul sistema di controllo del vibratore [5] per variare l'ampiezza del segnale in uscita.

b) Sistema di controllo del vibratore, multimetro digitale, alimentatore in corrente continua e le loro connessioni

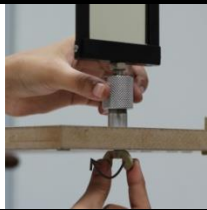
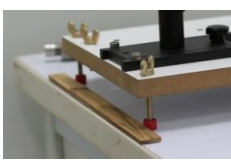
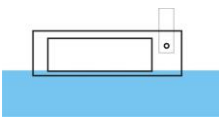
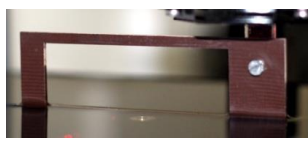

		
[32]: Prese di connessione per i cavi dal multimetro	[37]: Lamina del vibratore	Figura 10: Laser 2 [15] (montato su supporto metallico) con connettore [42]
[33]: Manopola per variare l'ampiezza dell'onda sinusoidale	[38]: Spinotto del cavo dal vibratore	
[34]: Presa per lo spinotto del cavo dal vibratore	Figura 8: Vibratore [11]	
[35]: Spinotto USB da connettere all'alimentatore in corrente continua	[39]: Selettore AC/DC (alternata / continua)	[43]: Commutatore d'intensità (mantenere su "High")
[36]: Spinotto audio da connettere al tablet	[40]: Manopola di selezione portata	[44]: Porta USB per lo spinotto USB dal sistema di controllo del vibratore
	[41]: Boccole d'ingresso	[45]: Presa per il connettore dal laser 2
Figura 7: Sistema di controllo del vibratore [5]	Figura 9: Multimetro digitale [4]	Figura 11: Alimentatore in corrente continua [8]

			
[36]→[22]	[38]→[34]	[41]↔[32]	[35]→[44] and [42]→[45]
Figura 12: Connessioni tra tablet, sistema di controllo del vibratore e alimentatore in corrente continua			

c) Sensore di luce e misuratore d'intensità luminosa

			
[46]: Apertura circolare del sensore di luce	[47]: Interruttore del misuratore d'intensità luminosa	Un becco del calibro va inserito in una fenditura sul retro del sensore di luce	Stringere la vite usando la chiave esagonale
[48]: A, B, C – selettore dei livelli di luminosità			
Figura 13: Sensore di luce e misuratore dell'intensità luminosa		Figura 14: Aggancio del sensore di luce	

Operazioni preliminari

				
Figura 15: Rimozione dello specchio di destra	Figura 16: Posizionamento dei piedini della tavola di legno a contatto con la striscia di legno	Figura 17: Posizione corretta della lamina del vibratore e manopola nera di regolazione dell'altezza		

1. Scollega il connettore del laser 1 e inserisci quello del laser 2 nella presa dell'alimentatore di corrente. Attenzione: il laser 2 è stato già regolato per uno specifico angolo di incidenza. Non toccare la sorgente laser!
2. Rimuovi lo specchio di destra usato in E-I svitando il bullone sotto la tavola di legno (Fig. 15).
3. Rimuovi lo schermo usato in E-I e inserisci il sensore di luce nel supporto che sosteneva lo schermo. Colloca il tutto tra le guide del binario [7].
4. Posiziona la tavola di legno [6] in modo tale che i suoi piedini tocchino la striscia di legno fissata sul tavolo di lavoro (Fig. 16).
5. Solleva il lembo laterale della copertura di plastica sull'unità della sorgente laser / vibratore. Versa nella vaschetta esattamente 500 ml di acqua [12] utilizzando il cilindro graduato [17].
6. Accendi il laser. Fai in modo che il raggio riflesso del laser colpisca il sensore di luce. Muovendo avanti e indietro lungo il binario il sensore di luce, la macchia luminosa del laser deve muoversi verticalmente senza formare un angolo con la verticale. Piccoli spostamenti laterali della tavola di legno e spostamenti verticali del sensore di luce ti permetteranno di posizionare la macchia del laser esattamente sull'apertura del sensore. Il valore indicato dal misuratore d'intensità luminosa sarà massimo quando il centro della macchia del laser coincide con il centro dell'apertura.
7. La lamina del vibratore è stata già sistemata nella corretta posizione verticale. **NON ruotare** la manopola nera di regolazione dell'altezza del vibratore [14] (Fig. 17).
8. Il vibratore può essere spostato avanti e indietro in orizzontale. Il cursore indica la posizione del vibratore sulla scala graduata [10].
9. Durante la presa dei dati, mantieni abbassato il lembo laterale della copertura di plastica per proteggere la superficie dell'acqua dalle correnti d'aria.

Esperimento

Parte C: Misura dell'angolo θ tra il raggio del laser e la superficie dell'acqua

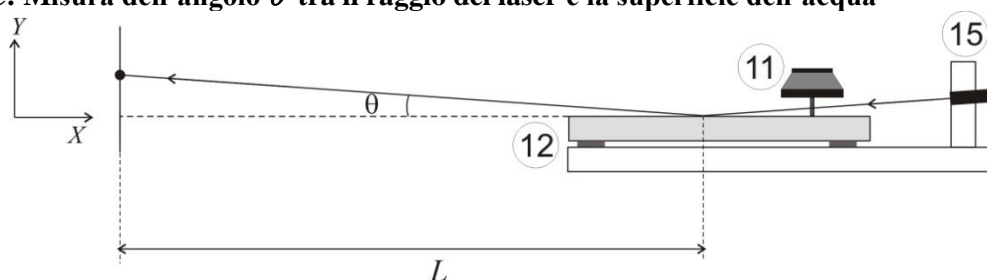


Figura 18: Misura dell'angolo θ

Compito	Descrizione	Punti
C1	Muovi il sensore di luce lungo il binario scegliendo degli opportuni intervalli. Prendi nota dello spostamento lungo X del sensore di luce e il corrispondente spostamento Y della macchia del laser. Riporta questi dati nella Tabella C1. (Scegli il range appropriato nel misuratore di intensità luminosa.)	1.0
C2	Traccia un opportuno grafico (nominalo Grafico C1) e dalla sua pendenza ricava l'angolo θ in gradi.	0.6

Parte D: Determinazione della tensione superficiale σ del campione di acqua fornito

Dalla teoria della diffrazione si può ricavare l'espressione

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_L} \sin\theta \sin\gamma \quad (1)$$

dove $k = 2\pi/\lambda_w$ è il numero d'onda delle onde di tensione superficiale,

λ_w e λ_L sono rispettivamente le lunghezze d'onda delle onde di tensione superficiale e del laser.

L'angolo γ è la distanza angolare tra il massimo centrale e il massimo del prim'ordine (Fig. 19).

La frequenza di vibrazione (f) delle onde è legata al numero d'onda k dall'espressione

$$\omega = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} k^q \quad (2)$$

dove $\omega = 2\pi f$, ρ è la densità dell'acqua e q è un numero intero.

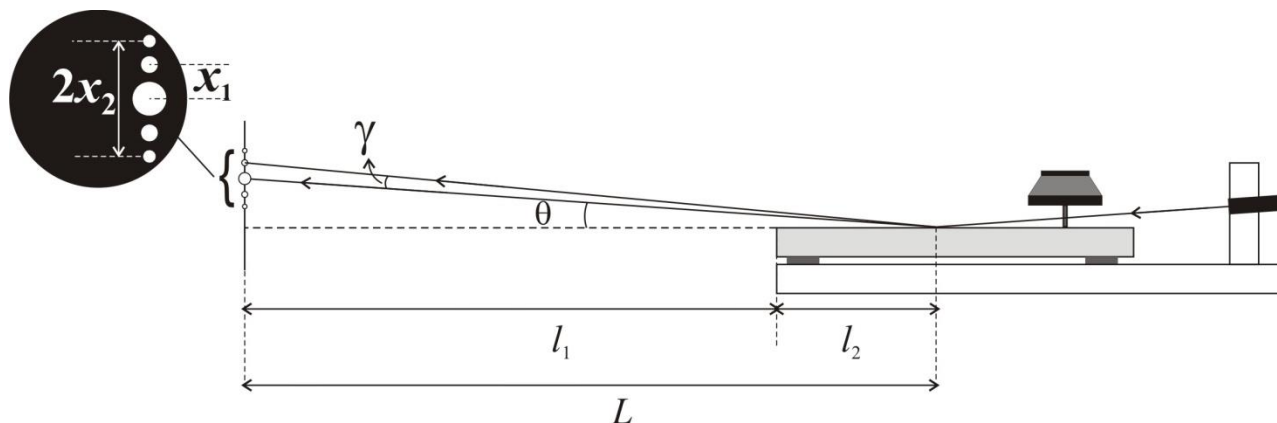


Figura 19: Schema dell'apparato

1. Fissa il sensore di luce [2] alla fine del binario nella posizione indicata nella Fig. 1 (usando il bullone di serraggio sulla tavola che sosteneva lo schermo). Seleziona un opportuno intervallo nel misuratore di intensità luminosa.

Compito	Descrizione	Punti
D1	Misura la lunghezza l_1 tra l'apertura del sensore di luce e il bordo esterno della vaschetta contenente acqua. Osserverai un segmento dove il laser colpisce la superficie dell'acqua. Il centro di questo segmento è il punto di incidenza del laser. Misura l_2 , la distanza di questo punto dal bordo. Ricava L e riportalo sul tuo foglio risposte.	0.3

2. Metti il cursore di posizione del vibratore a 7.0 cm sulla scala graduata orizzontale [10].
3. Regola la frequenza dell'onda sinusoidale a 60 Hz e regola la sua ampiezza in modo tale che i massimi del primo e del secondo ordine della figura di diffrazione siano chiaramente visibili (Fig. 19, dettaglio).

Compito	Descrizione	Punti
D2	Misura la distanza tra il massimo del second'ordine posto sopra e quello posto sotto il massimo centrale. Da questa calcola x_1 . Riporta i tuoi dati nella Tabella D1. Ripeti il procedimento aumentando la frequenza scegliendo appropriati intervalli.	2.8
D3	Individua appropriate variabili per costruire un idoneo grafico la cui pendenza fornisca il valore di q . Riporta i valori di queste variabili nella Tabella D2. Traccia il grafico per trovare q (contrassegna Grafico D1). Scrivi l'equazione 2 usando un appropriato valore intero per q .	0.9
D4	Considerando l'equazione 2, individua variabili appropriate per costruire un idoneo grafico la cui pendenza fornisca il valore di σ . Riporta i valori delle variabili nella Tabella D3. Traccia il grafico per trovare σ (contrassegna Grafico D2). ($\rho=1000 \text{ kg.m}^{-3}$).	1.2

Parte E: Determinazione della costante di attenuazione δ e della viscosità η del liquido

Le onde di tensione superficiale sono smorzate a causa della viscosità dell'acqua. L'ampiezza dell'onda, h , decresce esponenzialmente con l'aumentare della distanza, s , misurata a partire dal vibratore

$$h = h_0 e^{-\delta s} \quad (3)$$

dove h_0 è l'ampiezza dell'onda nella posizione del vibratore e δ è la costante di attenuazione.

Sperimentalmente, l'ampiezza h_0 è legata alla tensione elettrica (V_{rms}) applicata al vibratore dall'espressione

$$h_0 \propto (V_{\text{rms}})^{0.4} \quad (4)$$

La costante di attenuazione è legata alla viscosità del liquido dall'espressione

$$\delta = \frac{8 \pi \eta f}{3 \sigma} \quad (5)$$

dove η è la viscosità del liquido.

1. Metti il cursore di posizione del vibratore a 8.0 cm.
2. Regola la frequenza a 100 Hz.
3. Regola il sensore di luce usando il calibro in modo tale che il massimo del prim'ordine della figura di diffrazione cada sull'apertura.
4. Regola l'ampiezza dell'onda sinusoidale (V_{rms}) in modo tale che la lettura nel misuratore di intensità luminosa sia 100 sulla portata A. Annota il valore di V_{rms} che corrisponde alla lettura del misuratore dell'intensità luminosa.
5. Allontana il vibratore dal punto di incidenza del laser ad intervalli di 0.5 cm e regola il valore di V_{rms} in modo da ottenere sempre il valore 100 sul misuratore di intensità luminosa. Annota i corrispondenti valori di V_{rms} .

Compito	Descrizione	Punti
E1	Riporta nella Tabella E1 i dati registrati in ogni intervallo.	1.9
E2	Traccia un grafico idoneo (contrassegna Grafico E1) e dalla sua pendenza determina la costante di attenuazione δ .	1.0
E3	Calcola la viscosità η del campione d'acqua fornito.	0.3