

## L'uso di un sonar per studiare il moto rettilineo

### Descrizione dell'apparato sperimentale

C'è un modo semplice per descrivere il moto di oggetti che traslano in linea retta per tratti di breve lunghezza: si può usare un sonar. L'uso più noto dei sonar è quello che si fa sulle imbarcazioni per misurare la profondità dell'acqua in cui si muovono. Il sonar emette brevi pacchetti di impulsi ultrasonici, essi viaggiano nell'acqua, vengono riflessi dal fondale, tornano indietro fino all'emettitore, che ne registra l'arrivo e ne misura il tempo di viaggio. Nota la velocità con cui un pacchetto di ultrasuoni viaggia nell'acqua, la profondità si calcola così:

$$\text{profondità} = \text{tempo (di andata e ritorno)} * \text{velocità} / 2$$

Il sonar che usiamo nei nostri esperimenti, e gli oggetti dei quali studiamo il movimento, hanno l'aspetto mostrato nella prossima figura (► fig.5.app.1):

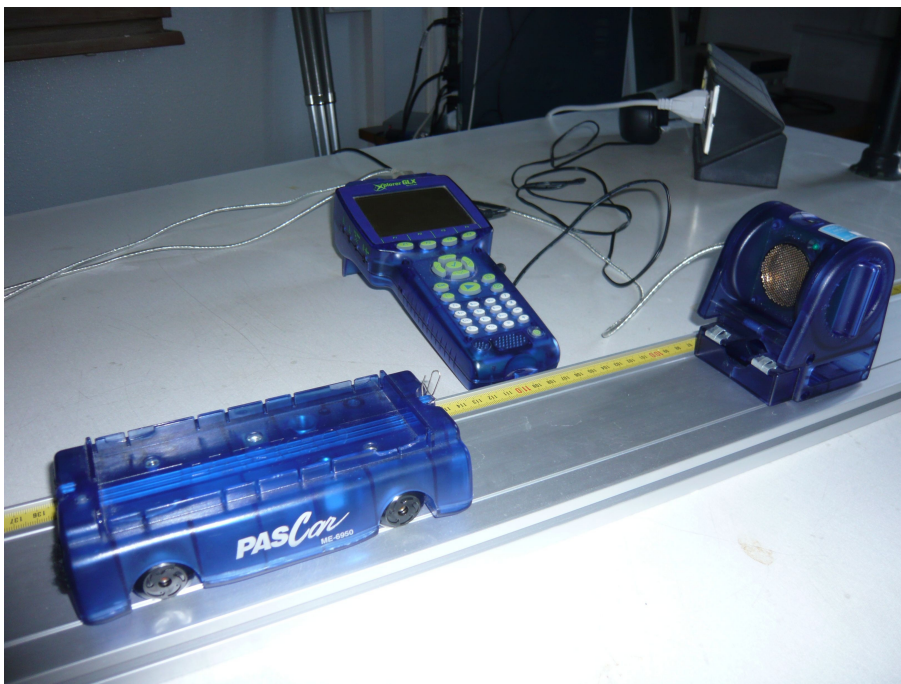


Fig.5.app.1 Come si presenta l'apparato sperimentale: carrello, rotaia e sonar

Un carrello trasla lungo una rotaia rettilinea: le sue ruote sono montate su cuscinetti a sfere, in modo da ridurre drasticamente l'attrito. Ad un'estremità della rotaia si trova il sonar, puntato verso l'estremità opposta: esso emette pacchetti di ultrasuoni la cui frequenza è di circa 49 kHz. L'orecchio umano è capace di percepire suoni la cui frequenza è compresa tra circa 20 Hz e circa 20 kHz: ecco perché alla frequenza di 49 kHz parliamo di *ultra* - suoni. La loro velocità di propagazione nell'aria è nota: circa 343 m/s quando l'aria si trova alla temperatura di 20 °C.

I dati raccolti dal sonar vengono inviati ad una scheda di acquisizione, e da questa, via cavo USB, ad un personal computer. I dati hanno la forma di una tabella tempo - posizione, che un programma di gestione può trasformare nel grafico relativo.

Un dato interessante sul funzionamento del sonar è la sua frequenza di campionamento, cioè il numero di misure di posizione che effettua ogni secondo. La frequenza di campionamento del nostro sonar è regolabile tra 10 Hz e 100 Hz: se il sonar, per esempio, è regolato in modo da campionare alla frequenza di 40 Hz, ciò significa che 40 volte al secondo esso misura la distanza del carrellino.

Un esperimento, con alcune domande

Ecco quel che si ottiene dando una piccola spinta al carrello ed acquisendone la posizione tramite il sonar (► fig.5.app.2)

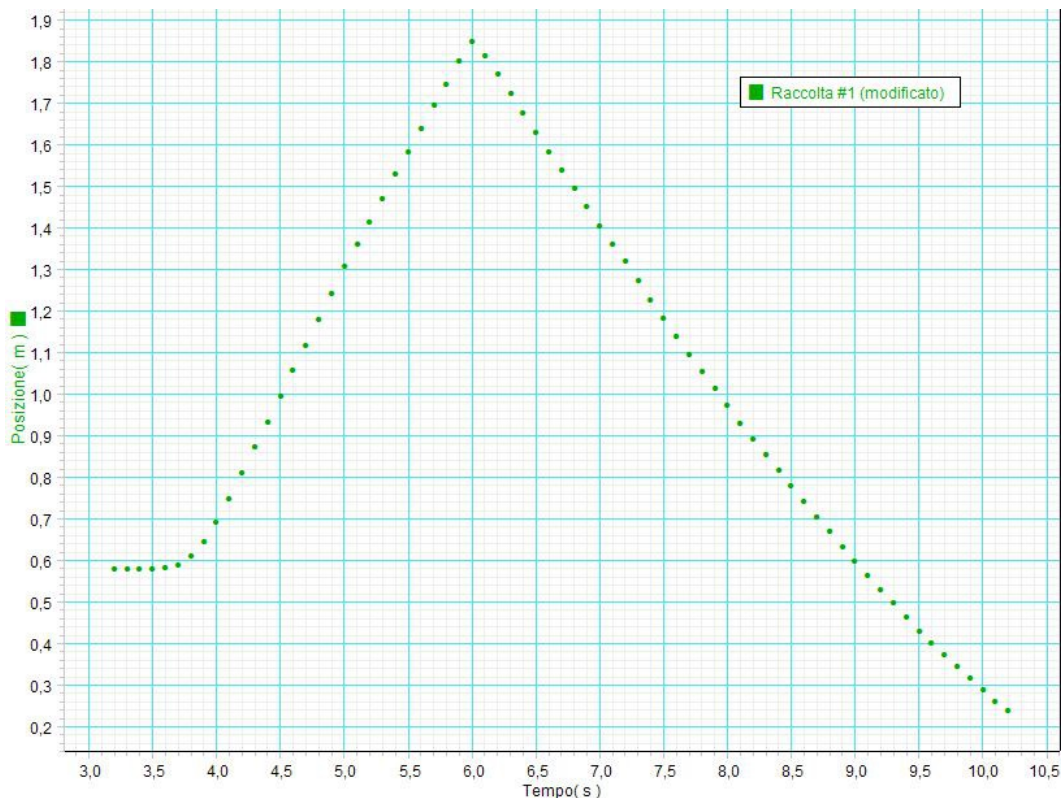


Fig.5.app.2 Un esperimento con il sonar

Il carrello, inizialmente fermo a poco meno di 60 cm dal sonar, viene messo in moto con una spinta, quindi si allontana dal sonar, fino a raggiungere l'estremità della rotaia. Qui incontra un respingente magnetico, che ne inverte la direzione del moto. Osservando il grafico tempo - posizione possiamo rispondere ad una serie di domande che riguardano il moto del carrello in questo breve intervallo di tempo. Provate a rispondere alle domande che seguono. Le risposte, nel caso ne aveste bisogno, le trovate nel prossimo paragrafo.

1. Quanto è durata la parte di esperimento mostrata nel grafico?
2. A quale frequenza funzionava il sonar?
3. Come faccio a ricavare dal grafico la frequenza di acquisizione del sonar?
4. Qual è stata la distanza massima tra il carrello e il sonar?
5. E quella minima?
6. Quanto tempo ha viaggiato il pacchetto di ultrasuoni emesso quando il carrello si trovava alla massima distanza dal sonar?

Il moto ha avuto due fasi distinte: una di andata, una di ritorno.

7. Quanto è durata la fase di andata?
8. Qual è stata la velocità media del carrello in questa fase?
9. Quanto è durata la fase di ritorno?
10. Qual è stata la velocità media del carrello in questa fase?
11. Qual è stata la velocità media del carrello nel primo secondo della fase di andata?
12. Qual è stata la velocità media del carrello nell'ultimo secondo della fase di andata?
13. Qual è stata la velocità media del carrello nel primo secondo della fase di ritorno?
14. Qual è stata la velocità media del carrello nell'ultimo secondo della fase di ritorno?
15. Qual è stata la velocità media del carrello durante l'intero esperimento?

Le risposte alle domande del paragrafo precedente

1. Quanto è durata la parte di esperimento mostrata nel grafico? Il primo dato è stato misurato all'istante 3.2 s, l'ultimo all'istante 10.2 s. La parte di esperimento mostrata dura quindi 7.0 secondi.
2. A quale frequenza funzionava il sonar? L'intervallo di tempo tra una misura e la successiva è di 0.1 s. La frequenza è il reciproco di questo intervallo, quindi 10 Hz.
3. Come faccio a ricavare dal grafico la frequenza di acquisizione del sonar? Possiamo fare, come nella risposta precedente, il reciproco dell'intervallo tra due misure successive. Oppure possiamo contare quante misure vengono fatte in un secondo. La risposta non cambia: la frequenza è 10 Hz.
4. Qual è stata la distanza massima tra il carrello e il sonar? Sull'asse delle ordinate leggiamo una distanza massima compresa tra 1.84 m e 1.86 m. Possiamo rispondere 1.85 m, con un'incertezza di un'unità in più o in meno sulla cifra di posto -2 (cioè quella dei centimetri). In realtà l'intervallo di

indeterminazione della misura è molto più piccolo, ma la scala verticale dell'immagine non ci permette di essere più precisi di così.

5. E quella minima? Possiamo rispondere 0.24 m, con le stesse avvertenze viste al punto precedente.
6. Quanto tempo ha viaggiato il pacchetto di ultrasuoni emesso quando il carrello si trovava alla massima distanza dal sonar? Il tempo di viaggio si calcola dividendo la lunghezza del viaggio per la velocità di propagazione. Se faccio 3.70 m diviso 343 m/s trovo 10.8 ms. Una buona regola empirica dice di non scrivere mai risultati con più cifre significative dei dati che abbiamo usato per calcolarli: siccome i dati hanno tre cifre significative, approssimiamo allo stesso modo il risultato. La regola funziona bene, come possiamo vedere facendo i conti in modo corretto, usando cioè gli intervalli di indeterminazione. Per quanto riguarda la velocità  $v = 343$  m/s significa che la velocità è compresa nell'intervallo  $[342,344]$ . Per quanto riguarda la distanza percorsa  $L = 3.70$  m significa che  $L$  è compreso nell'intervallo  $[3.68,3.72]$ . Il rapporto  $L/v$  è compreso allora nell'intervallo  $[3.68/344,3.72/342]$ , cioè nell'intervallo  $[10.7$  ms,  $10.9$  ms]
7. Quanto è durata la fase di andata? Dal grafico si capisce che la spinta data al carrello è durata circa mezzo secondo: è cominciata all'istante 3.5 s ed è finita all'istante 4.0 s. Da questo momento e fino all'impatto con il respingente, avvenuto all'istante 6.0 s, il carrello ha viaggiato liberamente per 2.0 s.
8. Qual è stata la velocità media del carrello in questa fase? Da  $S_1 = 0.69$  m il carrello si è spostato a  $S_2 = 1.85$  m. La velocità media è stata  $\Delta S/\Delta t = 0.58$  m/s. Se vogliamo saper quanto è grande l'incertezza dobbiamo operare sugli intervalli di indeterminazione:  $S_1$  sta nell'intervallo  $[0.68,0.70]$ ,  $S_2$  sta nell'intervallo  $[1.84,1.86]$ :  $\Delta S$ , quindi, sta nell'intervallo  $[1.84-0.70,1.86-0.68] = [1.14,1.18]$ . L'intervallo temporale  $\Delta t$  è di 2 s, praticamente senza alcuna incertezza, o per lo meno con un'incertezza molto piccola rispetto a quella che abbiamo sulla misura di posizione, quindi trascurabile. La velocità media sta quindi nell'intervallo  $[0.57,0.59]$
9. Quanto è durata la fase di ritorno? Da  $t_1 = 6.0$  s a  $t_2 = 10.2$  s, quindi 4.2 s.
10. Qual è stata la velocità media del carrello in questa fase? Da  $S_1 = 1.85$  m a  $S_2 = 0.24$  m abbiamo  $\Delta S = - 1.61$  m, quindi ...

... ormai dovrete aver capito come rispondere alle domande che restano!