

## LE MACCHINE SEMPLICI

di Andrea Bernardoni – Museo Galileo

### LE MACCHINE SEMPLICI

Fino dai tempi più remoti l'uomo ha costruito e perfezionato strumenti per compiere i lavori di tutti i giorni come il sollevamento e lo spostamento di pesi e oggetti anche di grandi dimensioni.

In questa breve introduzione alle “macchine semplici” faremo vedere alcuni strumenti conservati presso il Museo Galileo di Firenze costruiti durante il Diciottesimo secolo per dimostrare le leggi della fisica galileiano-newtoniana.

La costruzione di questi strumenti fu avviata da Felice Fontana, il direttore dell'allora Museo di Fisica e Storia Naturale di Firenze, il quale fece realizzare numerosi apparati didattici basandosi sui manuali di fisica all'epoca più noti, come *Gli elementi di fisica* (Leida 1720-1721) del fisico e matematico olandese Willem 's Gravesande e le *Lezioni di fisica sperimentale* (Parigi 1743-1748) del fisico e matematico francese Jean Antoine Nollet.

In pochi anni anche grazie all'interessamento diretto del Granduca di Toscana, le officine del Museo costruirono tutti i più importanti apparecchi di meccanica utilizzati per lo studio e la dimostrazione di svariati fenomeni creando una raccolta che all'epoca era una delle più importanti d'Europa.

Il vantaggio meccanico dei motori semplici è facilmente sperimentabile in vari oggetti di uso comune come le forbici, la carriola, la bietta, le pinze, la strada in salita, etc.. Come esperienza di laboratorio proponiamo adesso la verifica della legge della leva data da Archimede e la dimostrazione empirica del vantaggio del piano inclinato data da Simone Stevino (1548-1620) nel Diciassettesimo secolo.

### ESPERIENZA: EQUILIBRIO DELLA LEVA

Archimede osserva e assume come evidente il fatto che due pesi uguali applicati alla stessa distanza dal fulcro di una leva sono in equilibrio.

La relazione osservata da Archimede è che, trascurando il peso della leva e gli attriti, la somma dei pesi applicati all'estremità dei bracci di una leva è equivalente ad un peso doppio applicato sul centro. Anche in questo modo il sistema resta in equilibrio.

Partendo da questa osservazione possiamo concludere che due pesi disuguali sono in equilibrio se posizionati ad una distanza dal fulcro inversamente proporzionale al loro peso.

Considerando ora che la lunghezza dei bracci di una leva è inversamente proporzionale ai pesi applicati avremo che un certo peso  $P$  applicato ad una distanza  $L$  dal fulcro, sarà equilibrato da un peso  $2P$  applicato ad una distanza  $\frac{1}{2} L$  dal fulcro.

## ESPERIENZA: IL PIANO INCLINATO DI STEVINO

Prendiamo una catena chiusa e posizioniamola sopra un piano inclinato. La catena si dispone in maniera adiacente ai due cateti inclinati e il tratto sottostante descrive una curva simmetrica in equilibrio.

Se così non fosse, a causa dello squilibrio delle forze che agiscono sul sistema, la catena inizierebbe a muoversi e il sistema darebbe luogo ad un motore perpetuo; anzi, supponendo che nel sistema non ci siano attriti, la catena inizierebbe a muoversi sempre più velocemente, il che ovviamente è un assurdo.

La simmetria della parte inferiore della catena permette a Stevino di concludere che questa può essere tolta senza alterare l'equilibrio della parte superiore. Posto quindi che i pesi dei tratti di catena adiacenti ai lati del triangolo sono proporzionali alla loro lunghezza, avremo che il peso della catena appoggiata sul cateto più lungo, che è maggiore, è mantenuto in equilibrio da un peso minore corrispondente alla catena appoggiata sul cateto più corto. Se perturbiamo questo equilibrio, la catena scivola via.

In questi termini la relazione che determina l'equilibrio sul piano inclinato può essere espressa come  $F/P = h/l$  dove "F" è la forza necessaria a mantenere in equilibrio il lato lungo della catena e corrisponde al peso del lato corto, "P" è il peso della catena sul lato lungo, "h" è l'altezza del piano inclinato e "l" è la lunghezza del piano inclinato. La dimostrazione di Stevino determina empiricamente questa relazione senza fare ricorso alla matematica.

## LA LEVA

Nei *Problemi di meccanica* attribuiti ad Aristotele (384 – 322 a.C.) si ha la prima spiegazione teorica delle macchine semplici, tuttavia è con Archimede (c.287 – 212 a.C.) che viene formulata la legge che mette in relazione la distanza dal fulcro della forza che si imprime sulla leva con la distanza del peso da sollevare. In altre parole l'equilibrio di una leva si ha quando i prodotti della forza applicata e del peso da sollevare, con le rispettive distanze dal fulcro, sono uguali.

Le leve sono suddivise in tre categorie. Il primo ha il fulcro inserito tra il carico da sollevare e il punto di applicazione della forza. Su un piano ideale, cioè prescindendo dal materiale con il quale questa è costruita, il vantaggio meccanico è dato dalla lunghezza del braccio di applicazione della forza, che deve essere maggiore di quello sulla quale è applicato il carico da sollevare.

La leva di secondo genere ha la forza resistente applicata tra il fulcro e la forza motrice. Il vantaggio meccanico anche in questo caso dipende dalla lunghezza del braccio di applicazione rispetto a quello del carico, quindi, più il carico è vicino al fulcro maggiore è il vantaggio della leva.

La leva di terzo genere ha il punto di applicazione della forza tra il fulcro e il carico e per il suo azionamento necessita l'applicazione di una forza maggiore rispetto a quella esercitata dal carico da sollevare. Questo tipo di leva non porta vantaggi sul piano meccanico, tuttavia costituisce uno strumento importante perché su di essa si basa la costruzione di utensili

molto utili come: tutti i tipi di pinze a molla, la canna da pesca tradizionale e la scopa, in cui il vantaggio non si misura in termini di forza ma in termini di semplificazione dell'azione realizzata.

## IL PIANO INCLINATO

Il piano inclinato viene tradizionalmente proposto come la soluzione adottata dagli antichi egizi per sollevare i blocchi di pietra nell'edificazione delle piramidi e per l'erezione degli obelischi. Tuttavia, nonostante la sua diffusione questa tecnica di sollevamento sembra trovare la sua prima spiegazione teorica soltanto nel IV secolo nell'opera del matematico Pappo di Alessandria. Durante il Medioevo il piano inclinato fu oggetto di studio di Giordano Nemorario (sec. XIII) ma sarà con Galileo Galilei (1564 – 1642), nel XVII secolo, che si giungerà ad una sua descrizione accurata con il riconoscimento che nel suo funzionamento non si può prescindere dall'azione dell'attrito.

Il vantaggio meccanico portato dal piano inclinato consiste nello scaricare una parte del peso da sollevare sull'ipotenusa del triangolo da esso descritto. Sul piano ideale, cioè escludendo l'azione dell'attrito, lo spostamento del carico su una superficie inclinata richiede l'applicazione di una forza proporzionata alla componente del peso parallela all'ipotenusa; il vantaggio meccanico è quindi determinato dal rapporto tra la lunghezza del lato inclinato e l'altezza del lato in verticale; per dirla in termini semplici, per trasportare un peso ad una certa altezza, minore è l'inclinazione della salita da percorrere minore sarà la forza da esercitare. Tuttavia alla riduzione di inclinazione corrisponderà un aumento della distanza da percorrere in salita.

## IL CUNEO

Se si combinano due piani inclinati unendoli lungo la base si ottiene il cuneo. Il vantaggio di questa macchina semplice risiede nella scomposizione di una forza verticale applicata sulla base, nelle due forze componenti che agiscono in maniera perpendicolare alle superfici inclinate. Il vantaggio meccanico del cuneo è dato dal rapporto tra l'altezza e la base. Alcuni degli utensili più comuni che sfruttano il principio di funzionamento del cuneo sono il chiodo, l'ascia, la bietta e alcune antiche presse per la spremitura.

## LA VITE

Se il piano inclinato viene avvolto lungo uno dei suoi cateti si ottiene il disegno della vite: un cilindro, con una linea elicoidale marcata sulla superficie esterna determinata dall'avvolgimento dell'ipotenusa che rappresenta il passo di una filettatura.

L'invenzione di questa macchina semplice è tradizionalmente attribuita ad Archimede, tuttavia il suo primo inventore, secondo Pappo di Alessandria, fu il matematico e astronomo greco Apollonio di Perga vissuto tra il 256 e il 170 a.C..

Una spiegazione grafica molto efficace della potenza della vite si trova nel primo dei due codici di Leonardo da Vinci conservati presso la Biblioteca Nazionale di Madrid, nel quale si vede come la potenza di un martinetto

a vite dipende dall'inclinazione del filetto, mostrando come questa corrisponda all'ipotenusa di un triangolo di altezza pari a quella della vite del martinetto.

## PULEGGIA

L'ultima macchina semplice descritta sempre nei *Problemi di meccanica* aristotelici è la puleggia. Questo dispositivo sembra non essere stato conosciuto dagli Egizi e si pensa che la sua introduzione e sviluppo risalga al periodo greco-romano. Nel *De architectura* di Vitruvio e nella *Meccanica* di Erone troviamo la descrizione della puleggia composta applicata nei sistemi di sollevamento.

La puleggia singola non offre teoricamente nessun vantaggio meccanico, ma trovava impiego come dispositivo per la riduzione dell'attrito nei sistemi di traino indiretti; in quei casi cioè, nei quali le funi dovevano svoltare intorno a punti fissi. Per avere un vantaggio meccanico la puleggia deve essere senza vincolo rigido e lasciata libera di scorrere sulla corda; in questo modo, anche se la lunghezza della corda da tirare raddoppia, si ha il dimezzamento della forza necessaria per sollevare il peso.

Le pulegge semplici, fisse e mobili, possono essere combinate insieme per formare sistemi di tiro composti. L'efficienza di questi dispositivi, denominati paranchi o taglie, aumenta ad ogni inserimento di una puleggia mobile. Il vantaggio meccanico, in termini di riduzione del peso da sollevare, è controbilanciato da un maggiore dispendio di lavoro in termini di "metri di corda" da movimentare per sollevare il carico e dal peso delle pulegge mobili.

## Conclusioni

Le macchine semplici che abbiamo visto, o motori primi come talvolta sono chiamate, sono parte essenziale di tutti i dispositivi meccanici sviluppati dall'uomo e basta guardarsi attorno per ritrovarli, per esempio, nelle colossali gru contrappesate o nelle giostre del luna park, così come nei dispositivi che utilizziamo quotidianamente come le forbici o l'interruttore elettrico.