



## 6. Le macchine ad acqua

### Le invenzioni di Leonardo

#### Risultato

Progettare modelli di semplici macchine ad acqua, descriverne il funzionamento e i principi fisici

#### Attività

1. Predispone rappresentazioni grafiche applicando norme e regole relative al modello da costruire
2. Descrive le varie fasi di lavoro in modo organico e sintetico per costruire una macchina
3. Utilizzando strumenti adeguati e adottando un metodo di lavoro corretto e sicuro, costruisce quanto progettato

#### Competenze

- Progettare macchine semplici ad acqua
- Tagliare e i pezzi necessari alla costruzione di un modello di macchina ad acqua
- Descrivere il modello utilizzando schemi e tabelle
- Riconoscere in un disegno le parti principali di una macchina ad acqua

#### Pre-requisiti

- È in grado di descrivere una macchina
- Legge un disegno
- Taglia il legno o altro materiale utilizzando il disegno

#### Contenuti

- Definizione di macchina
- Evoluzione storica delle macchine ad acqua
- Principi fisici alla base del funzionamento di una macchina
- Funzionamento di una macchina ad acqua

#### Modalità formative

- Lezione dialogica
- Analisi di laboratorio
- Lavoro di gruppo
- Attività operativa

#### Modalità di valutazione

- Relazione tecnica delle esercitazioni svolte
- Test
- Prove strutturate

#### Competenze certificate

È in grado di progettare, costruire, spiegare il funzionamento di una macchina ad acqua utilizzando il modello

## Suddivisione in moduli e UD

| Mod. | Unità didattica                          | Obiettivi   | Contenuti   | Metodologia e strumenti   |
|------|--|---|---|---|
| 1    | <b>Le fonti di energia</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esprimere il concetto di energia</li> <li>• Evidenziare trasformazioni di energia</li> <li>• Concetto di macchine</li> </ul>                           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le prime macchine</li> <li>2. Energia dall'acqua</li> <li>3. Le fonti di energia attuali</li> </ol>                             | Libri di testo<br>Diagrammi ad albero<br>Aerogrammi<br>Quaderno di lavoro |
|      | <b>Principi di fisica delle macchine</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definire una forza</li> <li>• Rappresentare una forza</li> <li>• Definire il principio di inerzia</li> <li>• Definire il lavoro e l'energia</li> </ul> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le forze</li> <li>2. I vettori</li> <li>3. Lavoro ed energia</li> <li>4. Trasformazioni energia</li> </ol>                      | Lavoro di gruppo<br>Quaderno di lavoro                                    |
|      | <b>Le macchine semplici</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenere una macchina semplice</li> <li>• Disegnare una leva</li> <li>• Riconoscere il tipo di leva in oggetti quotidiani</li> </ul>                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le macchine semplici</li> <li>2. La leva</li> <li>3. Tipi di leve</li> <li>4. Il piano inclinato</li> <li>5. La vite</li> </ol> | Libri di testo<br>Diagrammi ad albero<br>Aerogrammi<br>Quaderno di lavoro |
| 2    | <b>Storia dell'idraulica</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definire i principali passaggi storici</li> <li>• Individuare tipi di energia per il funzionamento di un mulino</li> </ul>                             | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Storia dell'idraulica</li> <li>7. Mulino galleggiante</li> <li>8. Mulino ad acqua</li> </ol>                                    | Libri di testo<br>Diagrammi ad albero<br>Aerogrammi<br>Quaderno di lavoro |
|      | <b>Mulino per cereali</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Individuare le principali parti di un mulino e il suo funzionamento</li> </ul>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>9. Mulino per cereali</li> </ol>   | Individuare le principali parti di un mulino e il suo funzionamento       |

### Attività nel centro di educazione ambientale di Serravalle

Mostra dei modelli delle macchine ad acqua

Schede per l'analisi del funzionamento delle principali macchine

La Fabbrica dell'Acqua

## Capitolo 1

# Le fonti di energia



*Figura 1 - La forza umana fu l'unica fonte di energia usata per costruire le piramidi lavoravano 100.000 persone*

Prima che l'uomo imparasse ad addomesticare gli animali e a utilizzarne la forza, l'unica sua fonte d'energia erano i suoi muscoli.

Quando era necessaria una forza maggiore di quella che un individuo poteva fornire, si presentavano due alternative: riunire l'energia di molti uomini per esercitare una forza su un solo oggetto o servirsi di congegni meccanici, per trasformare una piccola forza agente per un lungo tratto in una grande forza operante per un piccolo tratto; si poteva anche ricorrere all'uso di entrambi questi sistemi.

Pur con qualche limitazione, il ricorso all'unione delle forze individuali è stato applicato in ogni fase di sviluppo sociale: la caccia, l'agricoltura, l'irrigazione e l'edilizia sono esempi di compiti che hanno richiesto un'accurata organizzazione dell'energia umana per il compimento d'un lavoro in un tempo prestabilito.

Per quel che concerne l'edilizia, la costruzione delle piramidi dimostra che una innumerevole quantità di uomini poteva sostituire in modo soddisfacente la mancanza di macchinario; in una situazione meno spettacolare, l'uso della corvée per la costruzione di strade non cessò, in alcune parti d'Europa, prima della metà del diciannovesimo secolo d.C. Un'istituzione particolarmente caratteristica del mondo antico era la schiavitù. Facilmente se ne esagera l'importanza: gli schiavi di cui parlano la letteratura classica e le iscrizioni, lavoravano nella maggior parte in piccoli gruppi, svolgendo la stessa funzione economica degli uomini liberi. Inoltre, l'impiego di gruppi di schiavi in vaste proprietà agricole, un tempo prevalente fra i Romani, cessò di esserlo appena diminuì il numero degli schiavi forniti dalle conquiste e aumentò di conseguenza il loro prezzo. Non ci fu, tuttavia, fino al 1795 una valutazione statistica del danno economico causato dal fatto che il terrore fosse l'unico incentivo al lavoro: in quell'anno un'indagine



svolta sulle piantagioni dell'India Occidentale appurò che uno schiavo rendeva al massimo la metà d'un uomo libero.

### Le prime macchine

Fra i congegni meccanici ideati per aiutare la forza dell'uomo, la leva è di gran lunga il più importante, e il suo principio sta alla base di quasi tutte le macchine. La sua origine è sconosciuta, e la sua legge non fu enunciata fino ai tempi d'Archimede. Tuttavia, gli uomini primitivi scoprono che si potevano rimuovere i corpi pesanti collocando sotto di essi un'asta rigida poggiante su un fulcro fisso, situato relativamente vicino al corpo stesso, ed esercitando una pressione sull'estremità libera dell'asta. Archimede si rese perfettamente conto dell'enorme forza che una leva può generare: "Datemi un punto d'appoggio e solleverò il mondo." Anche altri quattro congegni meccanici, che avevano relazione con la leva, furono molto sfruttati nell'antichità. Perfettamente descritti nella Meccanica di Erone d'Alessandria, scritta nel primo secolo d. C. Sono il cuneo, la vite, la puleggia multipla e la carrucola. Tutti si fondano sullo stesso principio della leva: una piccola forza che agisce a una grande distanza è trasformata in una grande forza che agisce su una piccola distanza. Detto in altro modo: maggiore è il lavoro che si deve compiere più grande è la distanza richiesta.

*Figura 2 - Schiavi al lavoro per costruire il palazzo di Sennacherib (704 a.C.) . È possibile vedere l'utilizzo della leva*

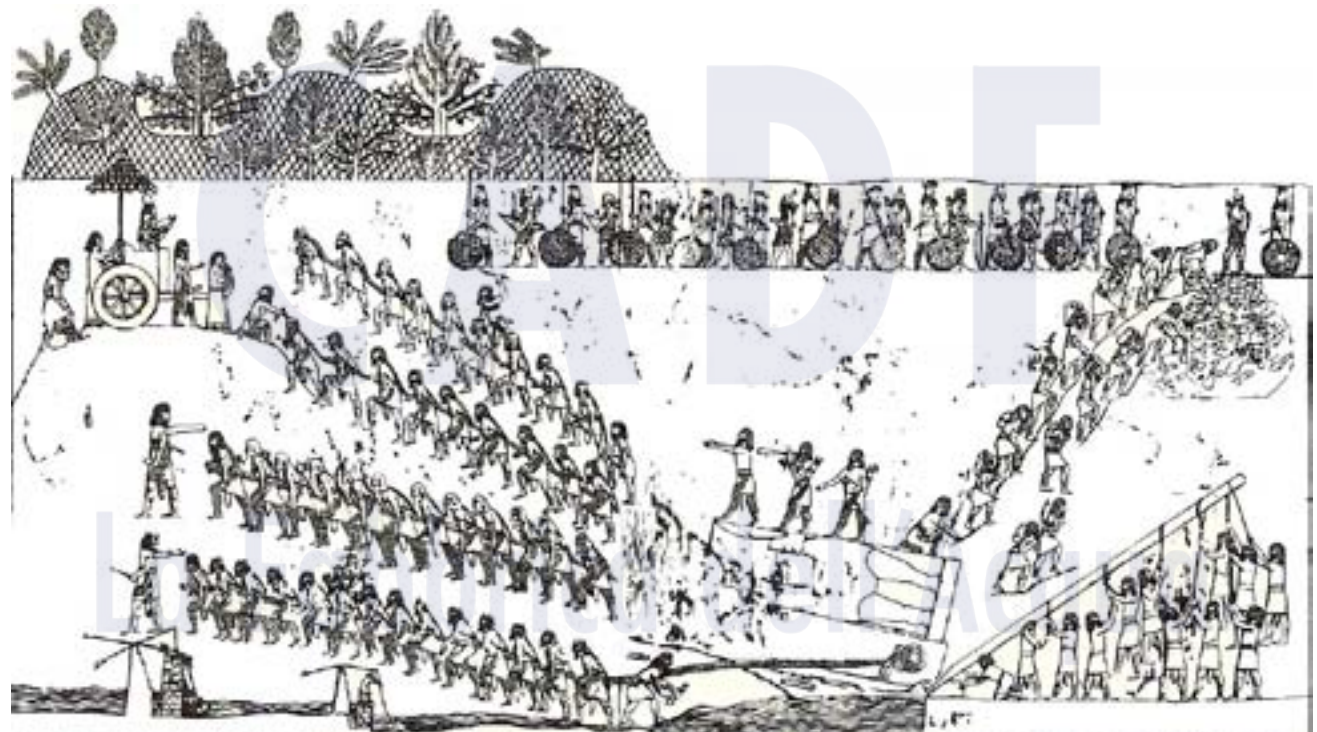




Figura 3 - Arco turco in fase di lavorazione per tiri a lunga distanza

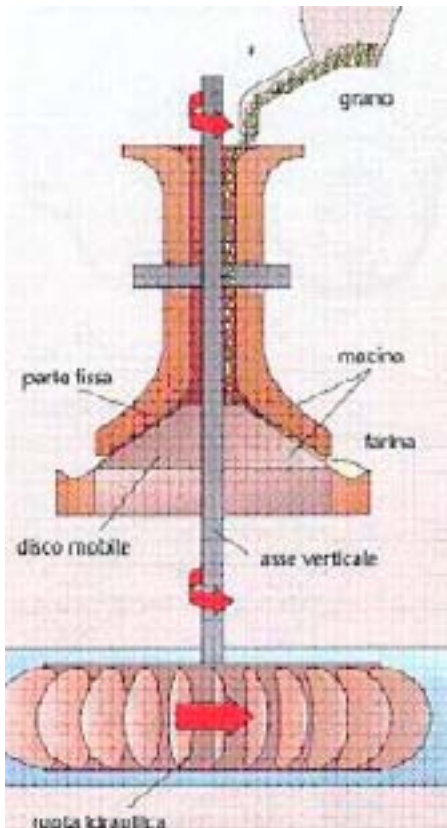


Figura 4 - Mulino ad asse verticale

Dai tempi più antichi la molla, della quale vi sono innumerevoli esempi in natura, è stata il più importante mezzo per accumulare energia e rilasciarla immediatamente al momento necessario. La sua prima applicazione conosciuta e d'immutata importanza per molti secoli fu l'arco, usato per lanciare frecce durante la caccia e in battaglia. La prima inequivocabile rappresentazione dell'arco risale al tardo periodo paleolitico e proviene dall'Africa settentrionale. Nella sua forma più semplice l'arco consiste in una striscia di materiale elastico, come legno o corno, che gradatamente si assottiglia dal centro verso gli estremi. Per le più elaborate forme d'arco si usarono materiali diversi, incollati e legati insieme. Il piccolo "arco turco" era fatto in modo da poter essere usato per lanciare frecce stando a cavallo, e a questa caratteristica gli invasori asiatici dell'Europa dovettero molti dei loro importanti successi militari del Medioevo. Si dice che la sua origine abbia di molto preceduto quella del famoso e mortale arco da guerra inglese, che, realizzato solitamente in tasso, si ritiene abbia avuto origine nel Galles meridionale.

L'efficacia dell'arco semplice, di qualunque materiale esso sia, è limitata dalla forza delle braccia dell'uomo, e la violenza d'urto delle frecce può essere largamente contenuta da scudi e armature più pesanti. Per dare alla freccia una maggior forza di penetrazione, furono sviluppate varie forme di balestre, nelle quali la tensione era prodotta da alcuni tipi di verricelli o leve. Per tenere carica la molla fino al momento dello scatto, fu necessario un congegno di bloccaggio; benché questo avesse dato all'arma una potenza di gran lunga superiore, l'operazione di sbloccaggio, relativamente lenta, ne annullava i vantaggi.

### L'energia animale

Per molti secoli ben pochi furono i mutamenti fondamentali a questi ritrovati del mondo antico. Essi divennero sempre più importanti ed elaborati, ma l'uso del legno come principale materiale di costruzione ne limitò lo sviluppo. Il più importante mutamento avvenne nella fonte d'energia: l'energia umana fu gradatamente sostituita, prima dall'energia animale e più tardi da quella dell'acqua e del vento. I mulini azionati da asini, per esempio, erano utilizzati già nel quinto secolo a. C. per frantumare il minerale nelle miniere d'argento del Laurion, e il loro uso si estese alla macinazione del grano in Grecia verso il 300 a.c. Ma l'insufficienza dei finimenti e dei ferri da cavallo influiva profondamente sul valore economico del cavallo stesso. Un cavallo con buoni finimenti può tirare approssimativamente quindici volte di più d'un uomo, ma con finimenti del tipo di quelli usati per i buoi può tirare solo quattro volte di più. Nello stesso tempo, un cavallo costa, per l'alimentazione, circa quattro volte di più d'un uomo, che ha sul cavallo il vantaggio d'essere più adattabile. Per tali cause non vi fu un forte stimolo a sostituire l'uomo con il cavallo come fonte d'energia.

### Energia dall'acqua

Il primo mulino ad acqua di cui si abbia notizia, è il cosiddetto mulino greco o norvegese. Questo differiva dal tipo che ora ci è familiare, per l'asse non orizzontale, ma verticale: nella parte più bassa dell'asse vi era una serie di pale o palette, che erano immerse nella corrente d'acqua. Tale tipo di mulino venne usato principalmente per macinare il grano: l'asse passava verso l'alto, attraverso la macina inferiore, ed era fissato a quella superiore, che faceva girare. Mulini di questa



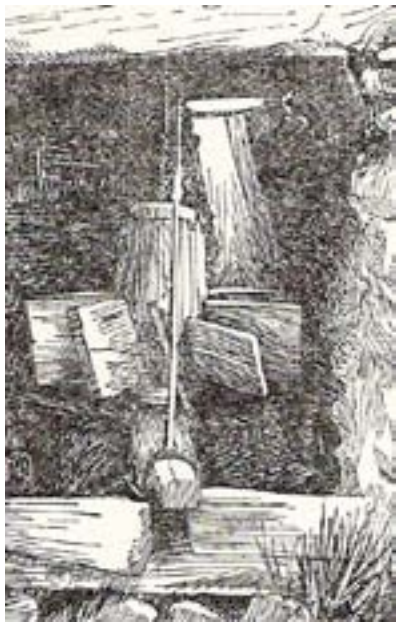


Figura 5 - Mulino ad acqua di tipo scandinavo

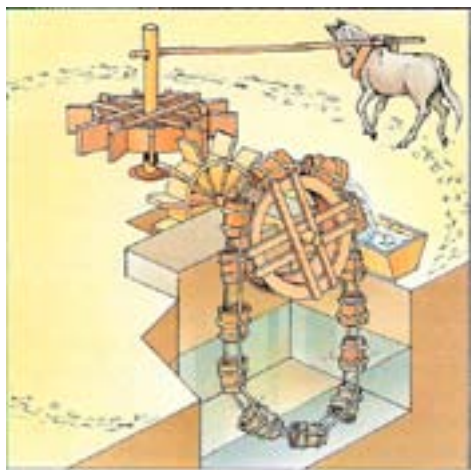


Figura 6 - Noria

specie richiedevano una corrente d'acqua rapida e avevano certamente avuto origine nelle regioni collinose del Vicino Oriente; non si ha infatti notizia che siano stati usati in Egitto o in Mesopotamia, dove i fiumi scorrono per la maggior parte lentamente e sono soggetti a grandi rapide e cascate. Plinio attribuisce l'origine dei mulini ad acqua per la macinazione del grano presumibilmente all'Italia settentrionale; questi erano probabilmente del tipo scandinavo. Essi furono largamente usati in Europa durante il Medioevo e in alcune regioni fin quasi alla fine del diciannovesimo secolo. Tali mulini possono veramente essere considerati come i precursori della turbina idraulica, invenzione del diciannovesimo secolo, e sotto questo punto di vista si può dire che siano stati usati senza interruzione per ben più di tremila anni. I mulini scandinavi avevano generalmente piccole dimensioni ed erano piuttosto lenti; la macina infatti rotava alla stessa velocità della ruota. Essi erano adatti a macinare solamente piccole quantità di grano, e il loro uso doveva essere puramente locale.

Un tipo di mulino idraulico con asse orizzontale e ruota verticale fu progettato nel primo secolo a.C. da Vitruvio. L'ispirazione può essergli venuta dal congegno per sollevare l'acqua conosciuto come "ruota persiana" o saqiya, che consisteva essenzialmente in recipienti per attingere l'acqua disposti lungo la circonferenza d'una ruota, fatta girare da forza umana o animale. Questa ruota era usata in Egitto nel secondo secolo a.C. e deve essere stata ben nota a Vitruvio, che ne descrisse una più efficiente modificazione conosciuta come "ruota a tazze". La ruota idraulica vitruviana è essenzialmente una "ruota a tazze" che funziona in modo contrario. Progettata per la macinazione del grano, la ruota era collegata alla macina mobile per mezzo di ingranaggi lignei che, generalmente, davano una riduzione di giri di circa 5:1. I primitivi mulini di questo tipo furono azionati dall'acqua che passando sotto la parte inferiore della ruota, immersa nel corso d'acqua, veniva fatta girare dalla forza della corrente. Più tardi si trovò che una ruota alimentata dall'alto era più efficiente; infatti l'acqua, cadendo sulla parte superiore della ruota, riempie alcune delle tazze poste lungo la circonferenza; il suo peso fa sì che la ruota giri; in questo modo, le tazze riempite scaricano il loro contenuto, mentre quelle vuote sono sospinte sotto la sorgente idrica.

Benché più efficienti, tali ruote richiedono generalmente un considerevole equipaggiamento sussidiario che fornisca il necessario rifornimento idrico. Comunemente s'arginava il corso d'acqua in modo da formare un bacino, dal quale un canale di scarico portava un flusso d'acqua regolare alla ruota.

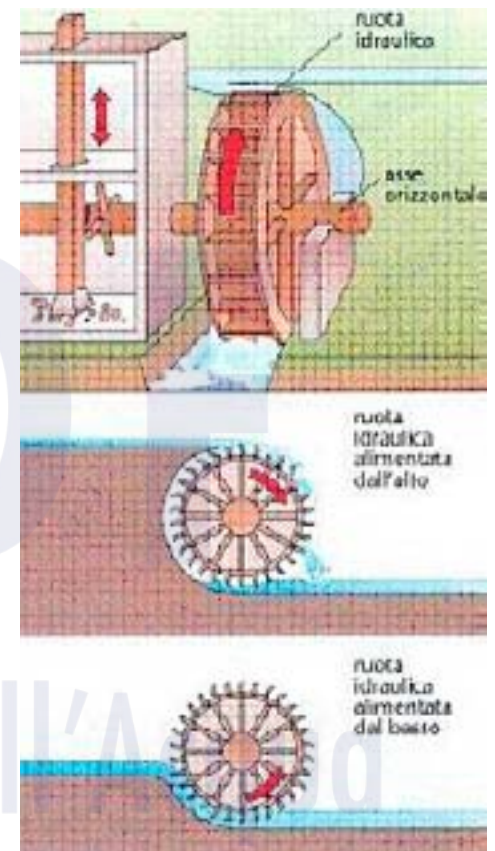
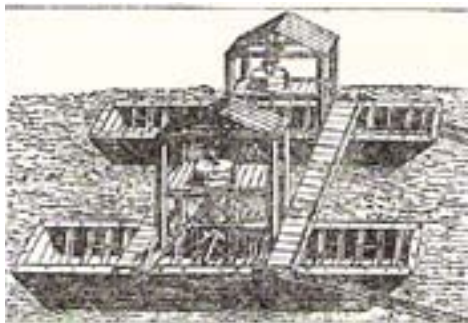


Figura 7 - Mulino idraulico ad asse orizzontale



*Figura 8 - Mulini di Barbegal: sorgevano su un pendio, al quale un acquedotto conduceva l'acqua*



*Figura 9 - Mulino galleggiante*

Questo tipo di mulino fornì una sorgente d'energia maggiore di quelle disponibili precedentemente, e non solo rivoluzionò la macinazione del grano, ma aprì la via alla meccanizzazione di molte altre operazioni industriali.

È difficile calcolare la potenza di tali mulini; essa può, tuttavia, essere approssimativamente dedotta dalla loro produzione. Un mulino romano, del tipo di quelli alimentati dal di sotto, con ruota del diametro di circa 2 metri, poteva macinare circa 180 chilogrammi di grano all'ora. Questo lavoro corrisponde, nella moderna valutazione, a circa tre cavalli-vapore. In confronto, un mulino azionato da un asino o da due uomini poteva a malapena macinare 4,5 chilogrammi all'ora.

Dal quarto secolo d. C. nell'Impero Romano furono installati mulini ad acqua di notevoli dimensioni. A Barbegal, vicino ad Arles, per esempio, verso il 310 d. C. venivano usate per la macinazione del grano sedici ruote alimentate dal di sopra, che avevano un diametro, alcune di circa 1,70 metri, altre di poco meno di un metro. Ciascuna di esse azionava, attraverso ingranaggi di legno, due macine: la capacità di macinazione complessiva era di 3 tonnellate all'ora, sufficienti al fabbisogno d'una popolazione di 80000 abitanti, e poiché la popolazione d'Arles a quel tempo non superava i 10000 abitanti circa, è chiaro che questo mulino serviva una vasta zona.

È sorprendente che il mulino di Vitruvio non fosse comunemente usato nell'Impero Romano fino al terzo e quarto secolo d.C., ma forse la spiegazione può essere ricercata nelle condizioni sociali. Essendo disponibili gli schiavi e altra mano d'opera a poco prezzo, vi era scarso incentivo ad accollarsi il necessario impiego di capitale; si dice poi che l'imperatore Vespasiano (69-79 d.C.) si sia opposto all'uso dell'energia idraulica perché questa avrebbe creato disoccupazione. Quando infine la mano d'opera scarseggiò, si trovò più facile servirsi di asini e di cavalli che costruire mulini ad acqua. Il danno scaturito da questa politica fu tuttavia dimostrato all'inizio del primo secolo d. c., allorché sia la macinazione del grano sia la panificazione s'erano già trasformate a Roma in un'industria specializzata. A quel tempo i mulini su cui Roma faceva assegnamento erano per la maggior parte azionati da cavalli e da asini, ma quando Caligola confiscò i cavalli, il sistema si rivelò insufficiente. Nel quarto secolo d.C., però, le circostanze erano radicalmente mutate; data la grande penuria di mano d'opera, la costruzione dei mulini idraulici divenne una questione di pubblica utilità. Queste circostanze (si può notare incidentalmente) furono analoghe a quelle verificatesi nel diciannovesimo secolo, quando per la mancanza di mano d'opera si registrò negli Stati Uniti un forte impulso nell'impiego di macchinari.

Considerazioni d'ordine strategico condussero allo sviluppo d'un tipo di mulino conosciuto come mulino galleggiante, impiegato da Belisario, quando gli Ostrogoti, durante l'assedio di Roma del 537, tentarono di bloccare gli acquedotti che fornivano l'acqua sia per bere sia per i mulini; i gravi inconvenienti derivati dalla cessazione d'esercizio dei mulini dimostrano di quanto essi fossero subordinati all'energia idraulica. Questi mulini galleggianti erano costituiti da una ruota idraulica posta tra due imbarcazioni, ormeggiate in una corrente impetuosa, su ciascuna delle quali si trovava un mulino; l'invenzione può essere stata suggerita da un più antico tipo di nave mossa da una ruota

a pale azionata da buoi. I mulini galleggianti si diffusero largamente in Europa e alcuni resistettero fino ai tempi moderni. I mulini azionati dalle maree sono stati usati prima dell'undicesimo secolo; un esemplare



di quest'epoca viene menzionato a Dover, ma la maggior parte di essi risale al diciottesimo secolo, benché non abbiano mai avuto grande importanza come fonti d'energia. .

Sebbene la macinazione del grano fornisse il maggior impulso allo sviluppo della ruota idraulica, questa fu largamente usata in Europa durante il Medioevo per una grande varietà di usi industriali; L'energia idraulica venne usata per azionare segherie, follatoi, frantoi di minerali, mulini a pestelli per la lavorazione dei metalli, mulini per alimentare i mantici delle fornaci, e per una grande varietà di altri congegni, ed ebbe una grande importanza sulla distribuzione geografica dell'industria. Provocò, per esempio, lo spostamento dei follatoi nelle aree rurali alla ricerca di corsi d'acqua adatti e incoraggiò la formazione di più vasti gruppi di persone che si dedicavano all'estrazione e alla lavorazione dei metalli. L'imbrigliamento dell'energia idraulica per molteplici usi diede anche impulso al miglioramento degli ingranaggi e dei macchinari in generale. L'importanza delle ruote idrauliche per la società si riflette, in quasi tutti i paesi europei, in complesse leggi relative al controllo dei corsi d'acqua; nel mondo musulmano il loro uso era strettamente limitato all'irrigazione.

La ruota idraulica conservò la sua immensa importanza industriale anche molto tempo dopo l'invenzione della macchina a vapore; infatti, all'inizio, l'uso più comune cui fu adibita non fu quello d'azionare direttamente macchinari, ma di pompare l'acqua per provvedere una sorgente costante alla ruota idraulica. Dal sedicesimo al diciannovesimo secolo, la ruota ad acqua fu la più importante fonte d'energia per l'Europa e per l'America settentrionale: Londra, per esempio, dal 1582 al 1822 pompò una riserva d'acqua dal fiume mediante ruote idrauliche installate al Ponte di Londra (p. 483). La rivoluzione industriale, ben lungi dal rendere antiquata la ruota ad acqua, portò a considerevoli miglioramenti dopo un lungo periodo di cambiamenti piuttosto modesti.

**CADF**  
La Fabbrica dell'Acqua



## Capitolo 2

# Principi di fisica applicati alle macchine

### I principi della fisica applicati alle macchine

Nel corso della sua storia, l'uomo è riuscito gradualmente a comprendere, prima per caso, poi per esperienza e molto più tardi in modo scientifico, le leggi che regolano la stabilità ed il movimento dei corpi. Da questo momento ha iniziato a costruire e ad usare macchine prima molto semplici, poi via via più complesse, utilizzando come forza motrice inizialmente l'energia umana e animale, poi quella dell'acqua e del vento, in seguito quella prodotta dal calore e dall'elettricità.

Tutte queste macchine sfruttano i principi delle forze, dell'attrito, dell'equilibrio e del movimento dei corpi.

Il moto dei corpi e le cause che lo producono sono studiati da una parte della Fisica chiamata Meccanica.

Riassumeremo qui i principi fondamentali che regolano il funzionamento delle macchine:

### Che cosa è una forza

Si chiama **forza qualsiasi causa capace di far muovere un corpo o di deformarlo**; anche il peso è una forza. Non sempre l'effetto di una forza è visibile: se noi proviamo a spingere un blocco di pietra, applichiamo ad esso una forza (la nostra spinta), ma probabilmente il blocco di pietra non si muove. Se lo stesso blocco è collocato sopra dei rulli o su di una slitta, spingendolo, esso si sposta. Il blocco di pietra appoggiato sul terreno non si muove perché il suo peso lo fa aderire così bene al terreno che l'effetto della nostra forza viene annullato da quello di un'altra forza contraria, la resistenza opposta dalla superficie del terreno. In questo caso si dice che il terreno esercita un attrito. Se proviamo a spingere un blocco di polistirolo, questo si sposta facilmente anche senza bisogno di rulli o slitte. In questo caso il minor peso del materiale determina un minor attrito del terreno.

Nella vita quotidiana usiamo spesso i termini spinta, urto, forza. Per essere più esatti avremmo dovuto sempre parlare di forza.

Vediamo alcuni esempi: prendiamo un carrello, un pezzo di plastilina fresco, e una molla.

1. Mettiamo il carrello su un piano orizzontale. Rispetto al tavolo il carrello è fermo ossia è in quiete. Per metterlo in moto dobbiamo dargli una certa spinta; questa spinta è una forza che rispetto al carrello proviene dall'esterno. Senza l'intervento di una forza che proviene dall'esterno, il carrello non si muove.
2. Facciamo muovere il carrello sul piano orizzontale, con moto rettilineo e uniforme; per fermarlo dobbiamo spingerlo o tirarlo nella direzione contraria al moto. Questa spinta è una forza che proviene dall'esterno. Per fargli aumentare la velocità dobbiamo spingerlo o tirarlo nella direzione del moto. Questa spinta è una forza; e una forza è anche necessaria per fargli cambiare direzione.

3. Mettiamo sul tavolo la plastilina, pigiamola con un dito, dall'alto in basso contro il piano. La plastilina non si può muovere perché il tavolo lo impedisce; perciò si deforma. Ciò che produce la deformazione è una forza; togliendo la forza, la deformazione rimane.
4. Fissiamo un'estremità della molla ad un sostegno rigido; tiriamo l'altra estremità. La molla si deforma allungandosi; ciò che produce la deformazione, è una forza. Togliendo la forza, la deformazione scompare.
5. Pigiamo il tavolo in un punto del piano orizzontale; il tavolo non si muove ma le assi di cui è fatto si flettono. Ciò che produce la deformazione è una forza. Togliendo la forza la deformazione scompare.

Riassumendo in fisica si definisce che cosa è una forza attraverso i suoi effetti.

1. Una forza è tutto ciò che fa variare la velocità dei corpi liberi di muoversi, che li mette in moto se sono in quiete, che li frena, li accelera o fa cambiare loro direzione se i corpi si muovono già con moto rettilineo e uniforme. Ogni variazione di velocità è una accelerazione; la frenata è una accelerazione negativa. In definitiva una forza è tutto ciò che produce nei corpi una accelerazione. A parità di forza applicata, l'accelerazione che un corpo acquista è tanto più piccola quanto più grande è la quantità di materia di cui il corpo è fatto.
2. Una forza è tutto ciò che produce deformazioni nei corpi che non si possono muovere. Le deformazioni possono essere permanenti e rimangono anche quando è cessata l'applicazione della forza, come nel caso della plastilina, oppure scompaiono col cessare della forza applicata. In questo caso sono deformazioni elastiche.

Il peso dei corpi è una forza, infatti:

1. Il peso fa variare la velocità dei corpi, mette in moto un corpo se lasciato libero di cadere, frena il movimento di un corpo, se questo è stato lanciato verso l'alto. Se il corpo è lanciato orizzontalmente, la forza peso gli fa cambiare direzione. In questo caso il corpo ha una traiettoria curva che lo porta verso terra, la sua velocità cresce nel tempo, e il moto è accelerato.
2. Il peso produce deformazione dei corpi che non si possono muovere. Le deformazioni possono essere permanenti come lo schiacciamento di un corpo sotto un peso, o lo strappo di un filo legato ad un peso troppo grande: le deformazioni possono essere elastiche come l'allungamento di una molla, o la flessione di una tavola sotto l'azione del peso.

Una forza è caratterizzata da quattro elementi, tutti indispensabili per riconoscerla ed individuarne gli effetti:

1. il punto di applicazione: rappresenta il punto teorico dove è applicata una forza nel caso dell'immagine il punto in cui è legata la corda
2. la direzione: data dalla retta passante per il punto di applicazione (nel nostro caso la corda)
3. il verso: è dato da uno dei possibili sensi in cui può agire (da sinistra a destra)
4. l'intensità: il valore della forza espresso in Newton o kg ( $1\text{Kg} = 9,8\text{ N}$ ) (nel nostro caso la forza con cui il soggetto tira la barca)

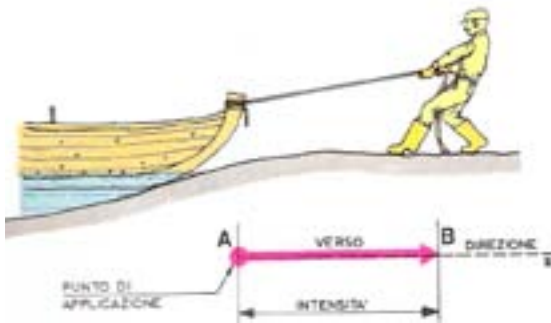


Figura 11 - Rappresentazione di una forza

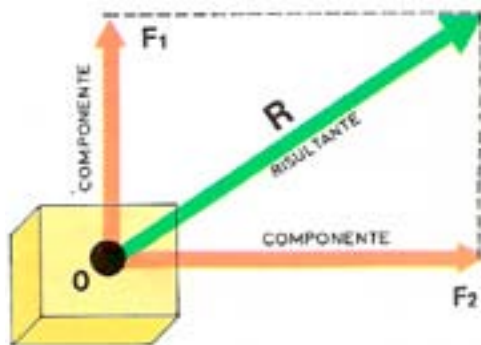


Figura 12 - Composizione di forze

Graficamente una forza può essere rappresentata da un segmento, terminante con una freccia, che parte dal punto di applicazione ed ha la direzione stabilita; il verso è indicato dalla freccia e l'intensità è indicata dalla lunghezza del segmento usato (si può stabilire, ad esempio, che 1 cm corrisponde al peso di 1 kg e così via). Se ad un corpo sono applicate più forze, il risultato è ancora una forza (risultante) che è la somma di tutte.

L'apparecchio usato per misurare le forze è una bilancia a molla chiamata dinamometro. Lo strumento è costituito da una molla che può essere tarata applicando pesi noti e rilevando i corrispondenti allungamenti. In questo modo si ottiene una scala graduata che permette di misurare direttamente una qualsiasi forza.

### L'attrito

Si chiama attrito la resistenza che un oggetto in movimento incontra a contatto con l'aria o con dei corpi. L'aereo in volo incontra l'attrito dell'aria, la nave l'attrito dell'aria e dell'acqua, l'auto l'attrito dell'aria e del fondo stradale: in un congegno meccanico l'attrito è dovuto allo sfregamento delle varie parti metalliche. L'attrito produce un effetto di riscaldamento della superficie dell'oggetto e in certi casi il calore che si sviluppa può provocare la «fusione» dell'oggetto stesso; per evitare questo inconveniente si ricorre a lubrificanti per le parti meccaniche e a speciali materiali resistenti ad alte temperature negli altri casi. L'impiego di cuscinetti a sfere, di olio lubrificante per i motori, la ricerca di forme aerodinamiche per i mezzi di trasporto sono accorgimenti volti a ridurre l'effetto dell'attrito sui corpi. Riducendo l'attrito si riduce la quantità di energia motrice e si ottiene di conseguenza un risparmio energetico.

In alcuni casi invece l'attrito è ricercato come condizione di sicurezza, come ad esempio nel caso di un veicolo che affronta una curva ad elevata velocità: se i pneumatici e la forma della carreggiata stradale non esercitano un attrito sufficiente, il veicolo sbanda e finisce fuori strada.

### Il principio di inerzia

La tendenza di un corpo in movimento a mantenere inalterata, in mancanza di attrito, la propria velocità e la propria direzione prende il nome di principio di inerzia.

Un'applicazione di questo principio avviene nel caso delle astronavi che, superata la forza di gravità terrestre e l'attrito dell'atmosfera, si trovano a viaggiare nello spazio: esse mantengono velocità e direzione costanti senza più bisogno di far funzionare i motori dei razzi.

Fin dall'antichità l'uomo conobbe, più per esperienza che in modo scientifico, il principio di inerzia e lo utilizzò per far funzionare alcune semplici macchine. Una di queste era la ruota del vasaio, che utilizzava come accumulatore di energia motrice un volano, cioè una grossa ruota di pietra o di legno, che, una volta azionata, era in grado, grazie al suo peso, di ruotare per lungo tempo prima di fermarsi, superando agevolmente l'attrito.

Il volano restituisce, sotto forma di moto rotatorio e per un tempo piuttosto lungo, l'energia assorbita per mettersi in rotazione; in tal caso si dice che il volano ha una inerzia meccanica, mentre, ad esempio, un oggetto di terracotta che scaldato si mantiene caldo per lungo tempo, ha una inerzia termica.

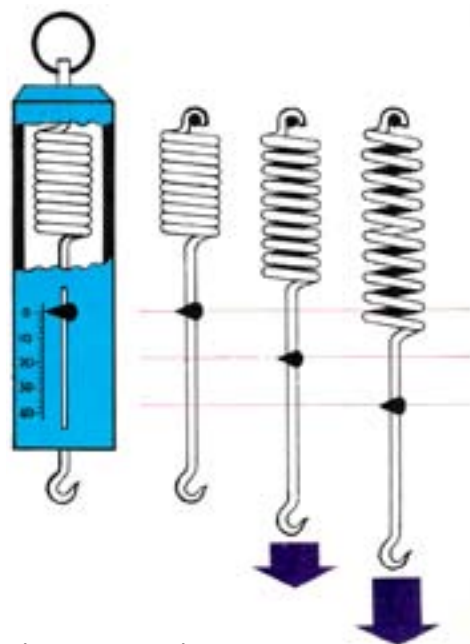


Figura 13 - Dinamometro





Figura 13 - Il mulo

### Una burla, una torre e un ciuco

Una volta, ai tempi di Calandrino, la gente si divertiva molto a fare delle burle, di cui poi tutti ridevano. Un ricco contadino, che coltivava magnifici ortaggi, li portava ogni giorno in città in due ceste sistemate sulla schiena di un asino. Per il contadino, il suo ciuco era l'essere più bello e più intelligente di questo mondo, e ad ogni occasione ne tesseva le lodi. Il ciuco e il suo padrone erano diventati la favola di tutta la città. Fu allora che un mastro muratore, robusto e buontempone, pensò di fare uno scherzo al proprietario di così meraviglioso animale. Cominciò a dire che il ciuco era degno di essere esposto, alla vista di tutti, sulla cima della torre più alta della città, e scommetteva che ce lo avrebbe portato da solo, senza l'aiuto di nessuno. Venutolo a sapere, l'ortolano ne fu lusingato, ma era sicuro che la cosa fosse impossibile. Le scale della torre erano molto ripide e il ciuco era testardo, pesante e ben pasciuto. Perciò accettò la scommessa, e tutta la cittadina si preparò alla sfida che il furbo capomastro aveva lanciato.

Giunto il giorno della scommessa e portato il ciuco ai piedi della torre, il capomastro cominciò prima di tutto con l'imbracare l'animale con delle corde come se volesse caricarselo sulle spalle. Poi cominciò a dire che effettivamente il ciuco era pesante, e che era necessario allenarsi e farsi i muscoli. Allora il capomastro, perché non scappasse, legò il ciuco imbracato a una lunga corda che pendeva dalla torre. E chiedendo scusa ai cittadini, cominciò a fare esercizio portando delle grosse pietre sulla torre, prendendole da un mucchio che stava lì vicino. Ma invece di rinforzarsi, il capomastro ad ogni viaggio appariva più stanco. La gente era delusa, l'ortolano si stropicciava le mani, ridendo in cuor suo per il denaro così facilmente guadagnato. Il mucchio di pietre era quasi esaurito quando il capomastro si avviò ancora, quasi barcollando, su per la scala. Questa volta, arrivato in cima, si affacciò e chiese con voce fioca se tutto era sempre in ordine. La piccola folla gli rispose con un « sì! » di scherno. Un attimo dopo, il ciuco, appeso alla corda, viaggiava verso la cima della torre fra le risa dei presenti, la disperazione dell'ortolano e ragli di spavento che si sentirono lontano un miglio. Al posto del ciuco scese fino ai piedi della torre una piattaforma, carica delle pietre che il capomastro aveva a poco a poco portato su in cima. Il capomastro, in vista della scommessa, aveva nascosto nella torre una carrucola e con essa si era costruito un rudimentale ascensore. Sistemato il ciuco sulla torre il capomastro, prima di scendere, buttò anche giù la corda. Così fu che l'ortolano non solo perse la scommessa, ma per riavere il ciuco dovette pagare da bere a tutti.

### Il lavoro e l'energia

Analizziamo questa storiella con gli occhi di uno scienziato. Il capomastro ha dovuto fare molti viaggi, e ogni viaggio gli è costato un certo sforzo. Naturalmente egli sapeva che, con il sistema dell'ascensore, tutti i singoli sforzi compiuti nel sollevare le pietre si sarebbero sommati fino a produrre uno sforzo maggiore, capace di sollevare il peso di qualsiasi ciuco, per quanto grosso.

Chiariamo ora il significato della parola **sforzo**, parola che abbiamo usato fin qui in maniera provvisoria, senza mai spiegarla bene. I sassi, cadendo, hanno sollevato il peso del ciuco: ma è giusto dire che essi hanno compiuto uno sforzo? Lo sforzo è in effetti la fatica che ognuno di noi prova nel compiere certe azioni. I sassi, cadendo, compiono anch'essi un'azione, ma non si può dire che facciano fatica. Oltretutto la fatica, lo sforzo, varia da persona a persona: nel sollevare lo stesso peso un uomo robusto fa poca



*Figura 15 - Sollevando la valigia si compie un lavoro reggendo la valigia no perché manca lo spostamento*

fatica mentre uno debole ne fa molta. Se però i due uomini, per sollevare quel peso, vengono pagati, essi ricevono la stessa quantità di denaro. Questo perché, fatica o non fatica, il loro **lavoro** è uguale.

C'è però da fare una precisazione. Per compiere un lavoro bisogna prima di tutto essere in grado di farlo, e questo vale sia per gli esseri viventi che per i corpi non viventi. Il capomastro può portare i sassi sulla torre se si è nutrito; un arco può scagliare una freccia se è stato teso; un autocarro può trasportare un carico in cima a una salita se è stato rifornito di benzina. Un uomo nutrito, un arco teso, un autocarro rifornito di benzina hanno la possibilità di compiere un lavoro, che si potrà svolgere se si verificano certe condizioni. L'uomo deve cominciare a muoversi, l'arco deve scattare, l'autocarro deve mettersi in moto.

Quando un corpo ha la possibilità di compiere un lavoro, si dice che possiede energia. Il capomastro ben nutrito ha energia nei suoi muscoli. L'arco teso ha energia nell'elasticità delle sue fibre. Il motore dell'autocarro ha energia nella benzina del suo serbatoio.

Se il corpo, vivente o non vivente, che possiede energia, comincia ad adoperarla, diciamo che compie un lavoro. Tra l'energia e il lavoro che si sta svolgendo c'è una relazione. Quando il capomastro comincia a trasportare i sassi in cima al campanile, l'energia contenuta nei suoi muscoli si trasforma via via nel lavoro di sollevamento dei sassi; tanto che, ad ogni viaggio, l'uomo è più affaticato. Il capomastro non può continuare senza fine a portare sassi sulla torre: ad un certo punto dovrà smettere, riposarsi e nutrirsi di nuovo.

Quando i sassi sono stati portati in cima alla torre e il capomastro è stanco, la parte di energia che resta nei suoi muscoli è quasi ridotta a zero. Ma la parte di energia che è stata liberata per compiere il lavoro di sollevamento, dove è andata a finire?

Per rispondere basta pensare alla differenza che c'è fra un sasso in cima alla torre e un sasso ai piedi della torre. Quando è in cima alla torre il sasso può cadere, mentre quando è in terra non può. Cadendo esso può sollevare, per mezzo della carrucola, almeno un peso uguale a uno zoccolo del ciuco, quindi ha la possibilità di compiere un lavoro, cioè possiede energia. In conclusione, attraverso il lavoro, l'energia posseduta dal capomastro si è trasferita un po' per volta nei sassi sulla torre. Trasportando tanti sassi, cioè sommando tanti piccoli lavori, il capomastro è riuscito ad accumulare in essi una energia sufficiente a sollevare il ciuco intero. Attraverso la burla del ciuco e del capomastro abbiamo chiarito che:

- l'energia è la capacità di compiere un lavoro;
- l'energia si trasforma in lavoro;
- il lavoro si trasforma in energia.

Riassumendo: Se si solleva un peso ad un determinata altezza si compie un lavoro. Risulta evidente che il lavoro dipende dalla forza impiegata quindi: il lavoro è dato dalla forza per lo spostamento  $L = F \times S$

Figura 16 - Apparato sperimentale per dimostrare la conservazione dell'energia

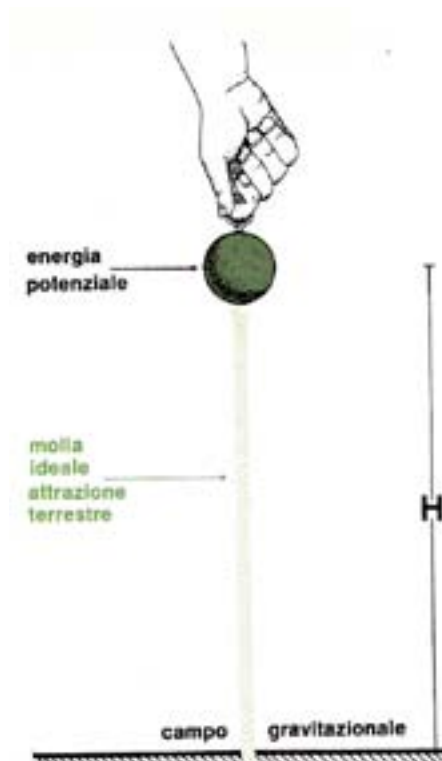
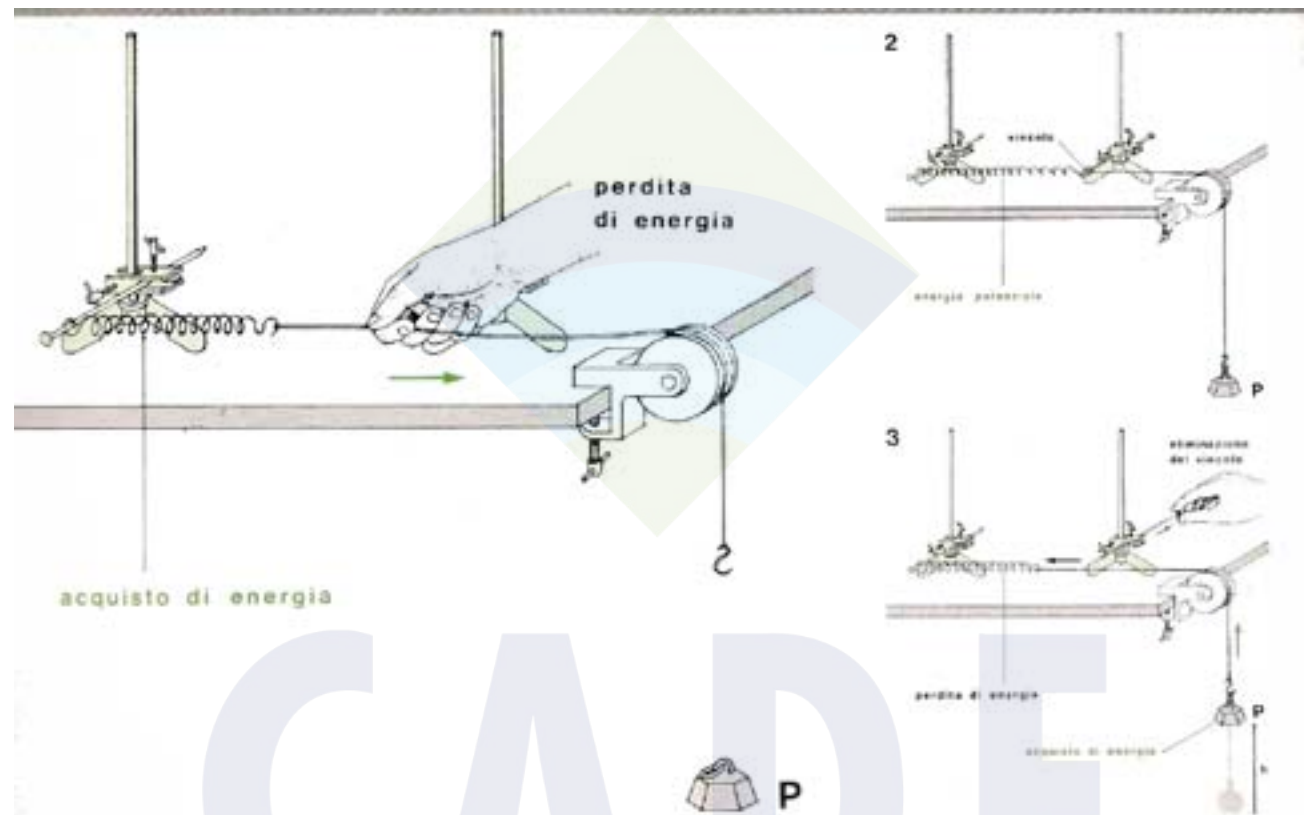


Figura 17 - Energia potenziale e cinetica



### Le trasformazioni dell'energia

1-Si monti una semplice attrezzatura, con una molla, un peso, e una carrucola come indicato nella figura. All'inizio dell'esperienza la molla, che è ancora scarica, non ha energia, e neanche il peso P che è appoggiato sul pavimento

- Lo sperimentatore comincia a tendere la molla e in questo modo un po' dell'energia dei suoi muscoli si trasforma in lavoro. Alla fine di questo lavoro l'energia dei muscoli che è stata adoperata si è trasferita nella molla sotto forma di energia dovuta all'elasticità.
- Se lo sperimentatore blocca la molla nella posizione di stiramento, con un fermo, l'energia elastica della molla può essere conservata per molto tempo.
- Se si collega la molla al corpo P, che non deve essere troppo pesante, e si toglie il fermo, la molla si contrae e solleva in alto il peso.

L'energia elastica che si libera con lo scatto della molla si trasforma in lavoro di sollevamento del peso P. Dopo alcune oscillazioni il sistema molla-peso si assesta, ma l'energia perduta dalla molla è stata acquistata



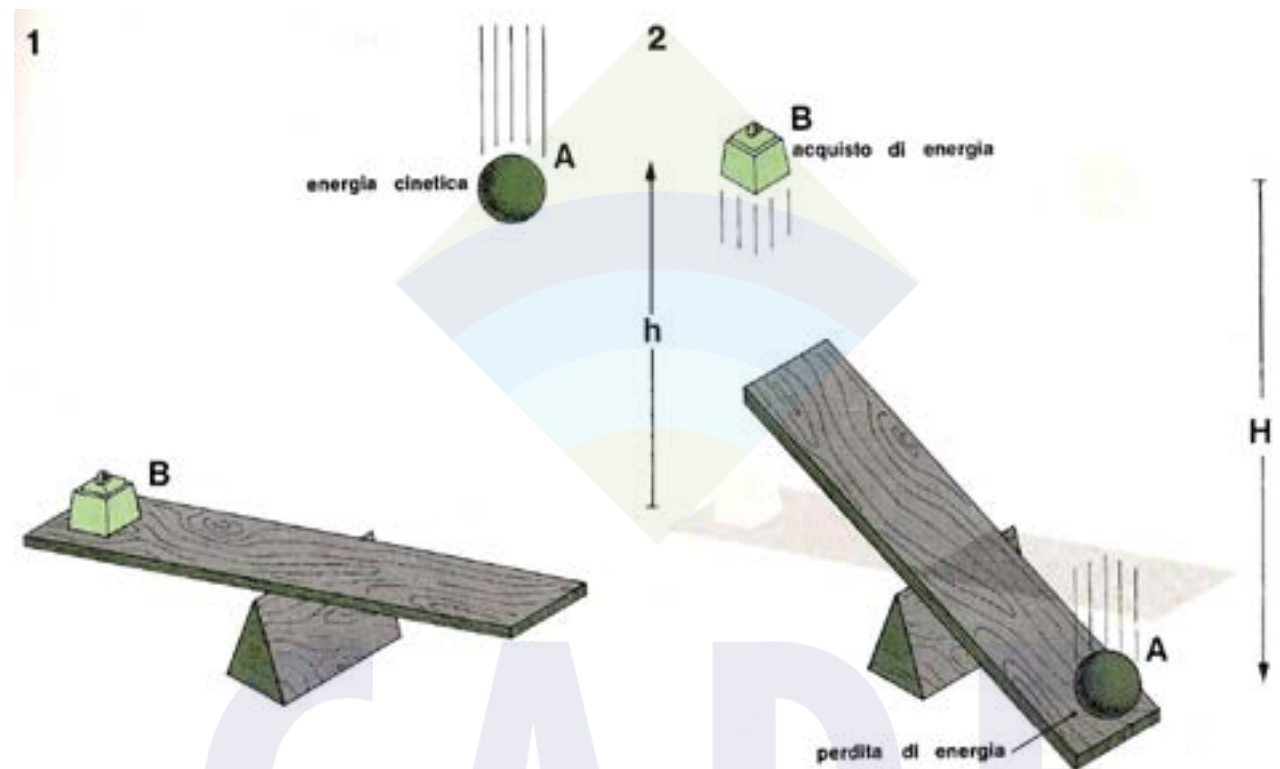


Figura 18 - Conservazione energia

dal peso P che si è fermato a una certa altezza dal suolo. Adesso il peso P ha una energia di posizione che è dovuta all'attrazione terrestre. Quando la sua posizione era a terra, il peso non poteva cadere; invece ora che è all'altezza H sul livello del suolo il peso P può cadere e compiere un lavoro.

2-Per "posizione" intendiamo "altezza dal suolo" e l'energia di posizione è chiamata generalmente energia potenziale. Un corpo sollevato da terra ha energia di posizione, o potenziale, perché c'è l'attrazione di gravità che agisce come se ogni peso fosse collegato con il suolo da una invisibile molla. Questa « molla » si tende quando il peso viene sollevato. Se un peso sollevato viene lasciato libero, la molla si contrarrà schiacciandosi in basso velocemente. Quanto più in alto solleviamo un corpo, tanto più lavoro muscolare dobbiamo spendere, tanta più energia di posizione o potenziale esso acquista.

3-Quando un corpo che possiede energia potenziale di posizione cade liberamente, dove va a finire la sua energia? In altre parole, che ne sarebbe stato dell'energia posseduta dai sassi sulla torre se fossero caduti senza sollevare il ciuco? Ricorriamo, anche in questo caso, a una semplice attrezzatura costituita da una tavola posta in bilico su un sostegno, come nella figura 18.

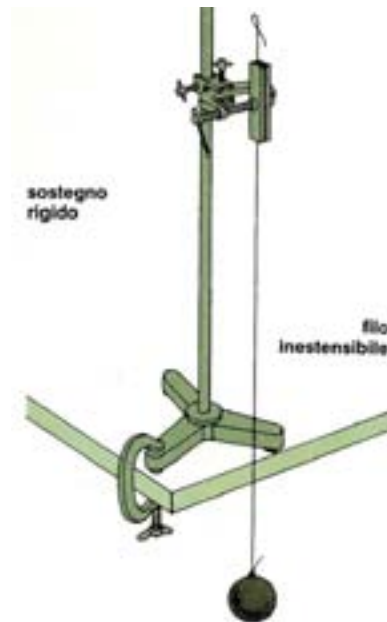


Figura 19 - Pendolo

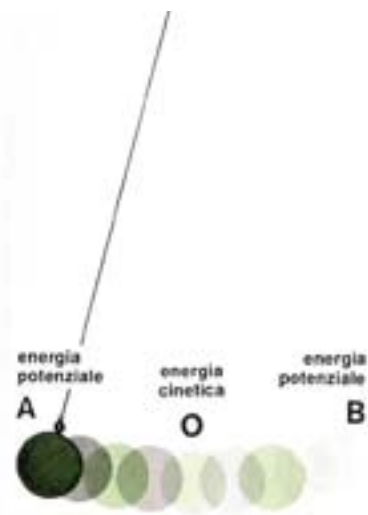


Figura 20 - Oscillazioni del pendolo

Il corpo A cade, acquista velocità, e batte con violenza sulla tavola. La tavola, per contraccolpo, catapultava in aria il corpo B. Quando il corpo A è arrivato a battere sulla tavola ha perso energia potenziale di posizione, ma ha acquistato un'altra forma di energia, dovuta al moto, detta energia cinetica. La catapulta è un mezzo per trasformare l'energia cinetica di A nel lavoro per sollevare B.

La trasformazione dell'energia di posizione o potenziale in energia di movimento, o cinetica, è resa ancora più evidente ricorrendo a un pendolo. Si può costruire un pendolo legando una sferetta pesante ad un filo inestensibile, e sospendendo il tutto a un sostegno. La sospensione deve permettere al pendolo di oscillare, e il sostegno deve essere rigido per non vibrare.

Solleviamo la massa del pendolo fino al punto A, cioè trasferiamo una piccola quantità dell'energia dei nostri muscoli nella pallina del pendolo, sotto forma di energia potenziale. Nel punto A la pallina è ferma: lasciandola libera, la pallina, legata al filo, oscilla. Potremo osservare che nelle oscillazioni la sua velocità aumenta fino al punto O, poi diminuisce, mentre la pallina risale fino al punto B, dove si ferma un attimo. Da B la pallina ritorna indietro, riacquista velocità fino al punto O, lo sorpassa, perde velocità fino a raggiungere di nuovo il punto A e così via.

In A e in B la pallina ha solo energia potenziale, in O ha solo energia cinetica. Si trasforma in energia cinetica poi di nuovo l'energia cinetica si trasforma in energia potenziale. Dagli esempi 1), 2), 3), 4), che abbiamo analizzato, risulta che:

- ci sono varie forme di energia. Per ora abbiamo incontrato: l'energia muscolare, l'energia elastica, l'energia di posizione o potenziale, e l'energia di moto o cinetica.
- Esse possono produrre lavoro: tendere una molla è un lavoro, sollevare un corpo contro la forza di gravità è un lavoro.
- Tutte le forme di energia, che in certe condizioni sviluppano lavoro, si consumano. Quando il lavoro è compiuto, quella parte di energia originaria spesa per realizzarlo si ritrova sotto un'altra forma. Le varie forme di energia si trasformano l'una nell'altra.
- Nei casi 1, 2, 3, l'energia si trasforma e inoltre si trasferisce da un corpo all'altro; invece, nel caso del pendolo, le trasformazioni dell'energia avvengono nello stesso corpo.

Si possono studiare altri meccanismi per trasferire l'energia da un corpo

### La conservazione dell'energia

Esiste o no un ciclo di trasformazioni di una certa quantità di energia in lavoro, e poi di nuovo del lavoro in energia, senza perdite e senza fine; esiste, in definitiva, la possibilità di realizzare una macchina che produca il moto perpetuo? L'esempio più adatto a questo studio è quello delle « montagne russe », un sistema che, come il pendolo, trasforma l'energia potenziale in energia cinetica, e viceversa.

All'inizio del percorso il carrello sta fermo in cima a una « montagna » ed ha energia potenziale. Poi comincia ad andare in discesa e acquista velocità fino al punto più basso della « valle ». Quando incontra una nuova salita il carrello ha ormai energia cinetica sufficiente a produrre il lavoro per superare il dislivello. Poiché ci sono queste continue trasformazioni, non potrebbe essere studiato un particolare percorso di «



Figura 21 - Il fuoco una delle prime conquiste tecnologiche dell'uomo

montagne e valli », in cui il carrello, una volta iniziata la corsa, non si fermi più? Sarebbe bello, e molti ci hanno ingenuamente sperato; ma il moto perpetuo è impossibile!

Il carrello, una volta disceso da una montagna, ne può risalire solo una più bassa, poi una ancora più bassa, e così via fino a che il moto si arresta. Come il pendolo oscillante, che dopo un certo tempo si ferma. Dobbiamo riconoscere che in ogni trasformazione di energia da potenziale a cinetica e viceversa, c'è una perdita irrecuperabile.

Se andiamo a toccare le ruote dei carrelli scopriamo che nella corsa si sono riscaldate, per effetto dell'attrito. Addirittura se facciamo partire sulle montagne russe due carrelli di egual peso, l'uno con le ruote più lubrificate dell'altro, ci accorgeremo che il carrello più lubrificato arriva più lontano. Il carrello meno lubrificato si ferma prima e le sue ruote sono più calde: l'attrito produce calore

Questo fatto non è una novità, e il suo sfruttamento è così antico che l'uomo primitivo accendeva il fuoco sfregando fra loro due pezzi di legno ben secchi. Ma quando, nel secolo XVIII, si sono costruite macchine sempre più efficienti ci si è anche resi conto che l'attrito provoca uno spreco di energia, gli scienziati si sono interessati all'attrito in modo diverso.

L'attrito genera calore, e per vincere l'attrito si consuma una certa quantità di energia. Allora si può avanzare una ipotesi: il calore non potrebbe essere una nuova forma sotto cui riappare l'energia perduta?

Una volta avanzata questa ipotesi gli scienziati sono passati a verificarla:

« Se il calore è una forma di energia deve anche essere capace di compiere un lavoro e trasformarsi di nuovo in altre forme di energia ». Ebbene, non è forse vero:

- che il calore prodotto nella caldaia di una locomotiva fa evaporare l'acqua;
- che a sua volta il vapore acqueo spinge lo stantuffo;
- che lo stantuffo fa girare le ruote;
- che la locomotiva acquista velocità e cioè energia cinetica?

E inoltre: non è forse vero

- che quando un veicolo veloce frena, l'energia cinetica scompare e al suo posto compare un elevato calore di attrito nei freni?

Quindi anche il calore è una forma di energia: energia termica.



## Capitolo 3

# Le macchine semplici

### Premessa

Il termine macchina designa un insieme di componenti, di cui almeno uno mobile, collegati tra loro, dotati di azionatori, circuiti di comando, ecc... e connessi solidalmente per un'applicazione ben determinata, capace quindi di compiere lavoro con una forza di natura diversa da quella dell'uomo (ad eccezione della carrucola che pure viene considerata "macchina").

Esistono macchine di generi molto diversi e costruite per scopi differenti: es. macchine elettriche, macchine per movimento terra, macchine per trasporto e sollevamento, macchine a fluido, ecc. Nel linguaggio comune il termine macchina ha anche accezioni specifiche (automobile), da evitare in ambito scientifico.

Nelle Scienze di Ingegneria la disciplina delle Macchine (senza ulteriore specificazione) studia l'insieme delle Macchine a fluido e dei Motori primi, ossia dei convertitori di energia primaria in lavoro meccanico. Le Macchine a fluido presiedono allo scambio di lavoro fra un albero e un fluido, e sono dette operatrici quando l'energia va dalla macchina al fluido. Si distinguono in:

- pompe
- compressori, ventilatori
- frigoriferi
- motrici quando l'energia va dal fluido alla macchina. Si distinguono in:
  - turbine
  - motori oleodinamici
  - motori pneumatici
  - generatori di vapore
  - motori a combustione interna

### Macchine semplici

L'uso delle macchine ha permesso all'uomo di compiere lavori per cui erano richieste forze superiori alla sua. Le macchine gli hanno permesso di sfruttare la forza del vento, dei combustibili e dell'acqua. Senza le macchine l'uomo vivrebbe ancora allo stato primitivo e non si sarebbe potuta ottenere alcuna forma di progresso. Per macchina si intende quindi qualsiasi apparecchio utilizzato per aumentare il valore della forza, cambiarne la direzione o aumentare la velocità con cui si esegue un lavoro. Il lavoro viene eseguito solo producendo moto o vincendo una resistenza; quest'ultima può essere l'attrito o la forza di gravità.

La macchina semplice non ha una fonte di energia in se stessa e quindi non può eseguire del lavoro a meno che l'energia non le venga somministrata sotto altra forma dall'esterno. Quando l'attrito causa

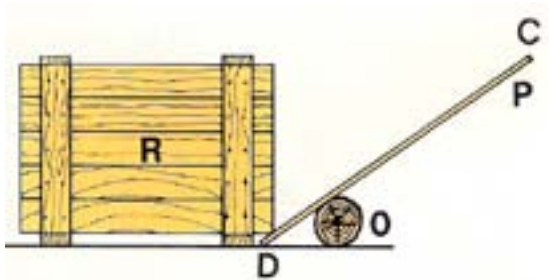


Figura 22 - leva di primo genere

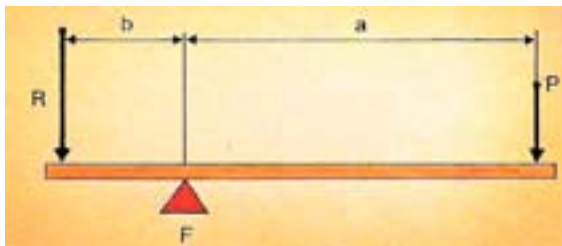


Figura 23 - Rappresentazione leva di primo genere

solo una perdita trascurabile di energia, il lavoro prodotto da una macchina corrisponde alla quantità di energia immessavi. Si può misurare il lavoro delle macchine, il quale rappresenta il prodotto della forza per lo spostamento. Ad esempio, se una persona solleva una scatola di 10 kg. per un dislivello di 3 metri, ha fatto un lavoro di 30 kgm. (10 X 3). Il vantaggio meccanico di una macchina è il rapporto fra la resistenza e la potenza. Ad esempio, un uomo solleva un peso di 50 kg. applicando una potenza di 10 kg. ad una leva. Quindi il vantaggio meccanico della leva è di cinque a uno.

Attualmente vi sono macchine di tutti i generi e di tutte le dimensioni, ma sebbene possano sembrare complesse, tutte le macchine non sono altro che una combinazione di macchine semplici o la modificazione di una macchina semplice. Per macchina semplice si intende una macchina che è mossa da una sola forza. Vi sono sei tipi di tali macchine:

- la leva,
- la puleggia,
- il piano inclinato,
- la vite,
- l'asse nella ruota,
- il cuneo.


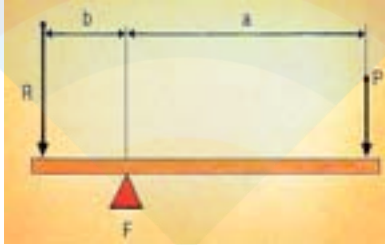

### La leva

La leva è una asta rigida appoggiata in un punto, detto fulcro, che consente di vincere una resistenza. Archimede, il matematico greco, scoprì il principio della leva e disse, con una celebre frase, che se avesse avuto una leva abbastanza lunga ed un punto d'appoggio, avrebbe potuto sollevare il mondo. Durante l'azione, la sbarra ruota attorno a un punto fisso detto fulcro. Il punto di applicazione della resistenza è quello ove si trova la resistenza da vincere. Il punto in cui si applica la forza per muovere il carico è il punto di applicazione della potenza. Quanto più vicino sarà il fulcro al carico, tanto minore sarà lo sforzo per sollevare il carico stesso.

Nel nostro disegno il masso è rappresentato dal vettore R mentre la forza che applica l'uomo è rappresentata dal vettore P. b e a rappresentano le distanze dal punto di applicazione della forza al fulcro. La sua legge quantitativa è espressa dalla seguente formula  $P \cdot R = b : a$

### Generi di leva

Vi sono tre generi di leve col fulcro, la potenza e la resistenza in posizioni diverse rappresentate nella seguente tabella

| Leva di primo genere  |   |             |
|---|---|-------------|
| Raffigurazione  | Rappresentazione  | Descrizione |
|  <p><i>Figura 24 - leva primo genere</i></p>  <p><i>Figura 25 - - Rappresentazione leva primo genere</i></p> | <p>Il fulcro si trova tra la potenza applicata e la resistenza. Sono leve di primo genere l'altalena, i palanchini e le forbici. Essa può essere vantaggiosa, indifferente, o svantaggiosa secondo che il braccio della potenza (a) sia più lungo, uguale, più corto di quello della resistenza (b)</p> |             |
|  <p><i>Figura 26 - Le forbici esempio di leva di primo genere</i></p>  |   |             |



### Leva di secondo genere



Figura 27 - leva di secondo genere



Figura 28 - Il remo è un esempio di leva di secondo genere

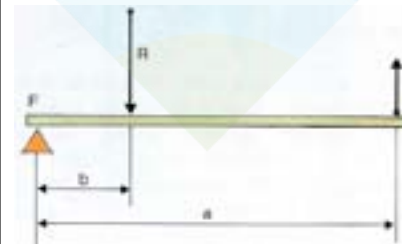


Figura 29 - rappresentazione leva di secondo genere

Leve di secondo genere. Hanno sempre la resistenza posta tra la potenza ed il fulcro. Le carriere e gli schiaccianoci sono leve di questo tipo. Essa è sempre vantaggiosa perché il braccio della potenza è sempre maggiore del braccio della resistenza e la potenza è sempre minore della resistenza

### Leva di terzo genere



Figura 30 - Leva di terzo genere



Figura 31 - Molla per il fuoco esempio di leva di terzo genere

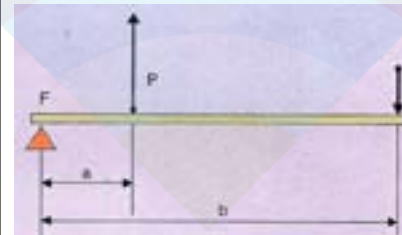


Figura 32 - Rappresentazione leva di terzo genere

La potenza si trova tra la resistenza (carico) ed il fulcro. Queste leve non aumentano il lavoro, ma rendono possibile il trasporto di oggetti in maniera più comoda, a maggiori distanze e più o meno rapidamente. La scopa, le pinzette e le molle per afferrare i tizzoni sul focolare rappresentano esempi di leve di terzo genere

Essa è sempre svantaggiosa ma consente lo spostamento di oggetti che altrimenti sarebbe difficoltoso

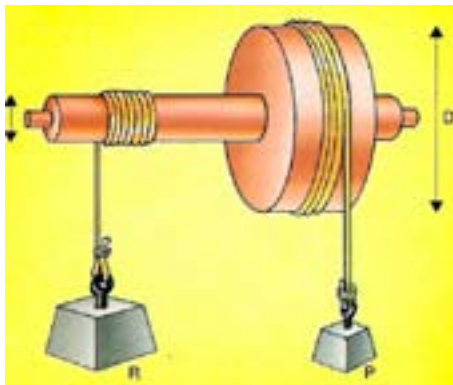


Figura 33 - Asse della ruota

### L'asse nella ruota

L'asse della ruota è un sistema di due cilindri coassiali (aventi lo stesso asse) di raggio diverso girevoli attorno all'asse comune. L'asse vero e proprio è costituito da un cilindro rigido il cui asse coincide con l'asse del cilindro maggiore. La ruota e l'asse formano un unico corpo quando sono vincolate l'una all'altra in modo fisso e funzionano insieme. Sull'asse e nella scanalatura della ruota si fanno passare due corde avvolte in senso contrario. Questa macchina funziona come una leva continua di primo genere.

La potenza  $P$  agisce su una fune avvolta sul cilindro maggiore (la ruota) la resistenza  $R$  su una fune avvolta in senso contrario sul cilindro minore (asse)

La condizione di equilibrio è:

$$P \cdot R = d : D$$

Vi sono diversi tipi di ruote per diversi generi di lavoro. Le ruote delle automobili e dei treni sono esempi noti a tutti: esse permettono all'uomo di muoversi più rapidamente su maggiori distanze. Se si cercasse di spingere una cassetta di sabbia lungo una strada, l'attrito che si verificherebbe tra cassetta e strada



Figura 34 - Carrucola fissa

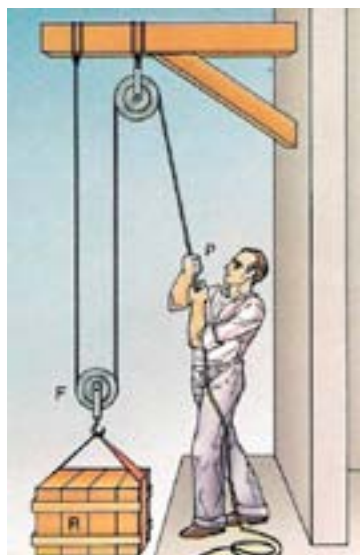


Figura 35 - Carrucola mobile

sarebbe così forte da rendere difficile l'operazione. Ma se alla parte inferiore della cassetta si applicano delle ruote, essa si muoverà più facilmente essendo diminuito l'attrito. Alcune ruote fanno girare altre ruote, come le ruote dentate della bicicletta oppure quelle di un frullino o degli orologi, grandi e piccoli. Alcune ruote fanno girare l'asse sul quale sono montate in modo da ruotare insieme, come si verifica nelle maniglie delle porte, nelle manopole degli apparecchi radiotelevisivi e nel volantino che controlla il vapore in un radiatore.

### Carrucola

La carrucola non è altro che una ruota scanalata. Si inserisce un cavo nella scanalatura della puleggia, il quale sottoposto a trazione fa girare la carrucola. La carrucola fissa ha l'asse solidale ad un supporto e se si fissa un carico ad una estremità del cavo lo si può sollevare con maggiore facilità. Non si è aumentata la forza, ma se ne è cambiata la direzione; una persona può collocarsi in un dato posto ed usufruire del peso del proprio corpo per aiutarsi a sollevare il carico invece di trasportarlo.

Sostanzialmente è una leva rotante di primo genere per cui occorre una forza pari al peso da sollevare. Una carrucola può essere fissa o mobile :

Carrucola fissa (fig. 34-37) una staffa è fissa a un sostegno :ad un'estremità una fune è applicata la resistenza  $R$  , all'altra estremità la potenza  $P$  . La condizione di equilibrio si ha quando  $P=R$

La carrucola mobile (fig 35-38) :un estremo della fune è fisso in  $A$  ;all'altro estremo è applicata la potenza  $P$  , alla staffa la resistenza  $R$  Condizione di equilibrio :la potenza è metà della resistenza

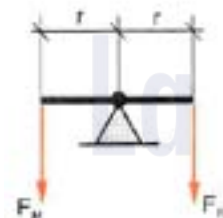
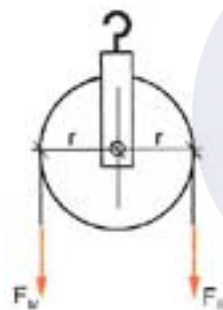


Figura 37 - Carrucola fissa

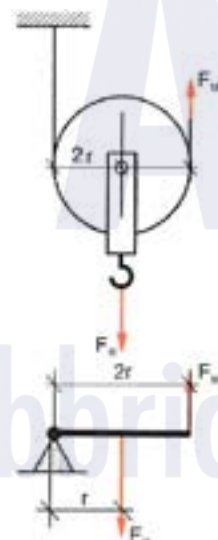


Figura 38 - Carrucola mobile

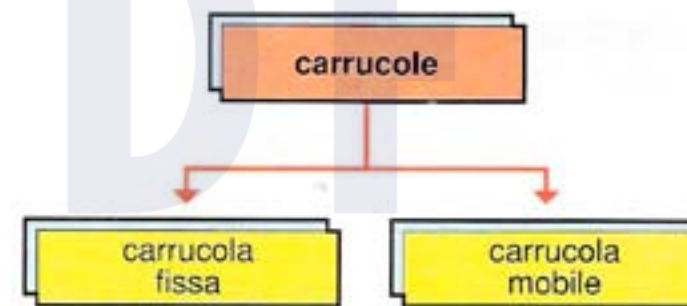


Figura 36 - carrucole



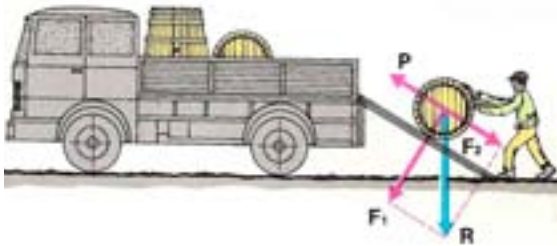


Figura 39 - Piano inclinato

### Il piano inclinato

Il piano inclinato è una macchina assai semplice: si tratta, in effetti, di una superficie inclinata che rende più facile tirare, spingere o far rotolare carichi pesanti. In luogo di sollevare un pianoforte su di un autocarro, si può collocare un robusto asse rigido che va dal suolo alla superficie portante dell'autocarro e spingere il pianoforte su tale superficie inclinata per farlo salire sull'autocarro. Si impiegherà uno sforzo minore, ma si dovrà esercitare questo sforzo sulla maggiore distanza che percorre il carico, costituendo il piano inclinato l'ipotenusa di un triangolo rettangolo. Le scale possono essere ricondotte ad un piano inclinato. In alcuni casi, come avviene negli stadi sportivi, ci si muove da un livello all'altro a mezzo di rampe, che sono in effetti piani inclinati.

Se poniamo un corpo pesante sul piano inclinato esso scivola in basso per cui per mantenere il corpo nella sua posizione necessità equilibrare la forza  $F_2$  con la potenza  $P$ , il peso del corpo stesso è la resistenza ( $R$ ). la resistenza si compone di due forze  $F_2$  e  $F_1$ . La forza  $F_1$  non produce alcun effetto essendo il piano rigido mentre  $F_2$  produce la discesa.

Il piano inclinato costituisce sempre una macchina vantaggiosa perché la  $P$  è sempre inferiore alla  $F_1$ . La differenza tra le due forze è sempre proporzionale all'angolo dato tra il piano inclinato e la verticale  $F_2$ .

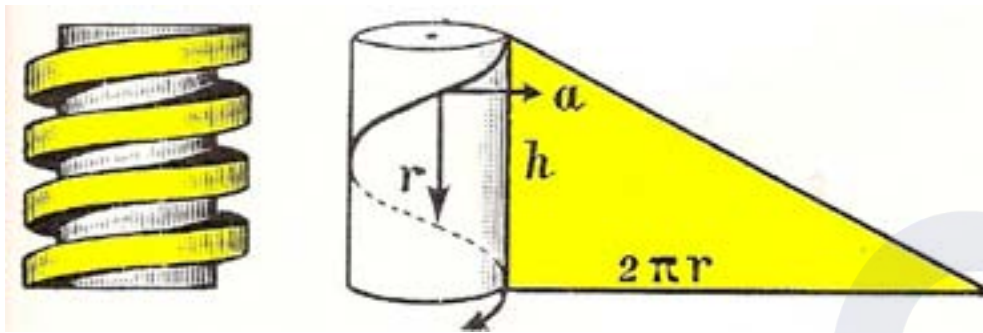


Figura 40 - La vite particolare e principio su cui si basa la vite

### La vite

La vite è un piano inclinato avvolto a spirale lungo il suo bordo su di un cilindro od un cono. Si dice che la vite sia stata inventata da Archimede. La vite sviluppa grandi forze per sollevare pesi notevoli e per produrre grandi pressioni: basti pensare a come una vite tiene insieme strettamente due pezzi di legno o come una serie di martinetti può sollevare dalle sue

fondamenta una casa prefabbricata, oppure come un argano solleva un'automobile o ancora quanto strettamente una morsa tiene insieme metallo e legno per poterlo tagliare o sagomare.

Ha forma ellittica allungata, con un risalto laterale che gli gira intorno ad elica secondo l'asse maggiore: il risalto prende il nome di filetto o verme

La filettatura può avere molti tipi di sezione (quadrata, rettangolare, tonda). La vite si serra, girando in una cavità detta madrevite, filettata agisce pertanto come un piano inclinato. In questo tipo di macchina la forza motrice ( $r$ ) da una leva laterale quando si desidera ottenere una grande forza verticale ( $a$ ). La vite è sempre una macchina vantaggiosa.

Le applicazioni pratiche della vite nell'uso domestico sono numerosissime: nei rubinetti, nelle lampadine, coperchietti di bottiglie, qualsiasi congiunzione dei tubi dell'acqua, ecc.



Figura 41 - Avvolgendo un piano inclinato su se stesso otteniamo la vite



Figura 42 - Piano inclinato sempre vantaggioso

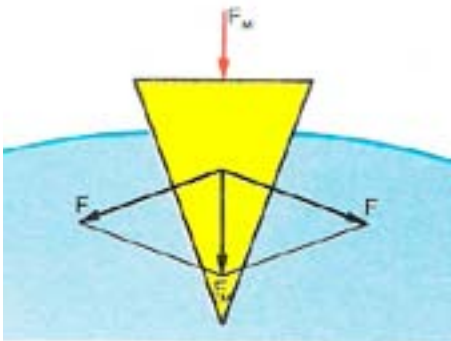


Figura 43 - Il cuneo può considerarsi formato dall'unione di due piani inclinati

## Il cuneo

Il cuneo è essenzialmente un piano inclinato. Quanto più lungo sarà il cuneo in rapporto al suo spessore, tanto più facile sarà forzarlo all'interno degli oggetti. Gli spaccalegna adoperano un cuneo che battono con una mazza spingendolo nelle fibre del legno da tagliare. Quanto più penetra, tanto più profondamente si divideranno le due sezioni del ceppo.

I cunei aumentano la forza e stanno alla base dell'idea di tutti gli attrezzi da taglio e per perforare, come i coltelli, gli aghi, gli scalpelli, i chiodi, i bulloni e gli spilli. Tutte cose che dividono la carta, il legno o il tessuto penetrando negli stessi in seguito a pressione o spinta.

Quando sulla parte piatta del cuneo (testa) si applica una forza motrice ( $F_m$ ), questa si scompone in due forze normali alle facce laterali del cuneo, di intensità maggiore alla  $F_m$ , queste forze tendono ad allargare la sezione in cui il cuneo è inserito.

Questo principio era noto ai popoli antichi: un esempio è costituito dalle punte delle lance e frecce, veri e propri cunei applicati all'estremità di un'asta alla quale viene applicata la  $F_m$  mediante il lancio dell'arma. Il principio del cuneo inoltre è alla base di tutti gli utensili da punta e da taglio. Il cuneo è una macchina sempre vantaggiosa.

Nella costruzione delle piramidi i blocchi di pietra venivano estratti dalla roccia in due modi :

1. in alcuni fori praticati seguendo la venatura della roccia, erano inseriti dei cunei di legno bagnati che si dilatavano provocando la spaccatura della roccia
2. un secondo metodo usato, consisteva nell'incendiare i cunei e bagnare successivamente la roccia con acqua fredda. L'improvviso sbalzo termico provocava un rapido restringimento provocando la spaccatura della roccia .

## Capitolo 4

# Le macchine idrauliche

L' idraulica è la scienza che studia l'utilizzazione dei liquidi, in particolare dell' acqua. Le materie connesse a questi studi si dividono in due categorie:

1. Idraulica interna se il dominio di studio del fluido è "piccolo" e impermeabile (ex: l'analisi del deflusso dell'acqua in un canale con pareti rigide o il calcolo delle perdite di carico nelle condotte irrigue) (non oggetto di questo lavoro)
2. Idraulica esterna se c'è un'ampia massa fluida confinata e gli effetti delle "pareti" del contenitore sono trascurabili (ex: il mare), ovvero se il dominio rispetto al corpo in analisi è praticamente illimitato.

### Storia dell'idraulica

Sino dalla più remota antichità l'uomo si è trovato davanti a problemi pratici di idraulica, intimamente connessi con le esigenze della vita.

Le più antiche civiltà si svilupparono lungo i principali fiumi della terra quali il Tigri e l'Eufrate, il Nilo, l'Indo. L'esperienza e l'intuizione furono di guida nella soluzione di problemi relativi alle numerose opere idrauliche relative alla difesa del suolo, alla bonifica, all'approvvigionamento idrico, alla navigabilità.

Nelle civiltà antiche tale bagaglio di conoscenze divenne appannaggio di una casta di sacerdoti. Ad esempio nell'antico Egitto i sacerdoti si tramandavano da generazioni le osservazioni tenute segrete circa le piene del fiume ed erano in grado di azzardare previsioni facilmente scambiate per divinazioni. Sempre in Egitto nacque la più antica delle scienze esatte: la geometria, che, secondo lo storico greco Erodoto, sorse per esigenze catastali legate alle piene del Nilo.

Con i greci la scienza e la tecnica subiscono un processo di laicizzazione, anche se talvolta vengono relegate nell'ambito del mito. Talete di Mileto, di padre greco e madre fenicia, pone nell'acqua il principio di tutte le cose. La teoria di Talete e le teorie dei successivi filosofi del periodo ionico troveranno una sistemazione nella Fisica di Aristotele. Fisica che, come ben noto, è basata sui quattro elementi naturali, sui loro luoghi, sul moto naturale, cioè quello verso le proprie sfere, distinto dal moto violento; la Fisica antica è basata sul senso comune, ed è capace di dare una descrizione qualitativa dei principali fenomeni, ma è assolutamente inadeguata per una descrizione quantitativa degli stessi.

Le prime basi per una conoscenza fisica quantitativa furono poste nel terzo secolo a.C. nei regni in cui fu diviso l'impero di Alessandro Magno ed epicentro del sapere scientifico e tecnologico fu Alessandria d'Egitto. Qui Euclide raccolse negli Elementi le precedenti conoscenze geometriche in un'opera unitaria in cui da poche definizioni ed assiomi si ricavano una miriade di teoremi; gli Elementi di Euclide costituiranno per più di duemila anni un modello di scienza deduttiva insuperato per rigore logico. Legato epistolarmente agli scienziati di Alessandria fu Archimede di Siracusa.





Figura 44 - Acquedotto Romano



Figura 45 - Mulino ad asse verticale

“Archimede ha fatto una quantità di scoperte straordinarie ed eccezionalmente geniali. Fra esse voglio parlare soprattutto di una che porta i segni di una grande intelligenza. Quando Gerone regnava in Siracusa, per le sue fortunate imprese volle offrire ad un certo santuario una corona d’oro che aveva ammirato. Decise il prezzo dell’opera con un artista e gli consegnò la quantità di oro necessaria. A suo tempo la corona finita fu consegnata, con piena soddisfazione del re, ed anche il peso della corona risultò coincidere con quello dell’oro. Più tardi, però, Cerone ebbe motivo di sospettare che l’artista avesse sottratto una parte dell’oro e l’avesse sostituita con un ugual peso di argento. Indignato per l’inganno, ma non riuscendo a trovare il modo di dimostrarlo, pregò Archimede di studiare la questione. Un giorno che, tutto preso da questo pensiero, Archimede era entrato in un bagno, si accorse che mano a mano che il suo corpo si immergeva, l’acqua traboccava. Questa osservazione gli diede la soluzione del problema. Si slanciò fuori dal bagno e tutto emozionato si precipitò nudo verso casa, gridando con tutte le forze che aveva trovato quel che cercava: “Eureka! Eureka!...”

Archimede fu il fondatore dell’ Idrostatica, ed anche un precursore del calcolo differenziale: si pensi alla sua celebre dimostrazione del volume della sfera, ed insieme agli scienziati alessandrini, non disdegnò le applicazioni ingegneristiche delle scoperte scientifiche cercando di colmare quella scissione tra Scienza e Tecnica che è tipica della società dell’ antichità classica, società che, come ben noto, era basata sulla schiavitù.

In campo idraulico egli fu l’inventore della coclea una vite senza fine fatta girare all’interno un cilindro, entrambi in legno, ancora oggi utilizzata nelle saline siciliane per sollevare l’acqua. È emblematico il fatto che lo stesso Archimede morì durante la presa di Siracusa da parte del console romano Marcello.

I romani, che diffusero la vita cittadina in tutto il Mar Mediterraneo, basarono il vivere piacevole specialmente sull’abbondanza dell’acqua. Si ritiene che la Roma imperiale ricevesse oltre un milione di metri cubi d’acqua al giorno che per la maggior parte rifornivano le case private per mezzo di tubi di piombo. A Roma confluivano almeno una dozzina di acquedotti a superficie libera, con una vasta rete sotterranea, eccettuati gli ultimi 16 km attraverso la pianura dove si preferirono gli acquedotti sopraelevati che, con la loro maggiore pressione, facilitavano la distribuzione. Per costruire l’acquedotto Claudio fu necessario trasportare per ben 14 anni quarantamila carri di tufo all’anno.

Nelle province gli acquedotti attraversavano spesso profonde vallate come a Nîmes dove il Pont du Gard lungo 175 m ha un’altezza massima di 49 m, e a Segovia in Spagna dove il ponte-acquedotto di ben 805 m è ancora in funzione.

I romani scavarono anche dei canali per migliorare il drenaggio dei fiumi in tutta Europa e, meno frequentemente, per la navigazione, come nel caso del canale Reno - Mosa lungo 37 km, che eliminava un passaggio per mare.

Ma in questo campo la loro opera più straordinaria rimase il prosciugamento del lago Fucino, costruendo in mezzo alla montagna una galleria di 5,5 km, un primato questo che rimase insuperato fino al 1870 con la galleria ferroviaria del Moncenisio.

Il Portus Romanus, completamente artificiale, fu costruito dopo quello di Ostia al tempo dei primi imperatori. Il suo bacino interno esagonale aveva un fondale di 4 - 5 m, una larghezza di 800 m, banchine di mattoni e calcestruzzo e un fondo di blocchi di pietra per facilitarne il drenaggio.

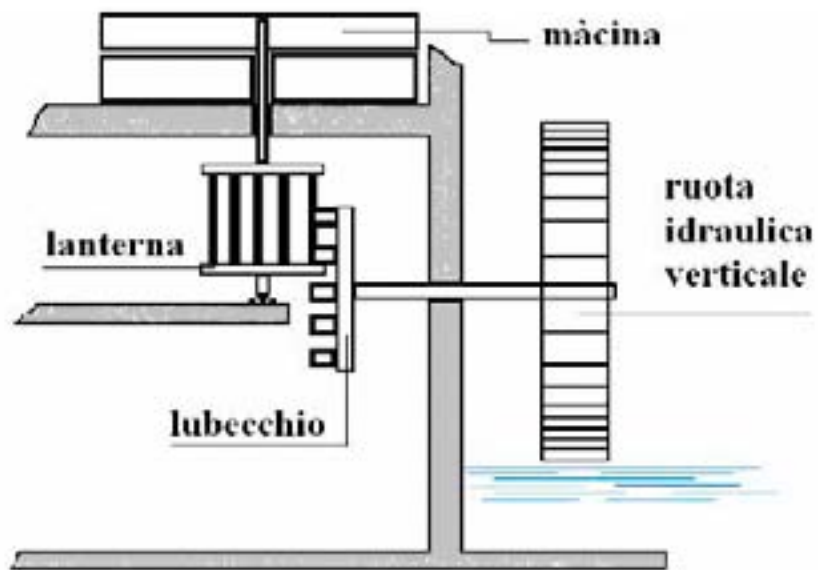


Figura 46 - Schema mulino di Vitruvio

### La generazione di energia

La principale fonte inanimata di energia dell'antichità fu il cosiddetto **mulino greco**, costituito da un asse di legno verticale nella cui parte bassa vi era una serie di palette immerse nell'acqua. Tale tipo di mulino venne usato principalmente per macinare il grano: l'asse passava attraverso la macina inferiore e faceva ruotare quella superiore a cui era solidale. Mulini di questa specie richiedevano una corrente di acqua rapida ed avevano certamente avuto origine nelle regioni collinose del Vicino Oriente, anche se Plinio attribuisce l'origine dei mulini ad acqua per la macinazione del grano all'Italia Settentrionale. Tali mulini avevano in genere dimensioni contenute ed erano piuttosto lenti, la macina infatti girava alla stessa velocità della ruota, essi erano quindi adatti a macinare piccole quantità di grano ed il loro uso era puramente locale. Tuttavia essi possono essere considerati i precursori della turbina idraulica ed il loro uso è durato ininterrottamente per più di tremila anni.

Un tipo di mulino idraulico ad asse orizzontale e ruota verticale fu progettato nel 1° secolo a.C. dall'ingegnere militare Vitruvio. L'ispirazione può essergli venuta dalla ruota persiana o saqiya, (**figura 6**) un congegno per sollevare l'acqua consistente in una serie di recipienti disposti lungo la circonferenza di una ruota fatta girare da forza umana od animale. Questa ruota era usata in Egitto nel IV secolo a. C. e Vitruvio ne descrisse una più efficiente modificazione conosciuta come ruota a tazze, la ruota idraulica vitruviana è sostanzialmente una ruota a tazze funzionante in modo contrario.

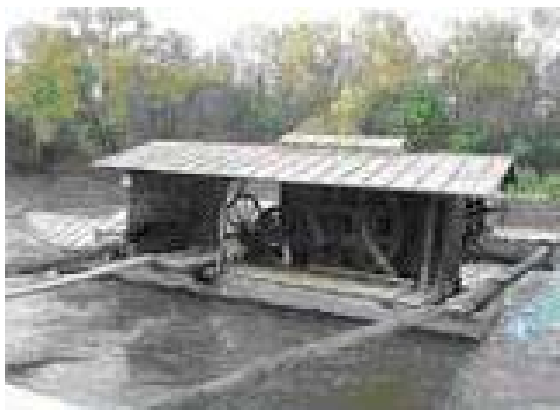


Figura 47 Mulino galleggiante



Figura 48 - Ingranaggio mulino natante

### Mulino galleggiante

Progettata per la macinazione del grano, la ruota era collegata alla macina mobile per mezzo di ingranaggi lignei che davano una riduzione di circa 5:1. I primi mulini di questo tipo erano del tipo "con l'acqua che passa sotto".

La ruota a pale era posta fra due imbarcazioni saldamente ancorate nella corrente di un fiume. Il mulino del Po (ricostruito presso Ro) dell'omonimo romanzo era un mulino galleggiante

I **mulini natanti** sono strutture relativamente semplici che, ancorate e fermate con opportuni ormeggi sfruttano l'acqua in movimento naturale. I mulini natanti presenti sul nostro territorio nazionale dal **medioevo** fino alla **fine del XIX secolo** nelle regioni dove il Po e i suoi affluenti maggiori scorrono con portata regolare e abbondante attraversando zone dove i mulini sono importanti principalmente per il trattamento dei prodotti



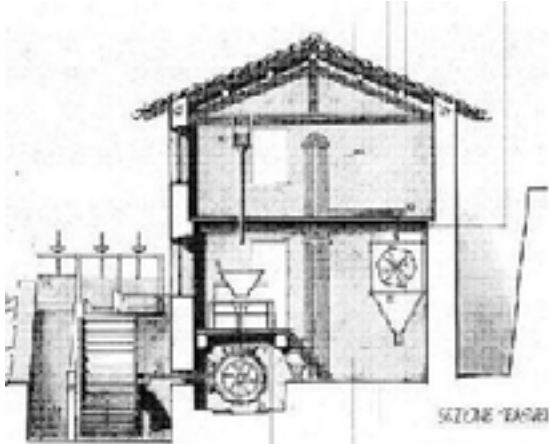


Figura 49 - Mulino ad acqua



Figura 50 - Ruota idraulica

dell'agricoltura: la zona che va dalla **Provincia di Mantova** fino al **delta del Po**. Si sa comunque da documenti che risalgono al medioevo, che questi mulini erano presenti sul corso del **fiume Po** fino a **monte della città di Torino**.

L'impianto è costituito da due galleggianti (scafi) di diversa dimensione in larghezza mentre sono uguali in lunghezza, sul galleggiante più largo è sistemato tutto il gruppo ingranaggi-macina, protetto da un casotto adibito anche ad abitazione. I due scafi sono tenuti assieme e allineati da due ponteggi che ne stabiliscono la larghezza complessiva tenendo conto del dimensionamento della girante (diametro-lunghezza). La dissimmetria degli scafi è simile a quella del "sandon": mulino galleggiante tipico del mantovano; comunque questa conformazione non è pregiudizievole per la stabilità considerato il diverso pescaggio degli scafi. Si sa che nel medioevo, nel rinascimento e nel XVIII secolo esistevano mulini natanti a un solo scafo con due giranti poste sui fianchi e mulini a tre scafi con le giranti ai lati dello scafo centrale supportate sui due scafi esterni.

Girante e ingegni venivano costruiti in legno come principale materia prima, pur sapendo che anche in epoca medioevale qualche ingegno era costruito con ingranaggi a struttura metallica, come anche gli assi di trasmissione del moto; anche in seguito, fino a epoche recenti, gli ingranaggi dei mulini sia natanti che fissi erano costruiti con sistema ibrido ferro-legno.

### Mulini ad acqua

I mulini con l'acqua che passava da sotto furono modificati più tardi e si provò che una ruota alimentata dall'alto era più efficiente, in quanto sfruttava anche la differenza di peso tra le tazze piene e quelle vuote. Tali ruote, benché più efficienti, richiedevano un considerevole impianto aggiuntivo per assicurare il regolare rifornimento idrico: comunemente si arginava il corso d'acqua in modo da formare un bacino, dal quale un canale di scarico portava un flusso regolare alla ruota.

Questo tipo di mulino fornì una sorgente di energia maggiore di quelle disponibili precedentemente, e non solo rivoluzionò la macinazione, ma aprì la via alla meccanizzazione di molte altre operazioni industriali. Un mulino romano a Venafro del tipo di quelli alimentati di sotto, con ruota di circa 2 m di diametro, poteva macinare circa 180 kg di grano in un'ora, il che corrisponderebbe ad una potenza di circa tre cavalli vapore; in confronto un mulino azionato da un asino o da due uomini poteva a malapena macinare 4,5 kg all'ora.

Dal IV° secolo d.C. nell'Impero Romano furono installati mulini di notevoli dimensioni. A Barbegal, vicino ad Arles, nel 310 venivano usate per la macinazione del grano 16 ruote alimentate per disopra, che avevano un diametro fino a 2,7 m, ciascuna di esse azionava, attraverso ingranaggi lignei, due macine: la capacità di macinazione complessiva era di 3 tonnellate l'ora sufficienti al fabbisogno di una popolazione di 80.000 abitanti, e la popolazione di Arles a quel tempo non superava i 10.000 abitanti, è chiaro che il mulino serviva una vasta zona.

È sorprendente che il mulino di Vitruvio non venisse comunemente usato nell'Impero Romano fino al terzo e quarto secolo. Essendo disponibili gli schiavi ed altra mano d'opera a basso prezzo, vi era uno scarso incentivo ad accollarsi il necessario impiego di capitale; si dice poi che l'imperatore Vespasiano (69-



79 dC.) si sia opposto all'uso dell'energia idraulica perché questa avrebbe recato disoccupazione. I mulini ad acqua potevano sorgere lungo le sponde di un fiume dalla notevole portata di acqua come l'Arno, ed in questo caso venivano costruiti all'estremità delle pescaie sfruttando l'energia prodotta per la caduta dell'acqua dagli sbarramenti, oppure lungo il corso di fiumi minori o fossi di minor portata utilizzando, per fare arrivare l'acqua al mulino, dei canali di derivazione più o meno lunghi che andavano poi ad allargarsi per formare un'ampia riserva d'acqua. I canali che conducevano l'acqua al mulino, alcuni lunghi anche alcuni chilometri, hanno generalmente il nome di gora ma abbiamo riscontrato che la grande vasca, o cisterna, formata dall'allargamento della gora stessa, assume in luoghi diversi nomi diversi : «colta» o «ricolta» nella zona di Greve, «margone» o «bottaccio» nel Mugello, ancora semplicemente «gora» nel Valdarno. All'interno della grande vasca di raccolta dell'acqua veniva posto a stagionare il legno di quercia che serviva a costruire le pale del ritrecine e l'albero verticale anche se la destinazione più ricorrente della vasca era quella di peschiera dove si allevava del pesce, solitamente trote. La vasca di raccolta dell'acqua era anche dotata di un semplice ma ingegnoso meccanismo che permetteva all'acqua in eccesso, in caso di piena, di defluire lateralmente : questo meccanismo che abbiamo potuto vedere nella forma di una piccola chiusa composta da pietre viene chiamato «sovrappiù», altrove, come nella valle dei Mulini nel comune di Rio d'Elba , «rifinito». I mulini potevano essere dotati di due tipi di ruote: orizzontale, detta «ritrecine» o verticale. Nei mulini prevale di gran lunga la ruota orizzontale. Questa era posizionata nella cosiddetta «stanza del ritrecine» (chiamata «carcerai» nella valle dei mulini di Rio d'Elba), un ambiente con il soffitto a volta posto al livello inferiore rispetto al piano della vasca di raccolta delle acque dalla quale attraverso un'apertura dotata di una chiusa, l'acqua andava a colpire velocemente le pale a forma di cucchiaio del ritrecine che a loro volta facevano girare l'albero verticale che metteva in movimento la macina soprastante. Questa era infatti posizionata nella stanza superiore e formava il cosiddetto «palmento», cioè il gruppo molitore formato da una macina fissa inferiore, opportunamente lavorata e scanalata, e una macina girevole superiore che svolgeva la vera e propria funzione di macinare il grano che scendeva tra le due macine in un'apertura centrale detta «occhio», per mezzo di una sorta di imbuto di legno, dalla forma di tronco di piramide rovesciata, chiamato «tramoggia». I palmenti potevano essere anche uno solo per i mulini più piccoli, destinati a servire una zona poco vasta, erano generalmente due nei mulini un po' più grandi, ed in questo caso anche i ritrecini erano due, fino ad arrivare ad un massimo di sette o otto palmenti. Nella stanza delle macine i palmenti erano posizionati su di un piano rialzato chiamato anche «palco delle macine», al quale si accedeva per mezzo di alcuni piccoli gradini. Le pietre con le quali venivano fatte le macine risultano essere di vari tipi : l' «anconese» per macinare il grano , la «pratese» (Figline di Prato) per il granoturco, la «carpineta» per le castagne, l' «alberese» per le biade ed anche una pietra francese chiamata «verocano» o «verrucano» sempre per le biade.

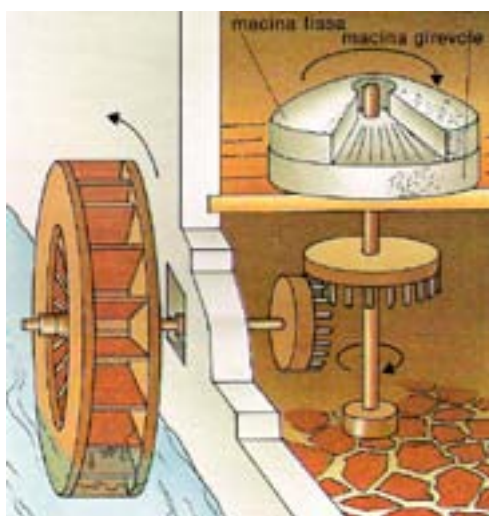


Figura 51 - Ruota idraulica

### La ruota idraulica

Fin dall'antichità l'uomo ha capito che l'energia idraulica poteva essere utilizzata con minimo dispendio e con grande vantaggio. Per questo ha sviluppato una varietà incredibile di congegni e di macchine di ogni genere. Molte sono le fantasiose macchine idrauliche del passato, come la tromba idroeolica per pompare

aria nelle fucine, negli altiforni e nelle fonderie, o l'elevatore di Thierry e il più noto ariete idraulico, che, come la noria, ancora usata nei paesi arabi, serviva per pompare o prelevare acqua dal basso alla superficie. È fuor di ogni dubbio che, dal medioevo fino all'avvento della macchina a vapore, la ruota idraulica costituì la base dello sviluppo tecnologico e produttivo del mondo occidentale e per molto tempo mantenne un ruolo importante anche dopo la prima rivoluzione industriale. È anche interessante notare che nel medioevo il personaggio del «mugnaio» rappresentò una figura di controllo sociale al servizio del feudatario, perché tutti i contadini erano costretti a passare da lui per macinare il grano. Infatti i contadini colti a macinarsi il grano da sé in casa venivano puniti. Non a caso solo i feudatari avevano diritto di macinazione, così come solo i feudatari avevano diritto di costruire mulini ad acqua sulle loro proprietà e diritto di regolare l'uso delle acque. Quando infatti qualcuno di loro ereditava un appezzamento di terra, poteva ereditare anche il diritto di regolare l'uso delle acque. Per secoli la ruota idraulica servì per azionare macchine per segherie, mantici, magli per le fucine, frantoi per olio, per minerali e per polvere da sparo, verricelli idraulici, gualchiere, ossia macchine per la follatura dei tessuti di lana, mulini per la concia, per la canapa, per la carta, torni da falegnami, pompe per sollevare l'acqua, soffianti per altiforni, alesatrici per cannoni, ecc ... o addirittura furono impiegate per alimentare fontane, come a Versailles, o per rifornire di acqua la città di Londra. Oggi l'utilizzazione dell'energia idraulica è limitata alle grandi turbine moderne. Eppure i principi a cui si rifanno sono tuttora validi e potrebbero essere ancora perfezionati. Comunque, fino all'avvento dell'elettricità il mulino ad energia idraulica ha costituito l'unica energia applicabile agli opifici.

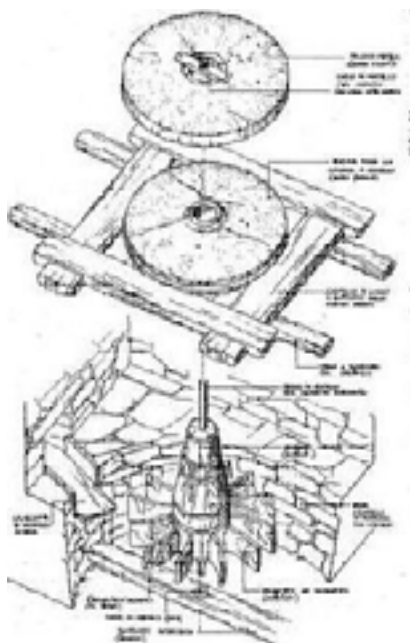


Figura 52 - Schema ruota idraulica verticale

Le ruote idrauliche sono delle macchine che trasformano l'energia cinetica, o potenziale, dell'acqua in lavoro meccanico. Esse rappresentano un tipo di energia pulita e rinnovabile, quindi non inquinante. Si suddividono in ruote orizzontali ad asse verticale e in ruote verticali ad asse orizzontale.

Le prime sono le più antiche e derivano dalle macine ad azionamento animale. Sono semplici e robuste, ma poco potenti. Quelle verticali invece hanno un rendimento decisamente superiore; possono funzionare in corsi d'acqua con piccole portate a bassissima caduta, mentre il tipo precedente necessitava di un salto d'acqua maggiore; possono azionare più macine alla volta perché raggiungono potenze molto elevate. Queste ruote si suddividono in ruote a cassette e ruote a palette. A loro volta le ruote a cassette si dividono in colpite al vertice e colpite alle reni, mentre le ruote a palette si suddividono in colpite sul fianco e colpite da sotto.

Le ruote a cassette colpite al vertice (anche dette «per di sopra») sono impiegate per cadute alte dai tre ai dieci metri e per portate relativamente piccole. Le cassette ricevono l'acqua dal punto più alto riempiendosi circa per un terzo. Il peso dell'acqua fa girare la ruota che svuota le cassette per mezzo giro; poi riprende il ciclo. Queste ruote sfruttano l'energia e il peso dell'acqua anche grazie alle sagomature fatte sulle cassette.

Le ruote a cassette colpite alle reni (anche dette «ferite alle reni») ricevono l'acqua tra il vertice e il centro. Sono impiegate per medie cadute e la loro caratteristica è di ruotare nello stesso senso del moto dell'acqua. In questo modo si evita la perdita di caduta come invece accadeva nel primo tipo di ruota. L'energia dell'acqua non viene utilizzata in forma cinetica, ma solo per gravità.

Le ruote a palette colpite sul fianco vengono impiegate per cadute molto ridotte e portate grandi ma lente. Ricevono l'acqua sotto il centro, attraverso una luce «a stramazzo». Questa è la differenza rispetto ai tipi precedenti che avevano una luce «a battente». Anche in questo caso viene persa una parte di energia cinetica, quindi viene sfruttata maggiormente la gravità che perdeva forze al momento di arrivare allo scarico.

Le ruote a palette colpite per di sotto sono le uniche a sfruttare l'energia cinetica senza perderne. Sono impiegate per limitate portate d'acqua e hanno un discreto rendimento. Ruotano molto lentamente e non hanno bisogno di salti o di grandi portate. Sono anche semplicissime da costruire.

Nel Medio Evo la ruota idraulica fu largamente usata in Europa per una grande varietà di usi industriali. Il Domesday book, il catasto inglese compilato nel 1086, ad esempio cita ben 5624 mulini ad acqua quasi tutti del tipo vitruviano. Tali mulini vennero usati per azionare segherie, follatoi, frantoi di minerali oltre che di cereali, mulini a pestelli per la lavorazione dei metalli, per alimentare i mantici delle fornaci e per una varietà di altri congegni. Ebbero in questo modo una grande importanza anche sulla redistribuzione geografica delle attività industriali.

### Il mulino per cereali

Il termine mulino deriva dal latino "molinum" e dal termine più classico "pistrum-pestare" così inteso: mulino fornito di mola quindi di macina per pestare non solo i cereali ma anche altri materiali. Sicuramente i primi rudimentali mulini derivano dalle macine per cereali ad uso domestico, fatte girare dalla forza dell'uomo.

L'idea di imbrigliare la forza dell'acqua per azionare macchinari ed utensili risale a tempi remotissimi e la sua applicazione pratica, i mulini, utilizzata per almeno 2000 anni, fino all'era industriale, all'avvento dei motori a combustione e l'energia elettrica e, per applicazioni artigianali, anche fino a qualche decennio fa.

Nell'area mediterranea, per la scarsità d'acqua, erano preferiti macchinari nei quali la forza motrice erano gli animali e anche l'uomo, ma nell'area alpina e nel nord Europa, per la disponibilità di corsi d'acqua regolari e con molta portata, si diffuse lentamente la tecnologia che sfruttava la forza motrice delle pale azionate dall'acqua.

La tecnologia più antica, utilizzata per macinare, è a ruota orizzontale a palette o semicucchiache, dove la trasmissione del moto attraverso l'albero verticale era diretta: dalla ruota alla macina.

Ad ogni giro di ruota motrice corrisponde quindi un giro della mola superiore.

Nel mulino a ruota verticale, che successivamente soppianderà la tecnologia a ruota orizzontale in quanto maggiormente performante, per mezzo di un ingranaggio detto ruota dentata o anche lanterna, vi è la moltiplicazione dei giri ed anche il passaggio del movimento di rotazione da verticale nella ruota ad orizzontale nella mola.

Tra i primi documenti riguardanti i mulini ed il loro funzionamento vi sono quelli di Vitruvio, nel trattato De Architettura (25 a.C.), che descrisse un mulino che lavorava con una ruota verticale nell'ultimo secolo a.C., ma egli conosceva anche le ruote orizzontali. Ci sono poi gli scritti del poeta greco Antipatro di



Figura 53 - Mulino per cereali





Figura 54 - Mulino "per di sotto"



Figura 55 - Mulino "per di sopra"

Tessalonica, contemporaneo di Vitruvio, dove nell'Antologia Greca descrive il funzionamento di un mulino a ruota verticale.

La diffusione della ruota ad acqua per le attività pre-industriali si estese molto lentamente, con periodi di regressione dovuti alle invasioni barbariche del V e del IX secolo.

Fu però solamente a partire dall'XI secolo che la stabilità politica, la relativa prosperità economica e la notevole crescita demografica, posero le condizioni per un rapido imporsi delle attività artigianali e la crescita prepotente della produttività, con conseguente necessità di forza motrice per i primi, rudimentali ma efficaci, macchinari.

Questo fattore portò a ripercussioni politiche di non poco conto. Nell'economia feudale, il signore era proprietario dei terreni e di tutto quello che sopra di essi poggiava, intendendo con questo non solo tutti i manufatti produttivi, ma anche gli animali e gli stessi uomini, nonché l'uso di tutte le risorse naturali. Quindi anche l'acqua.

È con l'economia comunale che prese corpo il concetto di uso pubblico delle risorse e divenne attività artigianale il lavoro che un addetto, nel nostro caso parlando di mulini, il 'mugnaio', svolgeva da libero professionista svincolato dalla proprietà del feudo.

Conseguenza di questo fu il maturare l'idea che l'acqua, nel nostro caso, fosse materia strumentale al lavoro. Ecco quindi che per forza di cose dovesse essere rigidamente regolamentata e il suo uso soggetto a tassazione in quanto, dal suo utilizzo, se ne poteva ricavare un guadagno. Concetto che verrà sempre più esteso e rafforzato, fino ad arrivare alle estreme conseguenze ancora oggi in vigore. Si pensi, ad esempio, al monopolio idrico per la produzione idroelettrica o i rigidissimi vincoli per l'installazione anche di una semplice ruota ad acqua per far girare una giostrina improduttiva.

I mulini, pur mantenendo caratteristiche tecnologiche comuni, erano strumenti studiati di volta in volta alla destinazione d'uso funzionale ai compiti che dovevano svolgere e perfettamente integrati all'ambiente da cui prelevavano la forza motrice.

In montagna si sfruttava il salto d'acqua, quindi la forza d'urto di una maggiore pressione ma con minore portata, privilegiando la spinta 'per di sotto' (vedi più avanti) con ruote piccole, molto robuste e tecnologia rudimentale.

Nella foto un mulino di montagna, 'per di sotto', dalla tecnologia rudimentale, ma che sfruttava la velocità d'impatto dell'acqua. La ruota è relativamente piccola, la corona e l'albero molto robusti e pesanti anche per conservare una maggiore inerzia, le palette innestate direttamente sulla corona per permettere una facile sostituzione.

In pianura, non disponendo di adeguati dislivelli nel salto d'acqua, si optava giocoforza ancora per la tecnologia 'per di sopra', ma data la grande e costante portata d'acqua disponibile nel canale di alimentazione e la bassissima pressione e velocità, la ruota doveva essere molto grande, a volte anche gigantesca raggiungendo perfino i 10 metri, e la tecnologia molto sofisticata con le pale molto curate al fine di catturare la maggior spinta possibile

Tipicamente vi erano due soluzioni strutturali. Una casetta fissa in muratura o in legno con le ruote

poggianti su solide fondamenta, particolarmente adatta alle rogge di risorgiva con portate d'acqua costanti pressoché tutto l'anno. Una flottante, praticamente dei grandi barconi completamente in legno ancorati alla terraferma con cordame e ponticelli, tipica dei grandi fiumi di pianura dove vi era disponibilità di una grandissima massa d'acqua, ma a bassissima velocità e con il problema di una forte variazione stagionale del livello del fiume. Questo genere di mulini natanti era utilizzato esclusivamente per le macine di granaglie.

Un'altra soluzione prevede ruote con alimentazione 'dal di sopra', molto più efficiente e performante delle soluzioni precedenti, ma richiede un dislivello nel salto d'acqua pari almeno al diametro della ruota stessa. È la tecnologia più sofisticata in questo settore e necessita un accuratissimo sistema di alimentazione, ruota e pale costruite con molta precisione. Era diffusa soprattutto nelle aree collinari e pedemontane dove vi era una discreta e costante disponibilità d'acqua, anche se non con masse paragonabili a quelle ricavabili dai grandi fiumi di pianura.

Nella foto 54 una ruota di mulino alimentata 'per di sopra' di concezione ottocentesca molto sofisticata, parzialmente in ferro. Da notare la disposizione delle sedi delle assi delle cassette (ora mancanti), probabilmente in legno.

L'energia ricavata e disponibile sull'albero rotante all'interno dell'officina, fu per molti secoli sfruttata esclusivamente per le macine da grano e frantoi, cioè la rotazione costante di una grossa mola. Fu solamente nel XII secolo che venne inventato l'albero a camme, sostanzialmente dei grossi cunei innestati nell'albero rotante (o albero motore), che permisero l'utilizzo di macchinari a movimento discontinuo o alternato.

Ecco comparire i magli, grossi martelloni con la testa in ferro e come manico una trave di legno, sollevati dal cuneo della camma e lasciati cadere. E poi meccanismi per azionare i mantici. Con questa tecnologia si diffusero enormemente le fucine e la lavorazione del ferro battuto.

Il moto alternato permise l'invenzione delle segherie, di pestelli usati anche per tritare panni e scarti di segheria per produrre la carta, di folli per le lane.

Per trovare delle significative innovazioni bisogna giungere già in epoca industriale, alla fine del XIX secolo. Per la molitura dei cereali venne inventata la mola a cilindri, mentre tutta una serie di accorgimenti tecnici modificò significativamente le strutture meccaniche: ruote, pale e ruote dentate fatte in ferro, cinghie per la trasmissione della forza motrice, turbine idrauliche ad altissimo rendimento collegate a generatori elettrici.

Con quest'ultima tecnologia, per la prima volta nella storia, fu possibile disgiungere il luogo di produzione dell'energia dal luogo di sfruttamento della forza motrice.

Nella foto una grande ruota alimentata 'per di sopra', da notare l'accurata struttura della 'doccia' di alimentazione.

Splendido il 'design' delle quattro coppie per parte di razze che sostengono all'albero motore le due corone, perfettamente circolari, che supportano le cassette. Bellissimo ed ingegnoso anche il ponte, a due travi in legno, che sostiene dalla parte esterna l'albero della ruota. La piccola finestrella direzionata sulla 'doccia', la parte più delicata e critica, permetteva al mugnaio di tenere sotto controllo il funzionamento della ruota mentre era intento al lavoro nelle macine.

## **Tipi e tecnologie delle ruote idrauliche verticali**

### Modelli di ruota

1. Per di sotto: ruota detta 'a palette', dove l'acqua spinge le pale immerse nella corrente. Adatta a grandi volumi d'acqua con bassa velocità.
2. Per di sopra: ruota detta 'a cassetta', viene sfruttato il peso dell'acqua e non la sua velocità o spinta. L'acqua viene temporaneamente immagazzinata in piccoli contenitori, le cassette per l'appunto, sulla parte superiore della ruota e svuotate al compimento del semigiro inferiore. Questo sistema ha un rendimento maggiore rispetto agli altri tipi, non sono necessari grandi volumi d'acqua, ma necessita un dislivello almeno di poco superiore al diametro della ruota che deve essere di grandi dimensioni, richiede inoltre una tecnologia più raffinata nella regolazione e convogliamento dell'acqua, come pure nella costruzione della ruota.
3. A metà: detta anche 'di petto'. Rendimento intermedio rispetto alle precedenti, utilizzata quando il dislivello del salto d'acqua non era sufficiente per alimentare dal 'di sopra' la ruota. Si sfruttava quindi la velocità della piccola quantità d'acqua, dovuta al salto che veniva coperto negli ultimi metri prima di colpire le pale. Necessitava di un sofisticato sistema di canalette che dovevano colpire con precisione le pale, parzialmente strutturate 'a cassetta'.

### **Elementi costruttivi delle ruote e degli assi**

1. Albero: è l'asse di rotazione orizzontale, è detto anche albero motore in quanto, oltre a fare da perno per la ruota di forza, trasmette il movimento agli ingranaggi di distribuzione oppure, nei tipi più semplici, è provvisto di camme per trasformare il movimento rotatorio in discontinuo.
2. Razze e bracci della ruota. Sono gli assi di collegamento e trasmissione della forza dalle corone delle pale all'albero fulcro della ruota. I raggi della ruota insomma.
3. Corone: innestate nelle razze, sono la base di appoggio e sostegno delle pale. Come minimo troviamo quattro assi tagliate a quarto di cerchio a formare un cerchio intero, ma più spesso si tratta di una serie di tavolette a formare il cerchio tramite un sofisticato sistema di incastri ed innesti.
4. Pale: le assicelle trasversali innestate sulle corone adatte a sopportare la spinta dell'acqua.
5. Cassette: nelle ruote alimentate 'dal di sopra' sono delle assicelle opportunamente sagomate e a tenuta d'acqua, atte a raccogliere l'acqua dall'alimentazione nella parte sopra della ruota e scaricarla nella parte sotto.

### **Derivazione e regolazione del flusso d'acqua**

1. Presa: è l'opera muraria a monte di tutti manufatti costruiti per far funzionare il mulino, e serve ad innestare e ad alimentare la canaletta artificiale di trasporto dell'acqua verso le ruote. Si tratta in genere di una diga di sassi, muretti a secco oppure ancora di tronchi di legno, edificata allo scopo di innalzare il livello d'acqua e allo stesso tempo catturare la quantità d'acqua giusta e il più possibile con portata costante e scolmare l'acqua in sovrappiù.



2. Paratoia o saracinesca :valvola, spesso in legno, in epoche più recenti in ferro, che tramite un meccanismo a leva o a vite, permette di regolare la quantità d'acqua da far convogliare nella canaletta.
3. Canale o canaletta: detto anche roggia, è il canale artificiale che trasporta l'acqua dalle prese al sistema di distribuzione verso le ruote. Poteva essere una trincea scavata sul terreno, una canaletta di mattoni o muratura, oppure ancora in legno.
4. Serranda: altro tipo di valvola, con funzione di regolazione dell'acqua, ma in questo caso è posta sopra la doccia finale di alimentazione della singola ruota e tipicamente era azionata da un meccanismo a leva manovrabile direttamente dall'interno dell'opificio. L'acqua in più, o nel caso che si dovesse fermare e non alimentare la ruota, viene scaricata direttamente nel canale di scarico, baypassando la doccia di alimentazione.
5. Doccia: dopo la suddivisione e la regolazione tramite le serrande, è il tratto finale di canaletta indirizzato a colpire in modo adeguato le pale o ad alimentare le cassette.
6. Particolare delle serrande di regolazione dell'acqua da far scorrere nelle 'docce' di alimentazione delle ruote. Il meccanismo in questo caso è a leve, ma poteva anche essere azionato con corde e tiranti. Generalmente la regolazione avveniva direttamente dall'interno dell'officina in modo da modulare con precisione le necessità del lavoro.
7. Canale di carico: è il manufatto, praticamente il proseguimento della roggia, che permetteva lo sfogo dell'acqua dalle pale al torrente o fiume di alimentazione, restituendogli l'acqua prelevata per il lavoro.

### **Meccanismi interni nel mulino o nei magli**

1. Castello: nei mulini di macina per granaglie, è l'impalcatura della struttura interna, prevalentemente in legno, che sostiene tutti i meccanismi rotanti.
2. Nella parte inferiore si trovano gli ingranaggi e le ruote dentate; spesso la struttura è chiusa a protezione dei lavoratori.
3. Nella parte superiore, o sopra a formare un vero e proprio pavimento rialzato, sostiene le macine e gli strumenti di alimentazione della macina e la raccolta delle farine.
4. Tramite i vari meccanismi e ruote dentate, una singola ruota poteva muovere più macine, mentre nel caso vi fosse installato anche un pilaorzo erano necessarie due ruote esterne, in quanto il pilaorzo richiede una velocità di rotazione notevolmente diversa dalle macine.
5. Ruote dentate o lubecchi: è un meccanismo a ruota, posto tipicamente sotto il palco, che permette la variazione del moto da verticale della ruota a pale ad orizzontale sugli assi delle macine. Serve anche, a seconda del diametro e del numero di denti, alla variazione di velocità tra i vari elementi. Il disco della ruota presenta una serie di denti, anticamente in legno poi in ferro, di particolare forma e sezione adatti ad innestarsi alla corrispondente ruota che riceve il moto.
6. Lanterna o rocchetto: altro tipo di meccanismo per il passaggio del moto da un albero rotante ad un altro. A differenza del lubecchio, la lanterna anziché presentare dei denti assomiglia molto

di più, ma molto più piccola, ad una ruota a pale. Aniché pale sulla corona della ruota, sono innestate delle traversine cilindriche, dette fusoli, in legno atte a ricevere l'innesto dei denti della ruota dentata accoppiata. L'accoppiamento di queste due ruote di diverso diametro permette quindi di variare in maniera prefissata la velocità di rotazione dei due alberi.

7. Nottola: lastra in ferro sagomata a farfalla, con in centro un foro che va ad incastrarsi sull'asse dell'albero proveniente dalla lanterna. Si trovava sul pavimento del castello ed aveva la funzione di sostenere il grosso peso delle mole ed evitare gli attriti tra le parti in legno.
8. Temperatoia: meccanismo a leve che serve a modificare la distanza, l'aria, tra le due macine, permettendo, entro certi limiti, di variare il tipo e la grossezza del macinato.
9. Macine: la macina è formata da due mole dette anche palmenti fatte di grosse pietre (originariamente monolitiche) di forma circolare, di notevole diametro e conseguentemente di grande peso. La mola inferiore era fissa e poggiava sulla nottola del pavimento, quella superiore girava azionata dall'albero di forza, aveva inoltre un foro centrale attraverso il quale veniva fatto scendere il grano, regolato dalla tramoggia. Le macine erano fittamente incise con canalette dall'interno all'esterno, che andavano periodicamente revisionate, e a seconda della profondità, la forma, il numero delle razze e la finezza del taglio, erano adatte ai vari tipi di granaglia e alla grossezza delle farine che si volevano ottenere.
10. Tramoggia: cassetta quadrangolare in legno, che si restringe ad imbuto verso il basso, e racchiude il grano da macinare. È posizionata sopra la mola in corrispondenza del foro di alimentazione. La quantità da far scendere è regolata da una piccola valvola in legno. Un ingegnoso sistema collegato alle mole, permetteva di trasmettere le vibrazioni del moto delle ruote alla tramoggia, con lo scopo di favorire la discesa uniforme del grano.
11. Pilaorzo: mola in porfido o granito di forma particolare e con innestato un raschiatoio in ferro, lo sbattimento tra le superfici ed il rimescolamento del raschiatoio lo rende adatto alla brillatura (sbucciatura) dell'orzo e del miglio.
12. Pestello: anziché lavorare con moto circolare e sfruttare il peso delle mole per schiacciare i chicchi, il pestello lavora per moto alterno dato da un albero a camme ed opera una specie di pestaggio del materiale posto sulla coppa della macina tramite la testa cilindrica in ferro del pestello, regolabile in altezza a seconda delle diverse necessità. Permetteva quindi la brillatura (sbucciatura) dell'orzo, miglio e riso.
13. Maglio: grosso martellone con il manico formato da un trave di legno e la testa in ferro. Veniva sollevato da una camma dell'albero motore ed era usato nelle officine dove si lavorava il ferro battuto.
14. Mantice: aveva lo scopo di soffiare sul fuoco, prevalentemente di carbone, che serviva ad arroventare il ferro da battere. È formato da un grosso otre, generalmente a soffietto in pelle, e da una boccola di uscita dell'aria puntata sul fuoco. Viene azionato dal movimento alternativo di una camma dell'albero motore, che permette la gonfiatura ed il rilascio forzato della parte mobile del macchinario. L'ingresso e l'uscita forzata dell'aria era regolato da valvole in pelle.

15. Arganello: paranco, tipicamente con sistema a vite, agganciato al soffitto dell'officina adatto a sollevare la parte superiore, mobile, delle macine. Con il lavoro le mole si usuravano rapidamente e non macinavano più con cura il grano, il mugnaio doveva periodicamente revisionarle, anche ogni paio di settimane nei periodi di intenso lavoro. L'operazione era detta battere mola e consisteva nel riscoprire le incisioni, scalpellatura, sulla superficie di pietra della mola

### **L'idraulica araba**

Nel Medio Evo importante fu il contributo dato all'idraulica dall'Islam. Nell'area geografica interessata al primo sviluppo della civiltà islamica, furono realizzate importanti opere di canalizzazione per la bonifica e per la distribuzione dell'acqua, con largo impiego del sifone, pressoché sconosciuto precedentemente, ma ciò che più conta, l'Islam assicurò la continuità della conoscenza con le civiltà antiche in particolar modo con la cultura alessandrina. Quando nel Rinascimento si riscopri la civiltà classica e la sua scienza, in realtà si disponeva di tecniche molto più evolute che nell'antichità e di strumenti matematici molto più versatili quali la numerazione araba e l'algebra, anch'essa di derivazione araba.

Dei numerosi "architetti" che operarono nel Rinascimento il più significativo e più versatile fu Leonardo da Vinci (1452-1519). A Leonardo è dovuta una prima versione della conservazione della massa in un corso d'acqua in cui il prodotto tra la velocità media dell'acqua in una sezione e l'area della sezione medesima è costante, mentre, sempre Leonardo osserva, che la velocità dell'acqua è massima al centro del fiume, e minima sui bordi. In tempi recenti si è ricondotto lo studio della turbolenza a quello dei sistemi dinamici che conducono al caos deterministico. A tutt'oggi la vera natura dei moti turbolenti non è del tutto chiara e l'approccio probabilistico sembrerebbe non dovuto alla nostra ignoranza, ma insito nella essenza stessa del fenomeno, come in altri rami della Fisica. Si può concludere affermando che è più facile studiare il moto di corpi celesti infinitamente lontani che quello del ruscello che scorre ai nostri piedi. (Galileo Galilei: "Discorso intorno a due Scienze nuove".)

### **Le fonti di energia attuali**

Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti nell'antichità e per molto altro tempo, le sole fonti di energia erano la potenza muscolare dell'uomo e quella degli animali, la forza del vento e delle acque che scorrevano nei fiumi; il legno fu per millenni l'unica fonte di energia termica. A partire dal XVII secolo, a queste fonti energetiche si aggiunsero il carbone, poi, dal XIX secolo, il petrolio, il gas naturale e gli impianti idroelettrici; invece nella seconda metà del XX secolo nacquero le prime centrali nucleari. La produzione di carbone è aumentata nell'arco degli anni così come quella del petrolio, che ha raggiunto velocemente il primo posto come principale fonte energetica mondiale (circa il 50%), mentre il carbone fornisce appena un quarto dell'energia mondiale; più distaccati troviamo il gas naturale (20%), l'energia idroelettrica e termoelettrica (oltre il 5%). Oggi il petrolio è direttamente o indirettamente (come combustibile che alimenta le centrali termoelettriche) la principale fonte di energia utilizzata nella maggior parte dei Paesi; questo rende particolarmente gravi le crisi connesse all'aumento massiccio del prezzo di vendita del greggio, deciso nel 1973 dai grandi produttori.



Quando le condizioni economiche e sociali sono insoddisfacenti, i grandi giacimenti carboniferi e le notevoli risorse idroelettriche rimangono inutilizzati in molti Paesi. I grandi produttori di petrolio (Medio Oriente, Africa del Nord) hanno un consumo molto limitato della materia; al contrario molti Paesi le cui fonti di energie sono minime possono importare e utilizzare considerevoli quantità di energia (ad esempio la Danimarca). In passato il progresso tecnico si è sempre evoluto in base all'utilizzo dei combustibili non rinnovabili, come il petrolio, le cui riserve si erano accumulate in circa 70 milioni di anni.

### L'energia idroelettrica

Nell'attuale dibattito sull'energia quella idrica rappresenta un'energia rinnovabile. Questo tipo di energia è molto antico, infatti possiamo tranquillamente dire che le prime ruote idrauliche sono le "progenitrici" delle grandi turbine delle centrali idroelettriche moderne, che azionate dall'acqua, rappresentano il sistema più economico per produrre elettricità.

Queste turbine idroelettriche sono alimentate dall'acqua di enormi bacini artificiali delimitate da dighe; l'acqua cade dall'alto e precipita nelle condotte della centrale, provocando così la rotazione delle turbine e dunque la produzione di energia. Questo tipo di energia, in alcuni Paesi come la Norvegia, viene molto sfruttata, infatti quasi tutta la loro elettricità è ricavata da questa fonte naturale; questo perché l'energia idroelettrica è pulita, economica e abbastanza sicura.

Oggi ci si orienta a riattivare quelle piccole centrali idroelettriche che erano state disattivate in passato. Il funzionamento consiste nel raccogliere acqua in un bacino, farla defluire attraverso una condotta a valle, sfruttare l'energia posseduta dall'acqua nella caduta con una turbina accoppiata ad un alternatore. La quantità di energia che si produce è legata al salto e alla quantità di acqua.

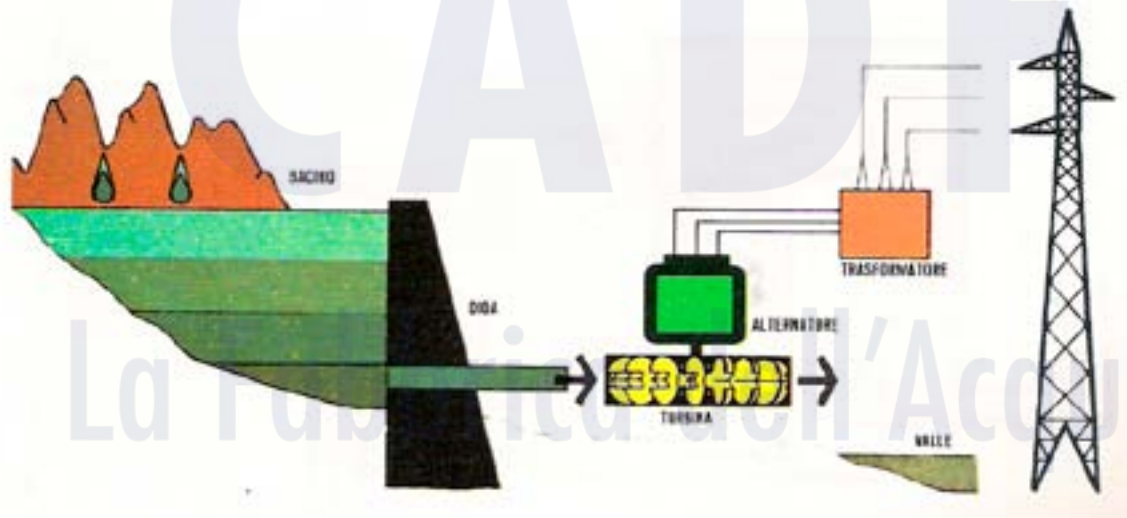


Figura 56 - Schema di centrale idroelettrica