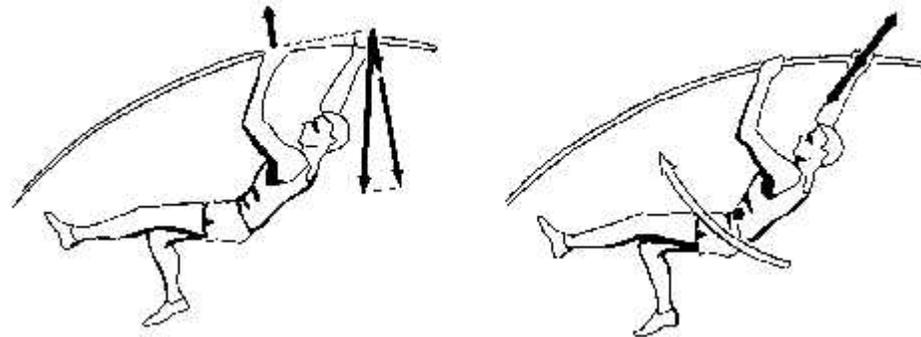


Fisica degli Sport Lezione 5:

Centro di Massa

Aggiornata al 7/4/1999

Lo sport che meglio illustra l'efficacia del principio di Conservazione dell'Energia è il salto con l'asta. Un'analisi dettagliata dal punto di vista della dinamica di tutte le forze coinvolte nel salto con l'asta sarebbe effettivamente troppo impegnativa. La figura sotto mostra soltanto due delle forze coinvolte al momento del salto: sulla sinistra vengono mostrate le forze prodotte dalle braccia del saltatore, mentre le forze risultanti dallo slancio delle gambe sono mostrate sulla destra. Queste forze cambieranno costantemente intensità e direzione per tutto il salto; registrarle tutte è quasi impossibile.



Invece un'analisi superficiale del moto complessivo che utilizza il principio di Conservazione dell'Energia è banale. Supponendo che l'asta e il saltatore si comportino in modo tale che l'energia cinetica sia convertita perfettamente in energia potenziale gravitazionale, possiamo scrivere immediatamente:

$$\frac{1}{2} mv^2 = mgH$$

$$H = v^2/2g$$

Ovviamente si tratta di un'approssimazione. Nella realtà né l'asta né il saltatore si comporteranno così perfettamente. Ciò nonostante tale approssimazione è comunque utile a fornirci un limite superiore alla prestazione del salto con l'asta. Dunque qual è la risposta? Gli specialisti di salto con l'asta a livello mondiale raggiungono quasi le prestazioni dei velocisti, perciò assumeremo che $v \sim 10$ m/s. Quindi, prendendo $g = 10$ m/s², troviamo subito che $H = 5$ m.

Ma il record mondiale di salto con l'asta è sui 6 m... cosa sta succedendo? Il calcolo doveva essere un limite superiore basato su una prestazione perfetta... dov'è che abbiamo sbagliato?

Per capirlo dobbiamo rispondere alla domanda "qual è la h di mgh ?" Abbiamo inserito l'altezza del salto, H , nell'espressione dell'energia potenziale senza preoccuparci di cosa si intendesse per h ; da dove viene misurata h ? Dopo tutto, un saltatore potrebbe essere alto 2 m; se misurate h dai suoi piedi otterrete una risposta assai diversa che se la misurate dalla sua testa.

Si viene a scoprire che esiste un punto ben definito da utilizzare ogni volta che si misura la h di mgh e questo punto è...

Il Centro di Massa

Il Centro di Massa di un oggetto è un punto teorico che rappresenta la posizione media di tutta la massa presente nell'oggetto. Che cosa vuol dire? Immaginate di dividere il vostro corpo in tanti pezzettini. Tracciate un vettore posizione verso ciascun pezzo e poi moltiplicate ogni vettore per la massa del suo pezzo. Adesso prendete il vettore somma di tutti i vettori posizione e dividetelo per la massa totale del vostro corpo. Il risultato sarà un unico vettore posizione diretto verso un singolo punto: il Centro di Massa. E' il punto attraverso il quale la forza di gravità agisce su di un corpo. Per quanto riguarda la gravità, voi siete una massa concentrata in un punto coincidente con il Centro di Massa del vostro corpo. (Il CM viene anche chiamato Centro di Gravità.)

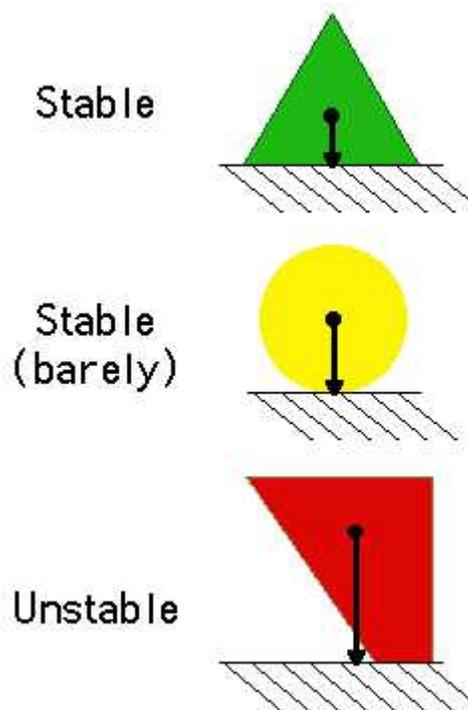
Dal momento che il CM è il punto su cui agisce la gravità, appare chiaro che l'altezza che dovrebbe andare nell'espressione dell'energia potenziale gravitazionale è quella del Centro di Massa. L'osservazione è giusta; quando state in piedi la vostra energia potenziale NON è zero, potreste cadere (e ad una certa età ci si può pure rompere una costola!), perché quando state in piedi il vostro CM NON è al suolo. Il Centro di Massa di una persona media che sta "sull'attenti" è posto sulla linea mediana del corpo al 56% circa della sua altezza (misurata dal suolo). E' pressappoco la posizione dell'ombelico, più o meno ad 1 m da terra.

Riconsideriamo il nostro calcolo sul salto con l'asta. Ciò che abbiamo calcolato è l'altezza cui si eleva il CM del saltatore durante il salto. Ma il suo CM parte da terra? No! Parte dall'altezza di 1 m circa. Quindi, se il vostro CM parte da 1 m e si alza di 5 m, finirete

con l' avere il vostro CM a 6 m dal suolo... quasi come l'attuale record mondiale. Guarda caso, questo significa che non c'è molto spazio per un miglioramento nel salto con l'asta; gli atleti si stanno già avvicinando al massimo teorico. Tale analisi coinvolge anche il nostro amico che salta. Adesso capiamo perché dovevamo mettere $(H + c)$ nella parte destra dell'equazione descritta nella [Lezione 4](#): è l'altezza alla quale viene innalzato il CM dalla posizione di piegamento.

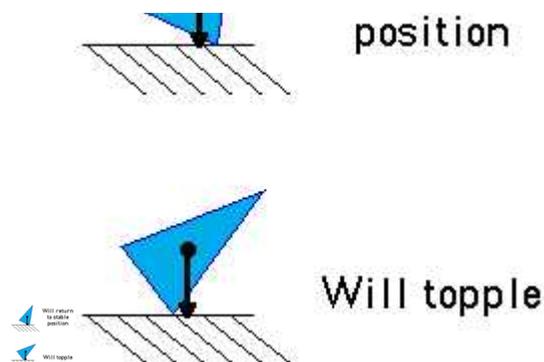
Ci sono diversi modi di localizzare il Centro di Massa di un oggetto. Un modo (molto più semplice del metodo descritto sopra) è tenere un oggetto sospeso per un punto. Siccome la forza di gravità agisce sul CM, l'oggetto si fermerà con il CM direttamente sotto il punto di sostegno. Se disegnatte una linea verticale sull'oggetto e poi lo fate pendere da un punto diverso, ripetendo la procedura, le due linee si incroceranno sul CM.

Forse l'applicazione più ovvia del CM negli sport è l'equilibrio: un oggetto (o una persona) starà in equilibrio se il suo CM si trova sopra la base d'appoggio, altrimenti cadrà. Nel disegno a destra vengono mostrati tre oggetti di forma diversa. I Centri di Massa delle forme sono indicati con puntini neri, insieme al vettore della forza di gravità. Nel caso del triangolo, il CM è direttamente sopra la base d'appoggio, per cui l'oggetto è stabile. Per quanto riguarda il cerchio, il CM si trova di nuovo sopra la base, ma in questo caso la base è così piccola (si tratta di un solo punto) che, se c'è anche un po' di pendenza della superficie su cui è appoggiato, il CM NON si troverà più sopra la base e quindi l'oggetto rotolerà. Su una superficie perfettamente piana (o con dell'attrito sufficiente ad impedire il rotolamento) il cerchio rimarrà stabile... ma a malapena! Il quadrilatero rosso, come vediamo, è instabile perché il suo CM non si trova sopra la base. Vedete che se giacesse su uno dei suoi lati sarebbe stabile?



Will return to stable

Stabilire quanto premere qualcosa per farlo cadere è un'altra applicazione del CM. A sinistra abbiamo un diagramma che mostra come un oggetto cadrà, una volta che viene inclinato abbastanza da far sì che il suo CM non si trovi più sopra la sua



base (originale). Più ampia è la base, o più basso è il CM, più difficile sarà farlo cadere (una base più ampia E' meglio!). Ecco perché, per esempio, i cronisti sportivi parlano del basso Centro di Massa di Barry Sanders. Barry è (relativamente) basso per il suo ruolo e le sue gambe hanno molta più massa della parte superiore del suo corpo. Entrambe queste cose rendono il suo CM più basso rispetto alla media. Ciò è in parte il motivo per cui è così difficile da placcare e può cambiare direzione così rapidamente senza cascare.

E' una cosa fissa? Il vostro CM è "incollato" all'ombelico? No! La posizione del CM dipende dalla forma dell'oggetto. Se tale forma cambia, il CM si sposterà. Questo è un punto molto importante quando si parla di sport.

Due punti importanti riguardo il CM

1. Il Centro di Massa di un oggetto **NON** deve per forza essere collocato all'interno dell'oggetto fisico. Un esempio di questo può essere un anello: il CM di un anello è collocato al centro del foro circolare dentro l'anello, ma non c'è "anello" là *cioè* non c'è alcun materiale in quella posizione.
 2. La posizione del CM non è fissa. Se l'oggetto cambia forma, allora il CM si sposterà.
-

Discuteremo ciascuno di questi punti uno dopo l'altro, ponendoli in relazione con i movimenti specifici dei vari sport. Il primo punto, che il Centro di Massa non deve necessariamente essere collocato dentro un oggetto, può essere illustrato da un esempio fondamentale in cui la comprensione dei principi fisici coinvolti è servita a spiegare una prestazione sportiva particolarmente brillante. E' la storia di...

Il Salto in Alto e il Fosbury Flop

ovvero: "Il salto che ha fatto il giro del mondo"

Nel salto in alto lo scopo è quello di oltrepassare l'asticella con l'intero corpo senza toccarla. Nel saltare, il corpo riceve un'energia potenziale gravitazionale mgH , dove, come abbiamo appena detto, H è l'altezza raggiunta DAL CENTRO DI MASSA. Tuttavia, la posizione del corpo rispetto all'altezza del CM dipende dalla tecnica impiegata. Il salto in alto, dunque, dovrebbe essere analizzato considerando il CM; se il CM si abbassa rispetto al corpo, si può guadagnare più altezza con la stessa quantità d'energia. A destra viene mostrata una serie di stili che sono stati impiegati nel salto in alto. Dovrebbe essere chiaro, semplicemente dando un'occhiata alle figure, che l'altezza raggiunta dal CM nel superare l'asticella in un salto valido, varia in modo considerevole da stile a stile. Non stupisce che la successione storica degli stili mostra una tendenza a ridurre l'altezza del CM sopra l'asticella. Il primo stile ad essersi sviluppato è lo stile a forbice (il secondo dall'alto). Vedete che il CM,

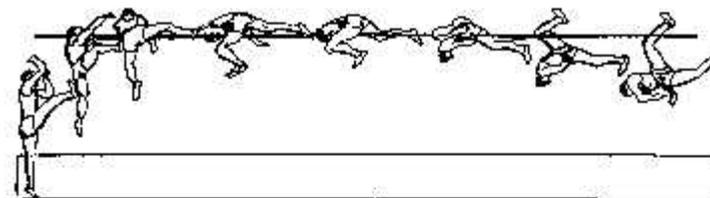


Figure 16-10. The straddle style.

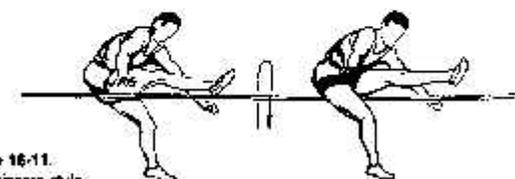
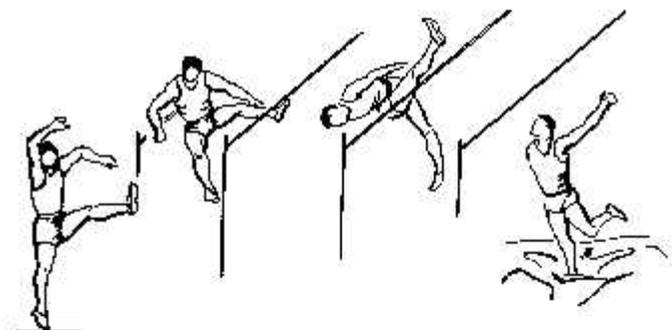
Figure 16-11.
The scissors style.

Figure 16-12. The Eastern cutoff style.

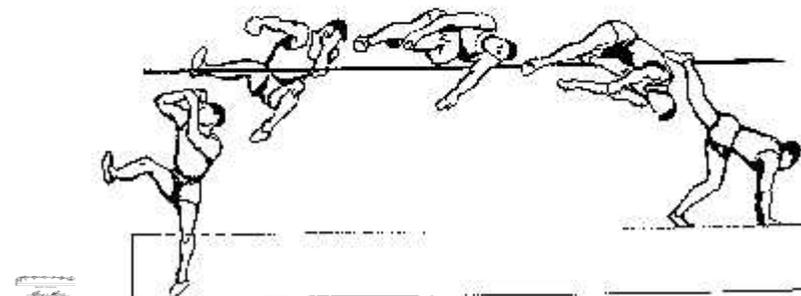
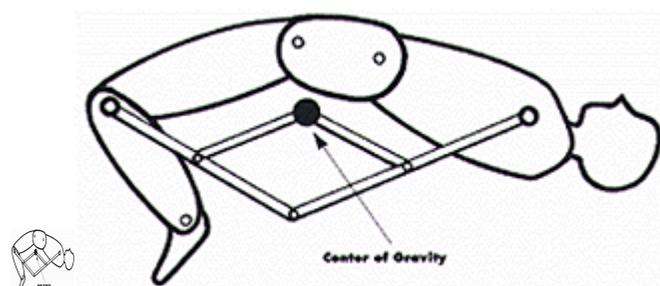




Figure 16-13. The Western roll style.

con questo stile, passava un bel po' sopra l'asticella; infatti, la distanza tra il CM e l'asticella di solito era sui 25-30 cm. Il secondo nell'evoluzione degli stili fu essenzialmente una modifica di quello a forbice. Era lo stile detto Eastern Cutoff (il terzo dall'alto), in cui il corpo viene fatto ruotare su un fianco per abbassare il CM. In linea di principio può essere uno stile molto efficace, ma in pratica le contorsioni richieste sono talmente estreme che il CM di solito passa a 15-20 cm sopra l'asticella. La prima seria innovazione dopo lo stile Eastern Cutoff fu lo stile Western Roll (in basso). Questo stile permetteva al saltatore di mantenere il CM quasi sempre entro un margine di 15 cm dall'asticella. Non era solo l'ignoranza della Fisica che permetteva a questi stili apparentemente scadenti di fiorire. Notate che i primi stili consentivano al saltatore di atterrare più che altro sui piedi (e sulle mani, nel caso del Western Roll). Le prime postazioni del salto in alto erano poco più che mucchi di segatura e offrivano scarsa protezione all'atleta in caduta. Quindi, anche se fossero già stati sviluppati degli stili avanzati, non sarebbero stati realizzabili in pratica. Il primo stile di salto in alto moderno fu lo stile Straddle (in alto). Potete vedere che questo stile permette al CM di passare senz'altro molto vicino all'asticella, ma notate anche che il saltatore atterra in una posizione piuttosto vulnerabile e richiede la protezione di una postazione ben ammortizzata. Per quanto riguarda lo stile Straddle standard, il CM passa a circa 10 cm dall'asticella. Questa tecnica può essere modificata sfiorando l'asticella con il corpo in uno stile chiamato Drape-Straddle; il risultato è che il CM può passare ad appena 5 cm dall'asticella.



Tutto questo ci porta alle Olimpiadi del 1968 a Città del Messico, quando un allora sconosciuto saltatore dell'Università dell'Oregon chiamato Dick Fosbury venne fuori dal nulla per stracciare il record olimpico e portarsi a casa una medaglia d'oro. Fosbury impiegò uno stile (all'epoca) non convenzionale che adesso porta il suo nome: il Fosbury Flop.

Il Fosbury Flop utilizza una posizione del corpo simile a quella mostrata nel riquadro sopra. La cosa importante da notare è che il Centro di Massa del corpo è effettivamente fuori e SOTTO al volume corporeo. Ciò significa che il CM può davvero passare SOTTO l'asticella del salto in alto anche se ogni parte del saltatore vi passa sopra. Dal 1968 in poi praticamente tutti gli specialisti del salto in alto a livello mondiale hanno adottato lo stile Fosbury Flop. Un'analisi dal punto di vista fisico ha contribuito considerevolmente al successo di questo stile, dimostrando in modo convincente la sua superiorità rispetto alle tecniche precedenti. Si può trovare una breve descrizione del modo in cui fu sviluppato il Fosbury Flop nel [Volume 2](#).

Lezione 5	<u>Lezione 6</u>
PUNTI PRINCIPALI:	ANTEPRIMA:
<ul style="list-style-type: none">• Il Centro di Massa è la posizione media della massa di un corpo; la forza di gravità opera attraverso questo punto.• La "h" di mgh è l'altezza del CM.• Il CM di un oggetto non deve per forza stare al suo interno.• Il CM dipende dalla forma; si può controllare la posizione del CM del corpo cambiando la forma di quest'ultimo.	Useremo il Centro di Massa per spiegare perché Michael Jordan sembra volare. Tratteremo anche gli effetti del CM nel salto in lungo, utilizzando i risultati per affrontare una discussione sul moto dei proiettili.