



## VIDEOLABORATORIO 3

### Il teorema dell'impulso

#### Scopo del videolaboratorio

Questo videolaboratorio mira a fornire allo studente una dimostrazione pratica del teorema dell'impulso, secondo cui l'impulso della forza agente su un corpo in un dato intervallo di tempo è pari alla variazione della quantità di moto del corpo nello stesso periodo.

L'esperimento consiste nell'urto di una slitta contro un ostacolo fisso. La variazione della quantità di moto della slitta è ricavata a partire dalle misure della sua massa e della sua velocità iniziale e finale; la forza che si esercita tra slitta e ostacolo è misurata in tempo reale da un sensore di forza collegato a un sistema di acquisizione e analisi dati; l'impulso infine è ricavato da un software in grado di valutare l'integrale nel tempo della forza.

#### L'apparato sperimentale

L'esperimento è realizzato studiando il moto di una slitta collocata su una rotaia a cuscino d'aria, per minimizzare gli attriti. La posizione della slitta è registrata da un sensore di distanza collegato a un sistema di acquisizione e analisi dati online, in grado di tracciare in tempo reale il grafico delle velocità.

Giunta al termine della rotaia, la slitta urta contro un ostacolo fisso su cui è agganciato un sensore di forza di tipo estensimetrico, anch'esso collegato al sistema di acquisizione dati. La massa della slitta è determinata mediante una bilancia digitale, con un'incertezza sperimentale di 0,1 g.

#### Concetti fondamentali

Il videolaboratorio può essere utilmente impiegato per evidenziare la natura vettoriale del teorema dell'impulso. Per semplicità, questo aspetto è intenzionalmente lasciato sottinteso nel videolaboratorio. Nella spiegazione in classe, si può ricorrere all'espressione:

$$\vec{I} = m \vec{v}_2 - m \vec{v}_1$$

in cui il simbolo di vettore indica chiaramente che la sottrazione a secondo membro è da intendersi in forma vettoriale. Ponendoci in un sistema di riferimento in cui il verso positivo è rivolto verso

destra e passando ai moduli, il teorema dell'impulso per il caso specifico considerato nel videolaboratorio si può allora scrivere come

$$I = m v_2 - (-m v_1) = m v - (-m v) = 2 m v$$

dove si è posto  $v_1 = v_2 = v$ , assumendo che l'urto possa essere considerato perfettamente elastico.

#### Dati e grandezze

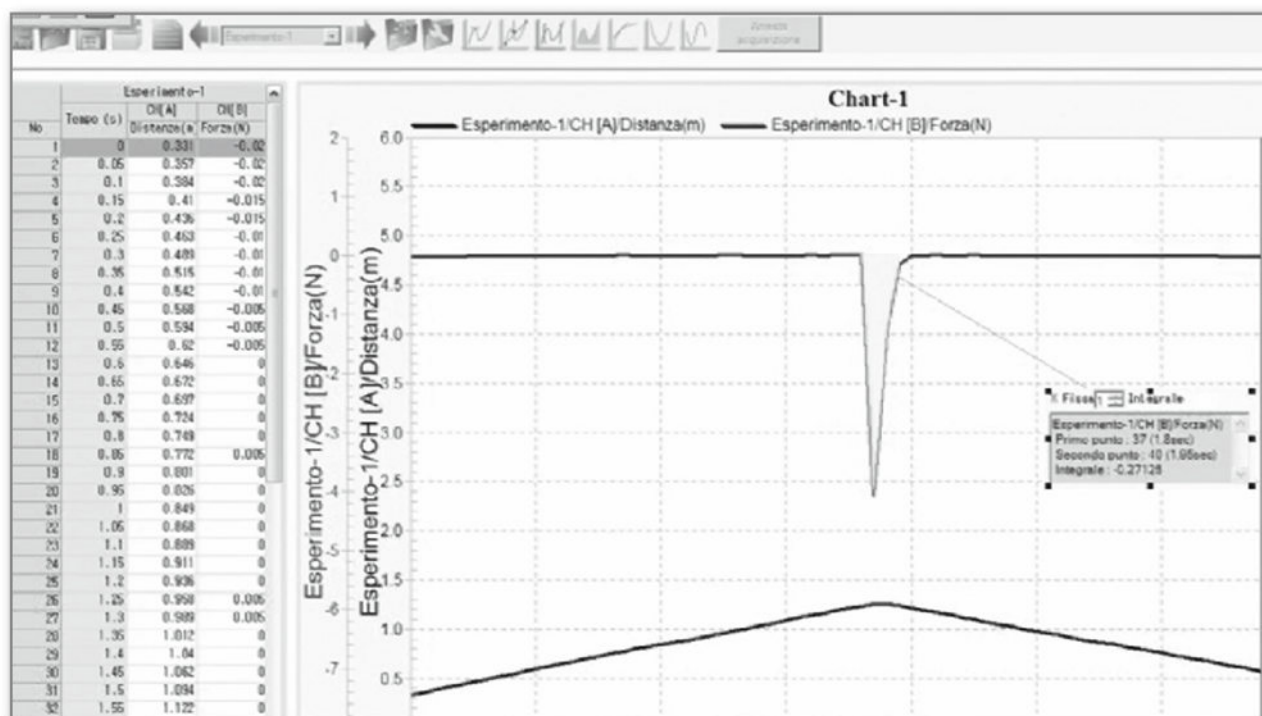
- Massa della slitta:  $(280,0 \pm 0,1)$  g.
- Velocità della slitta: 0,50 m/s (in versi opposti, prima e dopo l'urto), calcolata dal computer come pendenza della tangente alla curva oraria del moto. L'incertezza su questo valore è pari a 0,01 m/s, secondo le indicazioni del costruttore.
- Variazione della quantità di moto della slitta: 0,280 N · s, calcolata come prodotto  $m \Delta v$ . La propagazione degli errori sopra indicati per i due fattori dà un'incertezza su questo valore pari a 0,006 N · s.
- Impulso della forza esercitata dall'ostacolo sulla slitta: 0,27 N · s, stimato dal computer attraverso integrazione numerica del grafico della forza in funzione del tempo. Il software non fornisce una stima dell'incertezza su questo valore.

#### Analisi dei grafici

Per un'analisi approfondita dei grafici della posizione della slitta e della forza che si esercita tra slitta e ostacolo in funzione del tempo, si raccomanda di fermare il video al tempo 01:30.

Il grafico della posizione, o curva oraria (nella parte bassa dello schermo), è costituito da una linea spezzata. Il suo significato fisico va ricercato nella velocità costante della slitta durante il suo moto rettilineo uniforme prima di avvicinamento e poi di allontanamento dall'ostacolo. Il cambiamento di pendenza, ovvero l'apice della spezzata, corrisponde al momento dell'urto.

Il grafico della forza indica chiaramente la natura impulsiva dell'interazione, evidenziando una repentina variazione nei valori registrati dal dinamometro digitale frapposto tra slitta e ostacolo in coincidenza con l'istante dell'urto. La sua forma è approssimativamente triangolare; l'impiego di un software di integrazione numerica per valutare l'area da calcolare consente di ottenere un valore affidabile nonostante le irregolarità.



### Approfondimenti

Compatibilmente con le esigenze didattiche e con il livello di approfondimento desiderato, è possibile proporre alla classe una riflessione sulla differenza tra urti elastici e anelastici. L'urto trattato in questo videolaboratorio viene assunto per semplicità come completamente elastico, ma in realtà è inevitabilmente anelastico: lo dimostra la forma asimmetrica del grafico della forza esercitata tra slitta e ostacolo in funzione del tempo. Se si fossero misurati con sufficiente precisione i valori della velocità della slitta prima e dopo l'urto, si sarebbe certamente notato che la velocità di allontanamento finale è leggermente inferiore, in valore assoluto, rispetto alla velocità di avvicinamento iniziale.

Un altro tema che è possibile approfondire riguarda la stima del valore dell'integrale della forza senza l'ausilio di un software. In prima approssimazione, si può pensare di trattare l'area incognita approssimandola a un triangolo. In generale, per misurare l'area di una figura piana di forma irregolare è opportuno considerare due poligoni semplici, di area direttamente calcolabile, tali che il primo sia completamente inscritto nella regione di area incognita e il secondo sia circoscritto a essa. Poiché l'area da determinare è certamente compresa tra quelle dei due poligoni, una stima prudente è data dalla media aritmetica delle aree dei due poligoni, caratterizzata da un'incertezza pari alla semidifferenza tra i due valori.