

BREVE STORIA DEI MOTORI

Nella storia, i motori hanno trasformato il nostro mondo portandoci fin sulla luna.

Per tre secoli questi progetti ingegnosi hanno rappresentato la massima espressione umana del progresso tecnologico. Nell'arco di poche generazioni, i motori, continuamente migliorati, hanno influito profondamente sul modo di viaggiare e di lavorare. Le locomotive a vapore così, hanno preso il posto dei cavalli. I motori elettrici, a benzina e diesel hanno nel tempo, sostituito i veicoli a vapore. La realizzazione dei motori a turbina e a reazione poi, hanno fornito tante nuove possibilità d'impiego.

Sicuramente determinante per lo sviluppo dei trasporti, è stata la possibilità di poter disporre di mezzi di propulsione sempre più versatili ed efficienti.

LA MACCHINA A VAPORE

I primi mezzi di trasporto utilizzati sono stati gli animali, ma con l'arrivo del vapore si è potuto trasportare una maggiore quantità di materiali più rapidamente e con maggior sicurezza.

Come funziona un motore a vapore?

La parte centrale è costituita da un cilindro, all'interno del quale viene mosso un pistone: il vapore entra in un' estremità del cilindro, spingendo il pistone; successivamente viene fatto entrare nell'altra estremità, spingendo lo stesso pistone nella direzione opposta. Il vapore arriva da una caldaia, un semplice contenitore di metallo, all'interno del quale l'acqua viene portata ad ebollizione. Di solito i combustibili usati sono: il legno, il carbone, il petrolio o il gas naturale.

Circa 2000 anni fa, lo scienziato greco **Erone di Alessandria** inventò la prima macchina a vapore: l' **EOLIPILA**, che vuol dire “ sfera di Eolo”, anche conosciuta come “motore di Erone”.

Era essenzialmente una sfera cava di metallo, dalla quale fuoriuscivano due tubicini messi in due punti diametralmente opposti. I tubicini terminavano con due brevi tratti rettilinei che, rispetto all'asse centrale, avevano direzioni contrapposte.

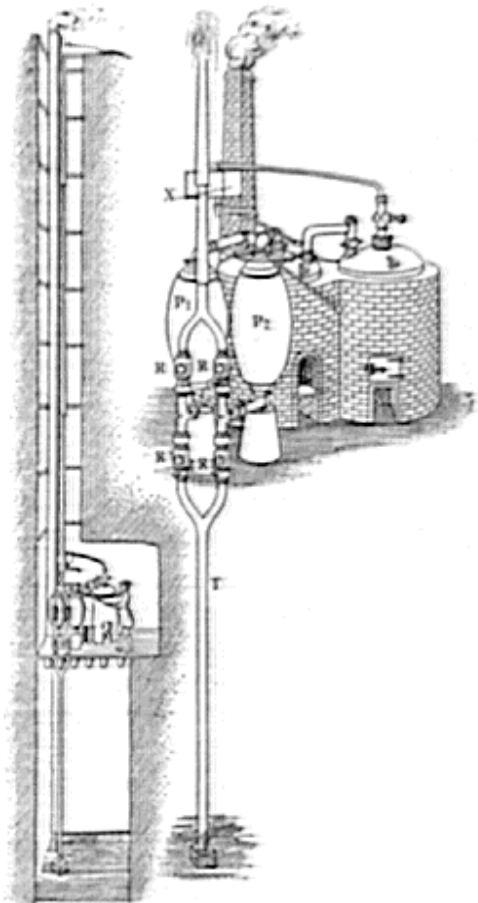
La sfera era libera di ruotare intorno ad un asse perpendicolare a quello dove erano messi i tubicini. Una fiamma riscaldava l'acqua con la quale era stata riempita la sfera.

Quando il liquido raggiungeva una temperatura sufficientemente elevata, il getto del vapore usciva dagli orifizi e faceva ruotare la sfera intorno al suo asse.



Eolipila di Erone di Alessandria

Per anni il meccanismo fu considerato alla stregua di un curioso giocattolo



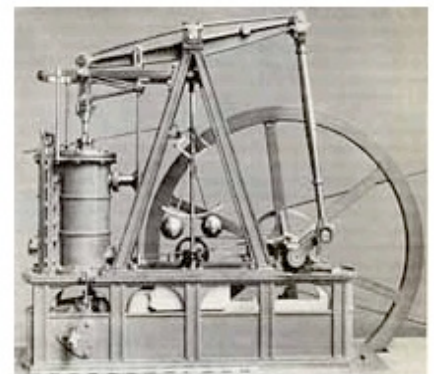
Nei primi anni del 1700 un ingegner inglese **Thomas Savery** inventò un grande motore a vapore, che venne utilizzato per togliere l'acqua dalle miniere di carbone allagate. Esso era munito di un pistone: una sorta di asta, che si muoveva avanti e indietro all'interno di un cilindro. Questo primo motore non era però provvisto dell'ingranaggio per la trasformazione del movimento lineare di andata e ritorno, nel movimento circolare.

Tale meccanismo fu introdotto solo nella seconda metà del '700, quando **James Watt** inventò quello che è tutt'ora considerato il motore a vapore più importante del XVIII secolo. Egli apportò delle importanti modifiche al precedente motore di **Newcomen**. Il motore di Newcomen infatti, produceva un movimento meccanico, basato sul moto alternativo di un pistone dentro un cilindro. Movimento che trasferito ad una barra oscillante, azionava una pompa idraulica. Tale motore però non operava a ciclo continuo, perché ad ogni movimento del pistone, bisognava riscaldare e

raffreddare nuovamente la camera, che ospitava il cilindro. Watt aggiunse alla macchina di Newcomen una seconda camera, il "condensatore". Fece scorrere cioè il vapore in due camere, una sempre calda e l'altra sempre fredda. Il vapore arrivava nel condensatore dopo aver spinto il pistone ed essere stato aspirato da una pompa, mossa a sua volta dallo stesso meccanismo. In questo modo non c'era più bisogno di riscaldare e raffreddare sempre il cilindro, come avveniva nella macchina di di Newcomen, ottenendo così un enorme risparmio di combustibile ed una maggiore efficienza.

Il condensatore permise inoltre, di operare *a ciclo continuo*.

Ancora altre migliorie furono apportate, per renderlo più adatto al movimento di macchinari.



macchina a vapore di James Watt



regolatore centrifugo di Watt

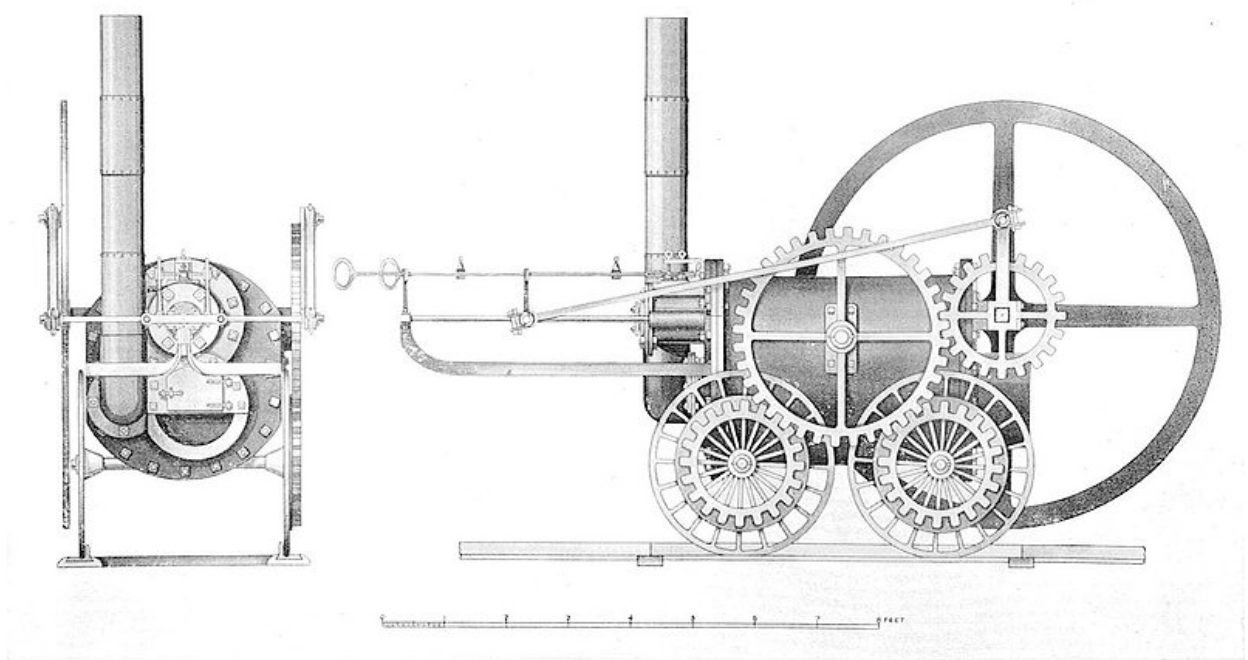
Il suo *regolatore centrifugo* infatti, si espandeva con l'aumentare della velocità: la forza centrifuga allontanava delle sfere di pesante metallo, che chiudevano parzialmente la valvola del vapore, facendo così rallentare la macchina.

In tal modo il meccanismo riusciva a controllare l'ingresso del vapore all'interno del cilindro, ottenendo un movimento uniforme e regolare.

I motori a vapore oltre a pompare l'acqua dalle miniere allagate, servivano anche ad azionare i macchinari nelle fabbriche, sfruttando il vapore a bassa pressione.

LA LOCOMOTIVA A VAPORE

Un giovane ingegnere minerario, **Richard Trevithick**, pensò di applicare l'esperienza delle macchine a vapore, per la realizzazione di un nuovo motore; sviluppò una tecnica a quei tempi ritenuta pericolosa. Usando una caldaia più piccola, ma molto resistente, riuscì a portare il vapore ad una pressione elevata. Rilasciando il vapore, Trevithick otteneva così una grande quantità di energia. Questa nuova tecnologia portò allo sviluppo di motori più potenti e meno ingombranti, che resero possibile la costruzione di macchine semoventi. Nel 1801, Trevithick sperimentò un mezzo mai visto prima, che chiamò “**Diavolo sbuffante**”: la prima locomotiva a vapore che andò purtroppo distrutta. Infatti, nonostante gli ingegnosi sistemi di sicurezza, il “Diavolo sbuffante” esplose. Nel 1801 però le strade non potevano sostenere l'impatto del velivolo di Trevithick, molto più pesante dei mezzi allora in circolazione. Egli comprese allora, che la soluzione poteva essere l'impiego delle rotaie, da anni in uso nelle miniere, per il movimento dei carrelli utilizzati per il trasporto del carbone. Nel 1803 il geniale ingegnere realizzò la prima locomotiva ferroviaria, utilizzandola nelle miniere per trainare i carrelli carichi di carbone.

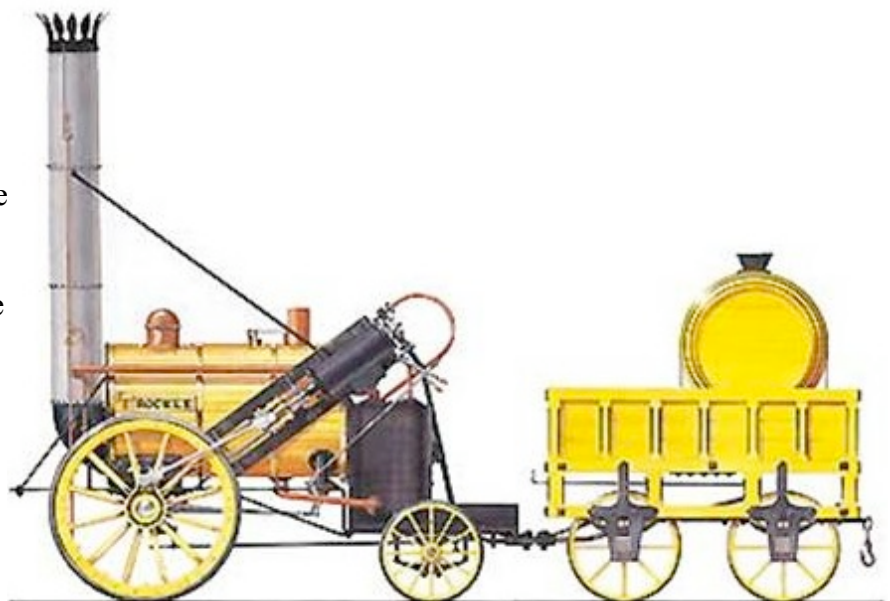


locomotiva di Trevithick del 1803

Numerosi furono quelli che seguirono le orme di Trevithick, fra questi: **George Stephenson** ed il figlio **Robert**. Essi avevano studiato un modello della sua locomotiva e nel 1829 ne realizzarono una in grado di trasportare passeggeri molto più velocemente. Costruirono il “**Rocket**”, oggi conservato al “National Railway Museum” di York.

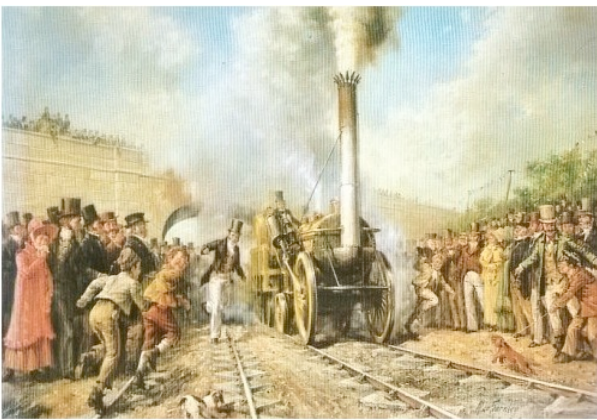
La grande intuizione degli Stephenson fu di impiegare nella loro macchina, tutte le innovazioni tecnologiche allora conosciute, sviluppandole ulteriormente. In particolare, uno dei segreti del successo di quello, che possiamo definire il loro motore, fu il posizionamento dei cilindri a 45° rispetto al senso di marcia e non perpendicolarmente, come le macchine a vapore allora in uso.

Con questa modifica, vennero diminuite drasticamente le vibrazioni, a vantaggio dell'efficienza e della velocità. Il grande segreto di questa nuova locomotiva, si trovava però all'interno



la locomotiva Rocket di George Stephenson

della caldaia. Gli Stephenson infatti, ne aumentarono il rendimento, sostituendo l'unico tubo presente all'interno delle precedenti caldaie, con ben 25 tubi di appena 7 centimetri di diametro. In tal modo si otteneva una superficie cinque volte maggiore per scaldare l'acqua in essa contenuta, potendo così rapidamente produrre un'enorme quantità di vapore. Il motore inoltre, fu ulteriormente perfezionato, sfruttando il vapore di scarico dei cilindri. Questo infatti veniva forzato fino al fumaiolo del focolaio, la sua risalita creava una depressione tale, da risucchiare l'aria nella parte posteriore del focolaio stesso. Con un tale incremento di ossigeno, migliorando la combustione, la temperatura nella caldaia aumentava e di conseguenza il rendimento della macchina. Con questi accorgimenti tecnici il "Rocket", nella corsa di prova, fu in grado di trainare un treno di 14 tonnellate, alla velocità massima di 46 km/h, riuscendo a mantenere una velocità media di circa 26 km/h.



Gli Stephenson presentarono la loro locomotiva durante una competizione, la **Rainhill Trials**, indetta per valutare il migliore mezzo di trasporto su rotaie e per scegliere quale locomotiva usare sulla linea Liverpool - Manchester. Il Rocket sbaragliò tutti gli altri concorrenti.

La diffusione del trasporto su rotaia modificò radicalmente la società: le distanze finalmente, non rappresentarono più un problema insormontabile.

LA TRAZIONE FERROVIARIA

Soffermiamoci brevemente sui motori utilizzati nelle ferrovie.

Per "trazione ferroviaria" si intendono tutti quei sistemi attuati o semplicemente sperimentati, per muovere i treni.

Fu la macchina a vapore che per prima, sostituì l'impiego degli animali, nel trainare i carrelli di carbone nelle miniere. Macchina a vapore, che consentì il rapido diffondersi delle ferrovie in tutto il mondo, tra il XIX e il XX secolo.

Inizialmente le caldaie erano alimentate a legna o a carbone. Dalla metà del XX secolo, si cominciò ad usare l'olio combustibile e la nafta. Vennero realizzati esperimenti per l'utilizzo anche del gas metano, che fu però presto abbandonato, a causa di numerosi e gravi incidenti.

Il XX secolo ha visto il diffondersi della "**trazione elettrica**". Oggi è il sistema tecnologicamente più evoluto ed è utilizzato, in tutte le ferrovie ad "alta velocità".

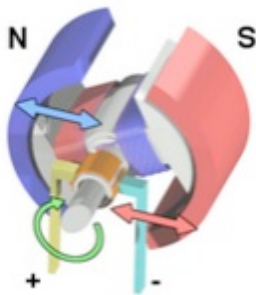
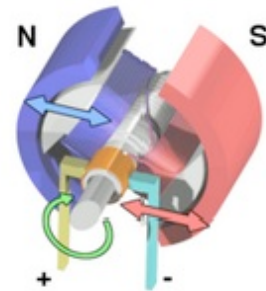
L'affermarsi di questo propulsore, è dovuto, specialmente nelle linee ad intenso traffico, alla sua maggiore affidabilità elettromeccanica, all'economicità di esercizio e, aspetto non secondario, allo scarso impatto ambientale di questi motori. Un ulteriore vantaggio dei motori elettrici, è rappresentato dalla possibilità di impiegare meccanismi per il recupero di energia, sia durante le discese che durante le frenate.

Ma come funziona un motore elettrico?

Esso è costituito essenzialmente da una parte esterna fissa (**statore**) e da una interna rotante (**rotore**). La corrente elettrica che percorre gli avvolgimenti di rame contenuti nello statore, genera una forza elettromagnetica, che agisce sul rotore, dando luogo a una coppia motrice.

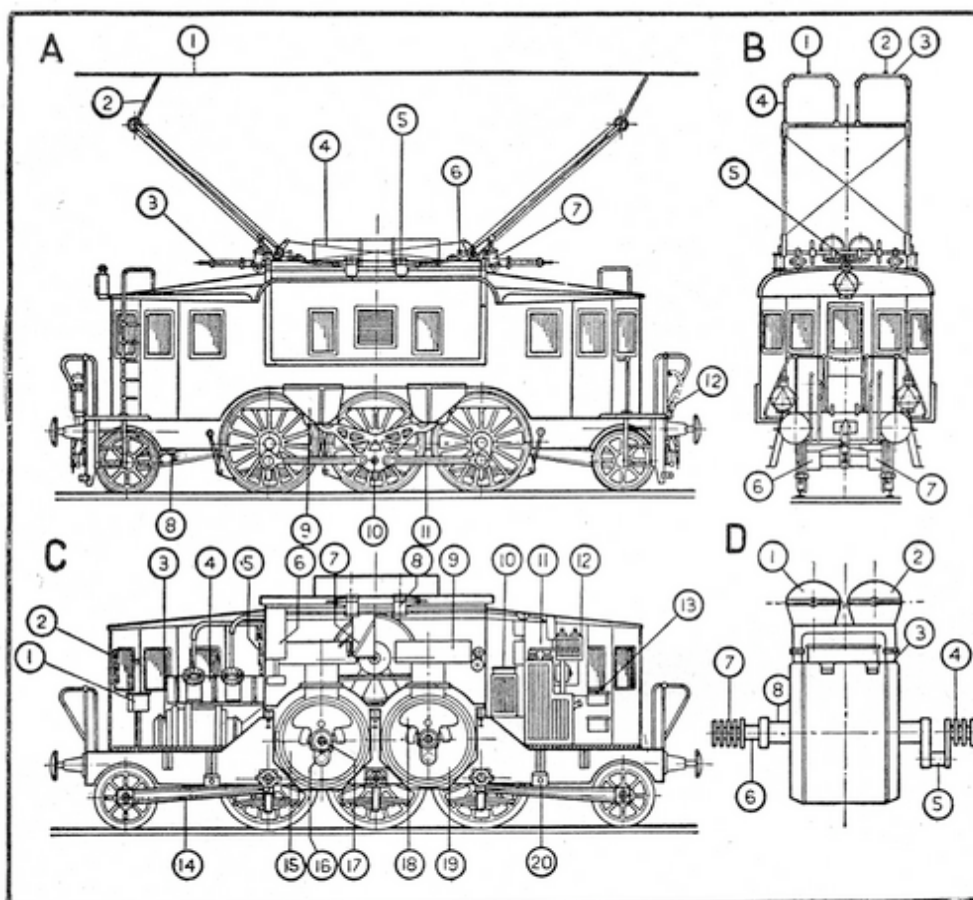
Semplificando, possiamo dire che la corrente, scorrendo negli avvolgimenti, genera un campo magnetico intorno al rotore.

La parte sinistra del rotore è respinta dal magnete di sinistra poiché ambedue hanno la stessa polarità mentre è attratta da quello di destra, perché di differente segno. La stessa cosa avviene con la parte di destra. La coppia così generata, provoca la rotazione.



Quando il sistema si allinea orizzontalmente, il commutatore inverte la direzione di corrente attraverso gli avvolgimenti, modificando il campo magnetico. Si torna così alla situazione iniziale ed il ciclo ricomincia.

In virtù del tipo di corrente di alimentazione, distinguiamo motori elettrici a “corrente continua” (strutturalmente simili alle dinamo) da quelli a “corrente alternata” (alternatori); a loro volta divisi in “motori asincroni”, di gran lunga più usati, e “motori sincroni”, che pur mantenendo una velocità rigorosamente costante, qualunque sia il carico ad essi collegato, non possono avviarsi da soli.



Locomotore elettrico trifase. A, vista longitudinale: 1, linea di contatto; 2, archetto presa di corrente; 3, comando trolley; 4, serbatoio manovra trolley; 5, passaggi cavi; 6, cilindro comando trolley; 7, moderatore; 8, carrello a bilanciare; 9, custodia collettore; 10, biella triangolare; 11, biella d'accoppiamento; 12, accoppiamento condotta freni. — B, visto di fronte: 1 e 2, fasi di contatto; 3, archetto presa di corrente; 4, bastoni isolanti degli archetti; 5, comando trolley; 6 e 7, appoggi carrello. — C, sezione longitudinale: 1, banco di manovra; 2, strumenti di controllo; 3, trasformatore divisori; 4, compressori; 5, quadro servizi ausiliari; 6, interruttore principale; 7, interruttore automatico; 8, entrata cavi; 9, controller di commutazione motori; 10, trasformatore servizi ausiliari; 11, reostato a liquido (avviamento); 12, regolatore chiusura corto circuito motori; 13, banco di manovra; 14, carrello a bilanciare; 15, motore 1; 16, manovella; 17, anelli collettori; 18, contrappeso; 19, motore 2; 20, fulcro carrello. — D, motore di trazione: 1 e 2, controller; 3, passaggio delle connessioni avvolgimento; 4, 7, anelli collettori; 5, 6, bottoni di manovella; 8, asse motore.

Naturalmente anche i motori endotermici, a benzina e diesel, sono stati applicati in campo ferroviario. Con il tempo, l'impiego di motori diesel ha decisamente sostituito quelli a benzina. E' doveroso ricordare alcuni tentativi con propulsori a turbina di derivazione aeronautica ed altri con trazioni ad elica, ma i risultati furono deludenti.

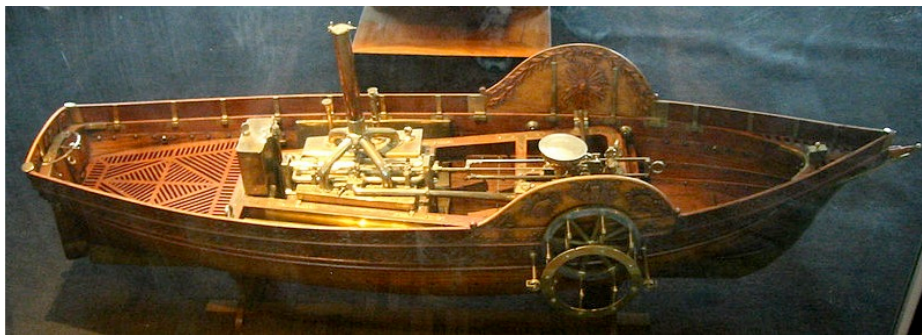
Ma torniamo ai motori a vapore.

LE NAVI A VAPORE

Compreso che il motore a vapore poteva rappresentare un ottimo propulsore marino, iniziarono esperimenti per la realizzazione di motori adatti ad un impiego navale.

Le prime imbarcazioni motorizzate non erano molto diverse da quelle che in quel periodo, solcavano i mari. Avevano infatti sempre vele ed alberi, ma la differenza risiedeva nella grande ruota a pale, posta al centro della nave e azionata da un motore a vapore. Essa forniva maggior potenza all'imbarcazione e la rendeva autonoma dai capricci del vento. Le navi a vapore, così come le linee ferroviarie, diminuirono enormemente i tempi di percorrenza nelle lunghe distanze.

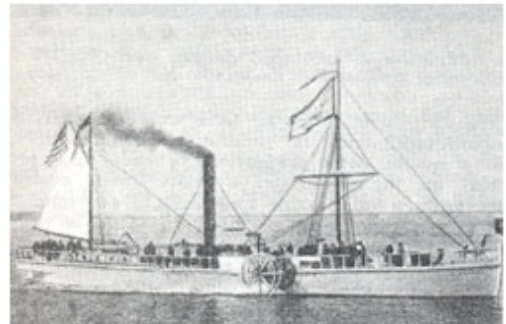
Il primo prototipo di **nave a vapore** o **piroscafo** o, più semplicemente detto “**vapore**”, fu varato nel 1783 da **Claude de Jouffroy**.



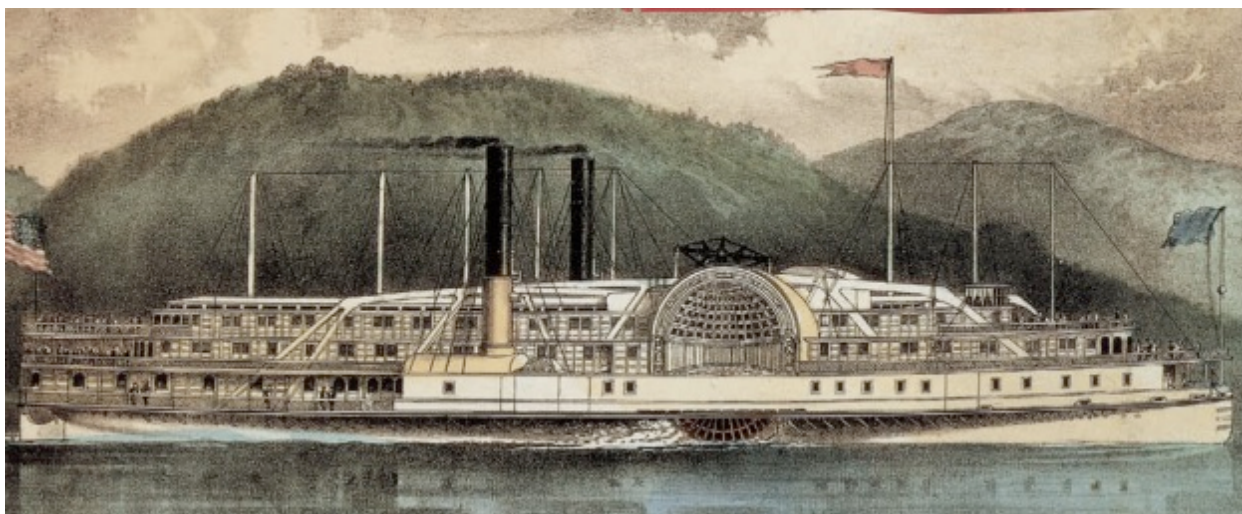
modello del battello a vapore di Claude de Jouffroy

Il 22 agosto del 1787 **John Fitch** viaggiò con un battello a vapore da Filadelfia a Trenton sul fiume Delaware. Nel 1803 **Robert Fulton** fece navigare sulla Senna un battello di 20 metri, alla velocità di 3,5 nodi, e fu lo stesso Fulton a costruire il famoso *Clermont*, che percorse il fiume Hudson per 460 Km, alla velocità di 5 nodi. Questo battello aveva una potenza di 18 cavalli ma fu distrutto subito dai barcaioli che lavoravano sul fiume, per paura di rimanere senza impiego. Oramai era inutile ribellarsi al progresso tecnologico poiché la propulsione meccanica eliminava la fatica ed i perfezionamenti andavano aumentando con il tempo.

Nella seconda metà del 1800, le navi a vapore viaggiavano regolarmente attraverso l'Atlantico.



Il Clermont di Robert Fulton



La navigazione regolare di questi battelli cominciò agli inizi del 1800 e soltanto in acque interne, poiché venivano ritenuti non adatti alla navigazione d'altura.

La cultura del veliero era ancora saldamente radicata nell'immaginario collettivo ed inoltre bisognava risolvere un altro problema: la scorta del combustibile. E' emblematico quello che avvenne nel 1838: durante la prima traversata atlantica a vapore il *Sirius* riuscì a superare il *Great Western*, ma dovette bruciare persino l'arredamento delle cabine per mantenere in funzione la caldaia.

La soluzione alla necessità di tanto combustibile era quella di disporre di stive capienti. Fu chiaro che questo tipo di propulsore si conciliava meglio con navi più grandi, che potevano quindi avere una maggiore autonomia.

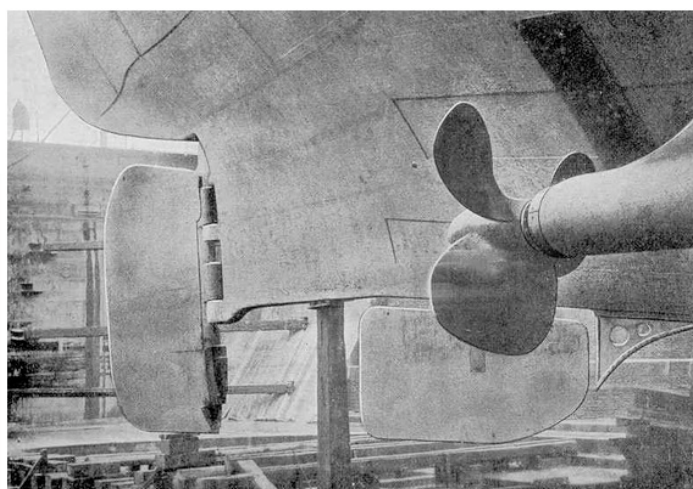
Ma un altro problema della navigazione d'altura, era rappresentato dalla posizione delle due grandi ruote laterali.

In caso di forte "rollio" infatti, una delle due ruote poteva uscire fuori dall'acqua, con il rischio che questa, ormai priva di resistenza, iniziasse a girare all'impazzata ed il motore potesse danneggiarsi.

Il diffondersi dell'elica al posto delle ruote a pale, risolse il problema della navigazione in mare aperto. Infatti l'elica sommersa, non interferiva con il moto ondoso. La ruota a pale, molto suggestiva, fu mantenuta ancora per un secolo, solo sui fiumi e sui laghi.

Il passaggio poi alla costruzione di navi completamente in metallo, rese le strutture di queste più resistenti alle vibrazioni dei motori a vapore.

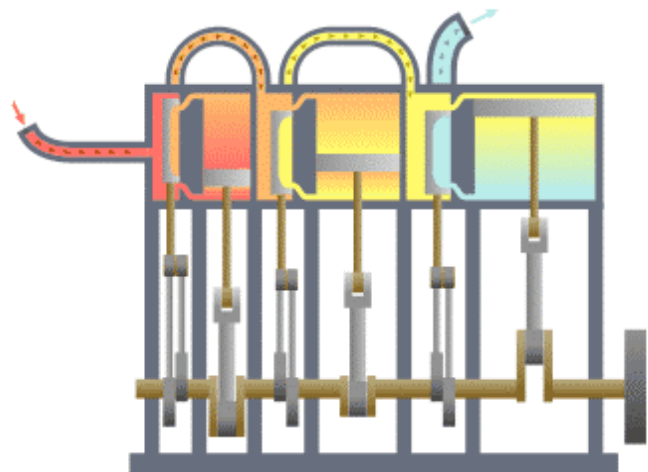
La prima nave interamente metallica, fu costruita nel 1843 ed era una nave con propulsione mista: a vela e a vapore.



Già dopo qualche anno però, i battelli e i piroscafi a vapore superarono i velieri per numero e, con l'apertura del Canale di Suez, intransitabile per le navi a vela, ci fu la definitiva scomparsa dei velieri nella marineria mercantile.

Il motore a vapore subì nel tempo importanti modifiche, come quella dell'introduzione di **motori a doppia e tripla espansione**.

Dalla seconda metà del 1800, la quasi totalità dei motori a vapore era del tipo a tripla espansione: i diversi stadi lavoravano con pressioni di vapore decrescenti, in modo da sfruttare meglio la pressione degli scarichi degli stadi precedenti, con il conseguente recupero di un po' di potenza.



motore a vapore a tripla espansione

La motrice a vapore andò definitivamente in pensione dopo la Seconda Guerra mondiale ma piroscafi ancora funzionanti, sopravvivono oggi a scopo prevalentemente folcloristico.

IL CARRO DI CUGNOT

La disponibilità del motore a vapore diede la possibilità ad un ingegnoso costruttore, lo svizzero **Nicolas Cugnot**, di realizzare nel 1769, un carro militare a tre ruote, destinato al traino dei pesanti pezzi di artiglieria. Fu il primo automezzo meccanico a muoversi autonomamente per strada.



Il carro misurava più di 7 mt di lunghezza, 2 mt di larghezza e con un peso di circa 4 tonnellate. Poteva trasportare 4 persone. Fu realizzato con una caldaia sistemata anteriormente e due stantuffi verticali che, alternandosi, facevano girare la ruota motrice, posta sul

davanti. Essa poteva anche essere orientata, permettendo così al mezzo di sterzare. Il suo ingombrante motore spingeva il carro ad una velocità paragonabile a quella di un uomo: intorno ai 3 Km orari. Il Carro di Cugnot aveva però un inconveniente: allo scoccare del quarto, non produceva più vapore perché l'acqua della caldaia si esauriva.

IL MOTORE A SCOPPIO

L'arrivo del motore a scoppio diede vita ad una vera e propria rivoluzione. In esso il movimento alternato dei pistoni all'interno dei cilindri, veniva trasformato nel moto rotatorio dell'albero motore. L'origine del motore a scoppio o **Motore a Combustione Interna (MCI)**, risale alla metà del XIX secolo, quando, in diverse regioni europee, iniziarono i primi esperimenti, nel tentativo di produrre energia meccanica dal calore.

I primi tentativi di ottenere lavoro meccanico dall'esplosione di polvere pirica, furono realizzati con scarsi risultati, da **Jean de Hautefuille** e **Christian Huygens**, verso la fine del 1600. Seguì un

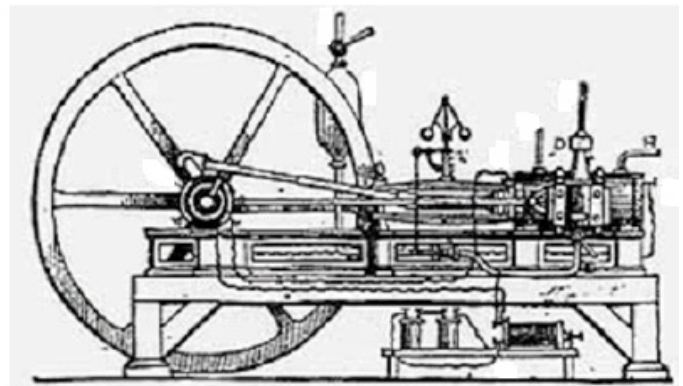


il primo motore di Barsanti e Matteucci

periodo di stasi, durato circa un secolo. All'inizio del 1800 **Lebon d'Humbersin** realizzò i primi esperimenti con gas illuminante. Dopo di lui altri tentarono di realizzare motori dello stesso tipo, ma il primo motore funzionante con una certa regolarità, fu quello di **Barsanti e Matteucci**. Potremmo assumere, come data ufficiale della nascita del motore a scoppio, il 5 giugno 1853, data in cui padre Eugenio Barsanti e l'ingegner Felice Matteucci, allo scopo di tutelare la priorità della loro invenzione, depositarono, alla segreteria dell'Accademia dei Georgofili di Firenze, in assenza di un Ufficio Brevetti Nazionale, un plico contenente una memoria dove venivano descritti dettagliatamente una serie di esperimenti da loro eseguiti, sulla trasformazione dell'energia esplosiva di un gas,

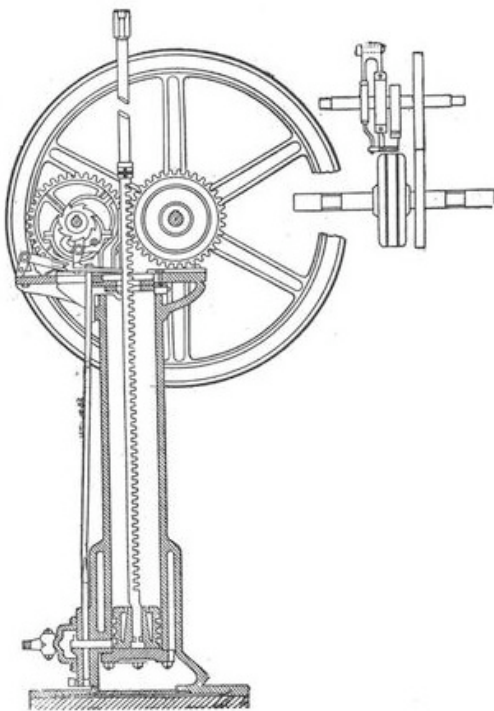
in lavoro meccanico. Questo venne riconosciuto a tutti gli effetti, come il primo motore a combustione interna. Nel 1854 ottennero a Londra una prima certificazione. Seguirono poi brevetti rilasciati in diverse Nazioni Europee. Nel corso degli anni, Barsanti e Matteucci continuarono a migliorare il motore, sviluppandone modelli diversi. Fondarono una Società e realizzarono i loro dispositivi presso importanti officine meccaniche italiane ed estere.

Nonostante i documenti comprovassero la priorità dell'invenzione, la sua superiorità tecnica ed il riconoscimento ricevuto dagli ambienti specializzati, solo i motori di **Jean Etienne Lenoir** (che nel 1859 sviluppò un motore a combustione interna), di **Nikolaus Otto** e **Eugen Langen** (del 1866) ottennero ampia fama. Oggi comunque, il ruolo di Barsanti e Matteucci viene riconosciuto a livello internazionale.



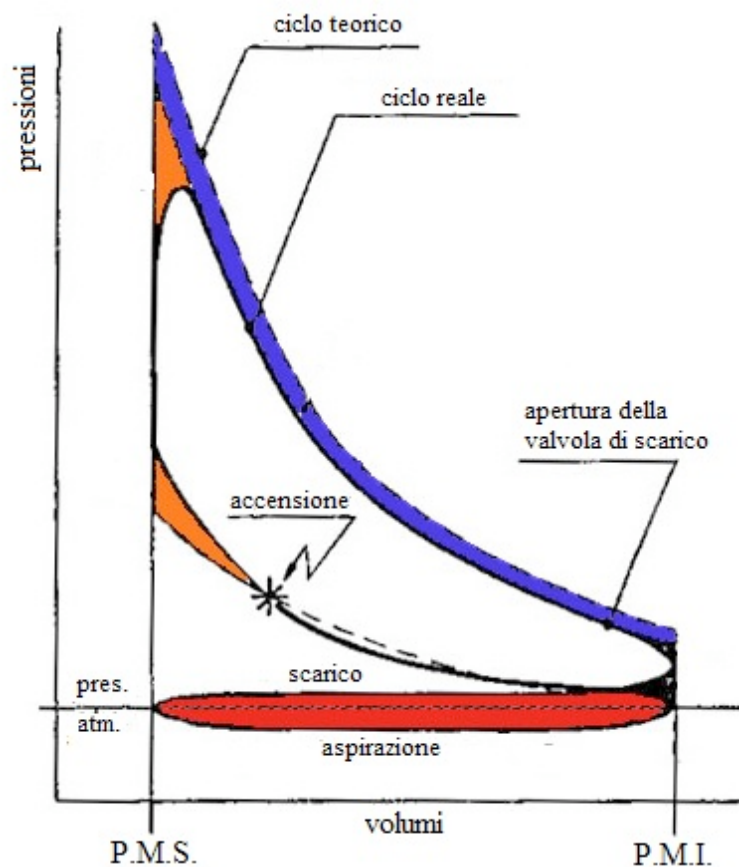
motore di Lenoir

Come i primi motori a vapore, anche il motore a scoppio venne inventato per prosciugare le miniere di carbone. Il successo fu immediato.



motore Otto e Langen del 1867

Nel 1867 **Otto e Langen** presentarono all'Esposizione Internazionale di Parigi, un motore sostanzialmente uguale a quello di Barsanti e Matteucci. Ne perfezionarono il sistema di trasmissione, utilizzando il manovellismo di spinta e ne realizzarono circa 5.000 esemplari. Nel 1876 realizzarono inoltre, un motore a quattro tempi, basato sul ciclo di **Beau de Rochas**. Tale motore ebbe un tale successo, che oggi chiamiamo “ciclo Otto”, quello ideato da Beau de Rochas. Il successo di questo motore fu enorme; vennero prodotti circa 50'000 esemplari.

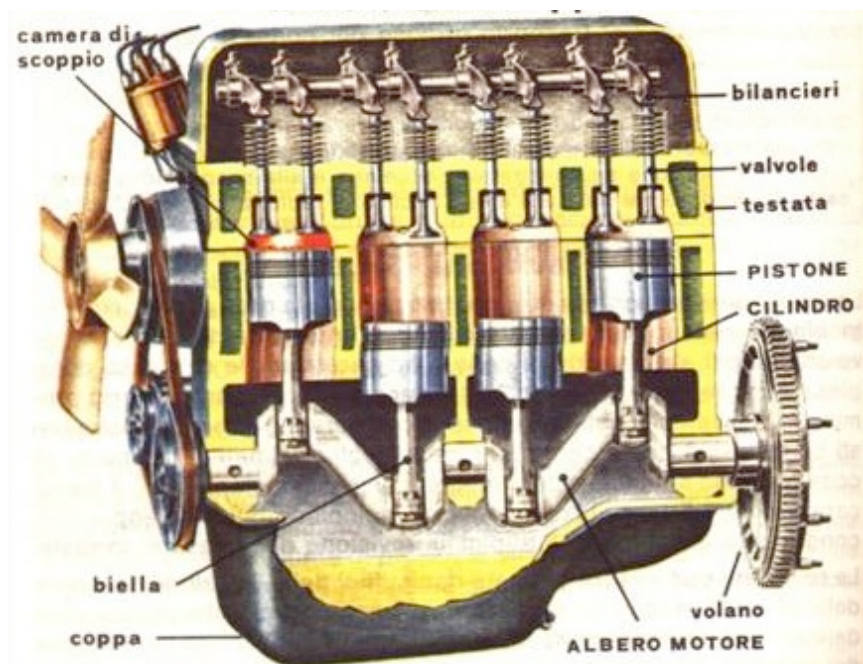


confronto fra il ciclo Otto teorico e reale

Nel 1892, **Rudolf Diesel** brevettò il motore “Diesel”, simile al motore a combustione interna ma senza candele. Questi motori, grazie alla loro straordinaria potenza, vennero montati sui grandi camion ed installati su macchinari pesanti. Durante le due guerre mondiali, la produzione dei motori raggiunse livelli mai visti. Se ne realizzarono di ogni tipo e dimensioni per camion, carri armati, navi ed aerei.

Sino agli anni '50 la produzione si concentrava sulla fabbricazione di motori più potenti e con minori spese di produzione. Ma con la comparsa dello smog, l'evoluzione tecnologica dei motori ha dovuto seguire un'altra direzione, introducendo negli anni '60 e '70, sistemi di controllo contro l'inquinamento. Grazie a tali sistemi via via sempre più raffinati, le case automobilistiche hanno ridotto sensibilmente le emissioni di gas nocivi.

Ma come funzionano i motori a combustione interna?



struttura di un motore a combustione interna

I motori a combustione interna vengono classificati in base al sistema di accensione, utilizzato per provocare la combustione. Distinguiamo quindi i motori ad “**accensione comandata**” da quelli ad “**accensione per compressione**”: i Diesel.

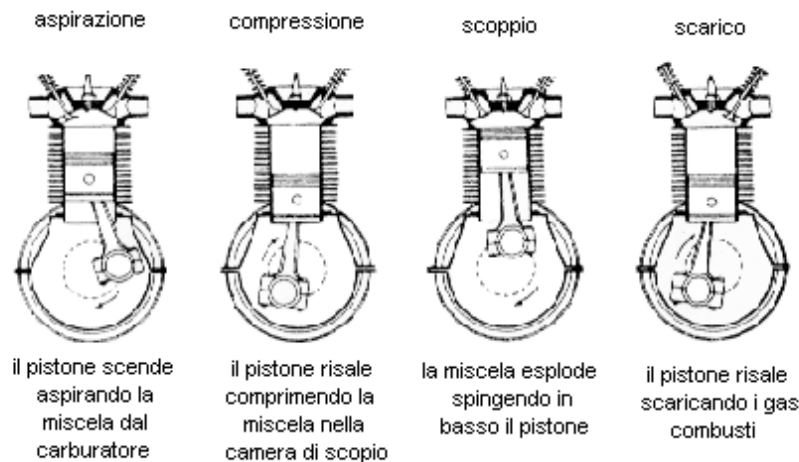
In entrambi troviamo le fasi già descritte nel testo:

- **aspirazione;**
- **compressione;**
- **scoppio/combustione;**
- **scarico.**

Nei primi, i “motori ad accensione comandata”, viene usato un carburante facilmente vaporizzabile come la benzina, dove la miscela esplosiva (aria-benzina) viene preparata prima, fuori o dentro il cilindro stesso e mediante una scintilla provocata da una candela, si innesca la combustione.

Nei secondi, i “motori ad accensione per compressione”, vengono usati combustibili meno volatili come olio, diesel e nafta pesante. Questi iniettati a pressione in quantità opportune nei cilindri, nel momento in cui l'aria è fortemente compressa e ad elevata temperatura, miscelandosi con quest'ultima, si incendia realizzando la combustione.

Nei motori a benzina la compressione operata dal pistone, mentre risale verso la testata del cilindro, non è tale da riscaldare la miscela fino al punto di autoaccensione, per cui c'è bisogno della scintilla prodotta dalla candela.



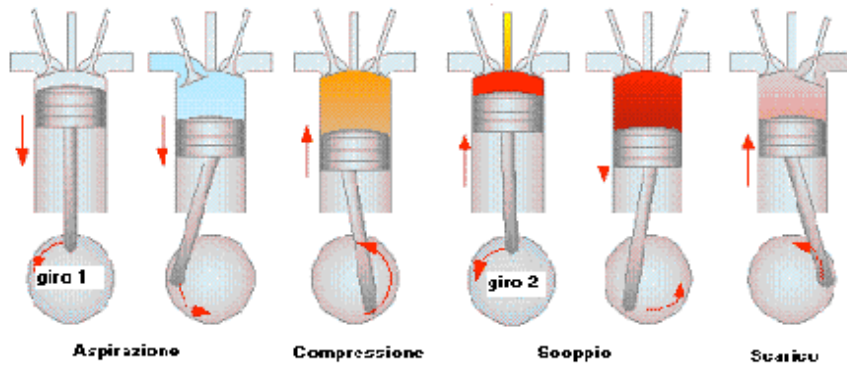
fasi di un motore 4 tempi a benzina

Nei motori Diesel invece, l'aria fatta entrare preventivamente nei cilindri, viene riscaldata per forte compressione durante la salita del pistone e iniettando il combustibile nebulizzato e a pressione, si genera la miscela che brucia spontaneamente perché si trova alla temperatura di autoaccensione. In tutti i tipi di **motore diesel**, sia a 4 che a 2 tempi, è necessario un elevato **rapporto volumetrico di compressione***, per consentire all'aria di raggiungere le pressioni e le temperature utili ad innescare l'autoaccensione della miscela. Questo richiede cilindri più grandi e quindi più ingombranti inoltre le elevate temperature e pressioni richiedono maggiore robustezza.



* rapporto fra il volume della camera di scoppio più la cilindrata ed il volume della camera di combustione

$$\text{rapporto di compressione} = \frac{\text{camera di combustione} + \text{cilindrata}}{\text{camera di combustione}}$$



fasi di un motore 4 tempi Diesel

Per funzionare, i motori utilizzano dei sistemi definiti impianti, relativi a:

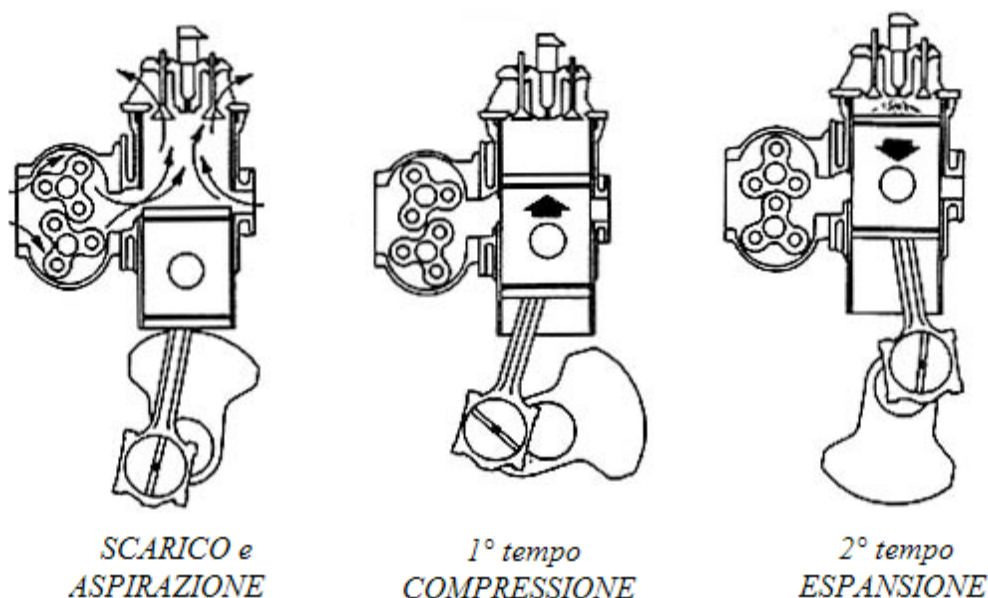
- **l'accensione**, ma soltanto nei motori ad accensione comandata;
- **l'alimentazione**;
- **l'avviamento**;
- **il raffreddamento**;
- **lo scarico**.

Utilizzata l'energia, i gas combusti vengono solitamente eliminati attraverso la valvola di scarico. Nei **motori compressi** invece, i gas combusti vengono fatti passare attraverso una **turbina a gas** che recupera una piccola quantità di energia, sufficiente a comprimere l'aria, miscelata poi con il carburante.

Nel 1879 Clerk inventò il **motore a due tempi**.

Confrontando un *motore a 4 tempi* con uno a *2 tempi*, notiamo delle sostanziali differenze.

Nel motore a 4 tempi ci sono le “**valvole di aspirazione e di scarico**” (valvole di distribuzione), sulla testata del cilindro. Nei motori a 2 tempi invece, abbiamo le cosiddette “**luci di aspirazione e di scarico**” (fori con condotti praticati sulla parete del cilindro), che vengono aperte o chiuse dal pistone stesso, durante la sua corsa.



funzionamento di un motore a 2 tempi

In questo motore l'aspirazione e la compressione avvengono in una sola corsa del pistone durante la salita, mentre la combustione, l'espansione e lo scarico, avvengono nell'altra corsa, la discesa.

Nel motore a 2 tempi, dopo la combustione e durante l'espansione, si aprono prima le luci di scarico, dalle quali escono spontaneamente, attraverso il collettore di scarico, i gas della combustione. Nella fase successiva, mentre il pistone scende, si aprono anche le luci di immissione dell'aria, chiamate luci di lavaggio, poiché l'aria o la miscela che entra nel cilindro, serve inizialmente a spazzare i rimanenti gas della combustione.

Per realizzare un buon lavaggio, quando la carica fresca è costituita di sola aria, si fornisce a questa, una sovrappressione mediante un compressore, detto impropriamente pompa di lavaggio.

I MOTORI MARINI

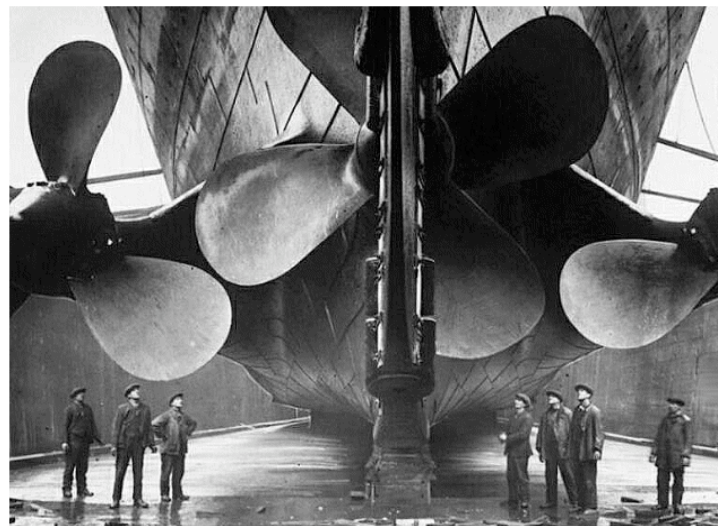


alberi a gomito fucinati per grandi motori marini

I propulsori marini sono di diverso tipo, proprio perché sono tanti gli impieghi ai quali sono destinati. Il motore di una piccola barca da diporto infatti, dovrà sviluppare delle prestazioni completamente diverse da quelle di uno yacht da crociera, così come le potenze e le accelerazioni necessarie ad un cargo, sono diverse da quelle richieste ad una nave militare.

Nel panorama dei motori marini troviamo quindi, oltre ai motori a vapore, motori diesel e benzina a 4 tempi e a 2 tempi, motori elettrici e turbine a gas, per citarne alcuni fra i più usati.

Circa i motori a vapore e alternativi, molto è già stato detto. E' necessario però spendere ancora qualche parola sui motori Diesel. I **motori diesel marini** hanno delle caratteristiche particolari. Distinguiamo i motori a 2 tempi lenti, dai motori a 4 tempi medio-veloci. Nei diesel a 2 tempi lenti, le eliche sono grandi perché girando a basse velocità, solo la loro grandezza può assicurare la spinta necessaria. E' proprio questa condizione a fornire il massimo rendimento. L'elica grande può essere però usata solo su grosse navi, che abbiano cioè un elevato pescaggio.



le tre grandi eliche del Titanic

Con questi motori, l'accoppiamento dell'albero motore con l'elica è diretto, poiché entrambi possono avere lo stesso numero di giri al minuto. Nei diesel 4 tempi veloci e medio-veloci, le eliche sono un

po' più piccole e sono accoppiate al motore, tramite un riduttore di giri.

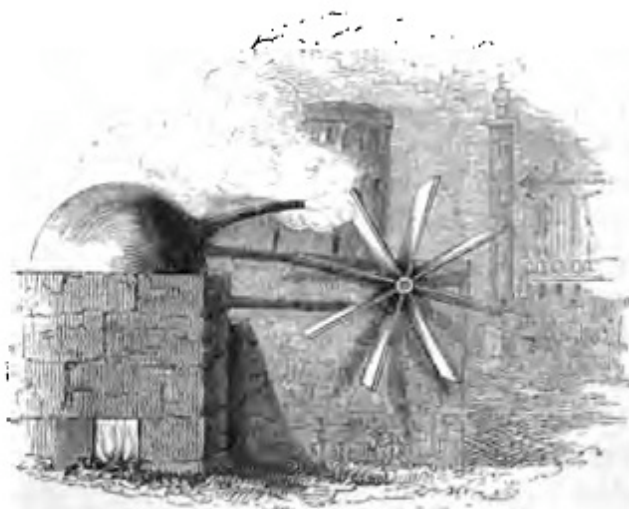
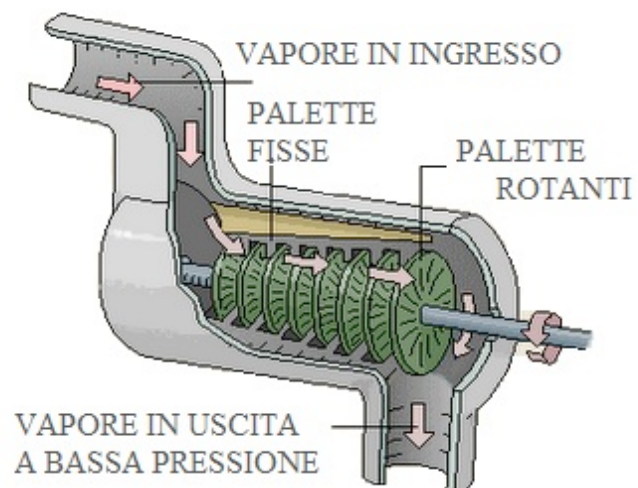
Particolare importanza, fra i propulsori marini, assume la **turbina a vapore**.

LA TURBINA A VAPORE

La turbina a vapore è come un mulino, eccetto che le sue pale vengono spostate non dal vento, ma da un getto di vapore pressurizzato. Ancora oggi le turbine a vapore sono utilizzate per la produzione di gran parte della nostra elettricità.

Il vapore in ingresso ad alta pressione, spinge le pale della turbina e le fa girare. Le pale fisse, poste all'interno della parete della turbina, canalizzano il vapore verso le pale rotanti, con l'angolazione più efficace.

Quando il vapore colpisce la pala, essa si dilata, cedendo pressione ed abbassando la sua temperatura.



macchina di Giovanni Branca 1692

Fu un italiano, **Giovanni Branca**, che nel 1692 disegnò un apparato, composto da una ruota a pale piatte (come quelle di un battello fluviale), mosse a loro volta dal vapore. Il vapore, prodotto in un recipiente chiuso, veniva convogliato verso le pale

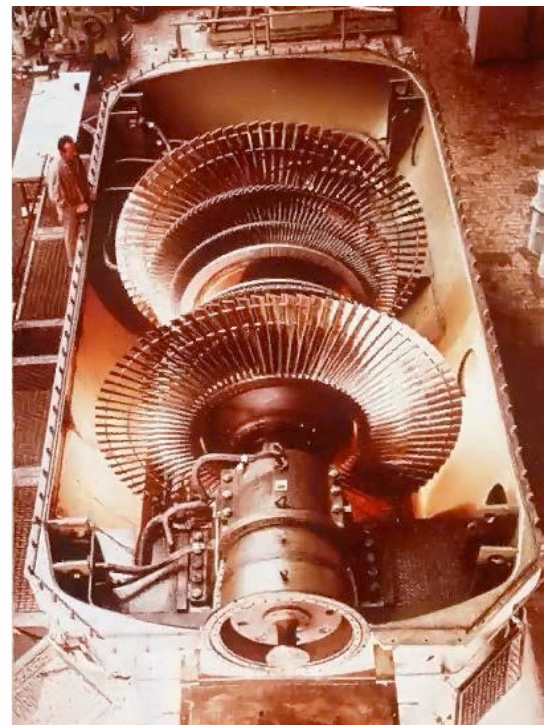
stesse, mediante un tubo. Questa caratteristica potrebbe far credere che la macchina di Giovanni Branca sia il prototipo delle moderne turbine a vapore. In verità, non aveva nulla in comune con le successive applicazioni della forza vapore, non fu altro infatti, che una semplice evoluzione della macchina di Erone di Alessandria.

La moderna Turbina a vapore fu inventata da **Charles Parsons** nel 1884, per la produzione di energia elettrica. La più importante innovazione però fu quella di **Gustaf de Laval**, che applicando il principio di Bernoulli, realizzò una turbina, dove degli ugelli acceleravano il vapore prima di farlo entrare nella sezione delle palette. Secondo il **teorema di Bernoulli** ($Pressione\ totale = P_s + \frac{1}{2} \rho V^2 = costante$) infatti, la velocità di un fluido può essere aumentata a spese della sua pressione.

Tale soluzione permetteva di sfruttare al meglio l'energia del vapore, aumentando il rendimento e la potenza del motore stesso.

Un altro importante pregio delle turbine che utilizzano la pressione del vapore, è che sono più compatte dei motori a pistoni. Agli inizi del 1900, sull'Atlantico erano in servizio molte navi con turbine a vapore, esse erano montate su gran parte delle imbarcazioni, andando a sostituire i grandi motori a pistoni. Oggi, le navi militari sono azionate da impianti a turbina.

Le turbine a vapore sono sicuramente più potenti ma i motori a pistoni sono ancora molto più silenziosi.



Sezione di un rotore di Turbina a vapore

BREVE CONFRONTO FRA I MOTORI A SCOPPIO E A TURBINA

Nei motori diesel 2 tempi si utilizzano naftes residuali pesanti o semi-pesanti (**HFO**= Heavy Fuel Oil; **MFO**= Medium Fuel Oil), che costano meno dei gasoli leggeri (**MDO**= Marine Diesel Oil). Questo fatto, unitamente al maggior rendimento e al minor consumo, ha di fatto ridimensionato l'impiego della turbina come propulsore navale.

E' vero che il MFO ha una densità di 990 Kg/m³ ed una elevata viscosità, per cui richiede un preriscaldamento prima della sua iniezione nei cilindri, così come le naftes pesanti, ma questo è un inconveniente di facile soluzione.

In campo navale, un grande vantaggio del motore a scoppio, rispetto a quello a turbina è dato dal fatto che esso assicura alla marcia indietro, quasi la stessa potenza della marcia in avanti.

La turbina invece, non essendo una macchina reversibile, capace cioè di girare nei due sensi, non rende possibile la marcia indietro. Questa manovra è affidata ad un'altra turbina, più piccola detta **turbinetta**, con le pale diversamente orientate rispetto alla turbina principale e capace di sviluppare una potenza di appena il 40% della turbina principale.

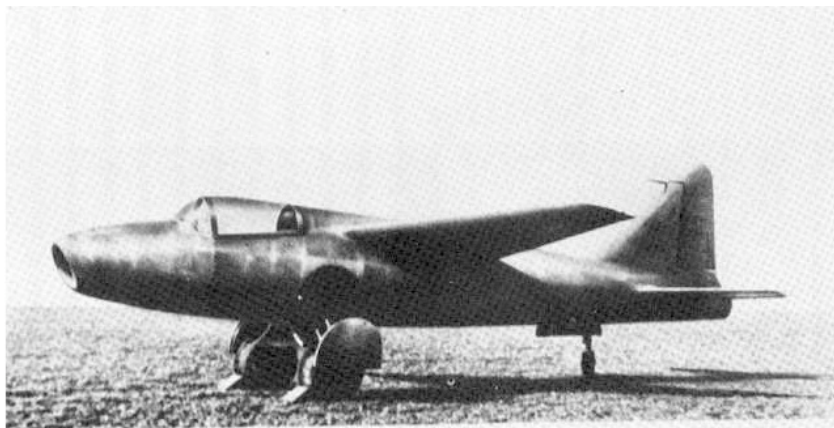
Per rendere possibile la marcia indietro, la turbinetta è montata sullo stesso asse della turbina principale, deve essere quindi necessariamente piccola per non rappresentare un grosso ostacolo alla rotazione dell'asse, durante la normale navigazione.

IL MOTORE A REAZIONE

Il XX secolo ha visto un enorme sviluppo tecnologico.

In pochi anni si è passati dai primi motori a scoppio, ai nuovi e più potenti propulsori. In particolare è durante il secondo conflitto mondiale, che venne realizzato il massimo impegno nella ricerca tecnologica. Fu realizzato il "motore a reazione".

Nel motore a reazione, l'aria viene aspirata e, una volta compressa, entra nella camera di combustione dove è miscelata con il carburante. I gas combusti passano nella turbina, mettendola in rotazione, rotazione che viene trasferita al compressore. Successivamente i gas vengono espulsi dal retro, ad una pressione maggiore di quella esterna, generando la spinta in avanti.



Heinkel He 178

Tutto ha inizio circa 70 anni fa. La Gran Bretagna e la Germania erano in gara per la realizzazione del primo aviogetto a reazione. Il primo jet effettivamente realizzato, fu il prototipo segreto **Heinkel He 178**, che volò per la prima volta, il 27 agosto 1939.

Il 18 aprile del 1941, fece il primo volo l'**ME 262**, che ancora oggi viene considerato il primo caccia della storia con motore a getto, ad entrare in servizio operativo ed il primo caccia biattore.



Messerschmitt Me 262

In verità il primo motore a reazione fu presentato agli inizi del secolo da un progettista rumeno, **Henri Coanda**, ben trent'anni prima quindi dei modelli progettati da **Frank Whittle**, ritenuto quest'ultimo erroneamente, come il vero inventore della propulsione a reazione, assieme a **Heinkel** e **Campini**.



"Coanda-1910" esposto al Museo dell'aviazione di Bucarest

Il **Coanda 1910** fu il primo aereo dotato di una propulsione a reazione, anche se a dire il vero, aveva ben poco del convenzionale aereo a reazione, così come lo conosciamo.

Fu per la prima volta, esposto al pubblico nell'ottobre 1910, alla Seconda Esibizione Aeronautica Internazionale di Parigi.

La linea era sicuramente curiosa: muso metallico e di geometria caratteristica, per avere la possibilità di alloggiare al suo interno l'apparato propulsivo; fusoliera stretta ed allungata verso i piani di coda a freccia, per riuscire a convogliare meglio i gas di scarico in uscita dal reattore; ali di differente apertura e sovrapposte, con travi di sostegno centrali e tiranti fino alle estremità; carrello d'atterraggio fisso.

Il motore innovativo di Coanda era posto sulla prua dell'aereo e coperto da un rivestimento metallico.

Un motore a benzina da 50 cavalli in linea, di 4 cilindri e raffreddato ad acqua, muoveva un compressore rotante a 4000 giri al minuto.

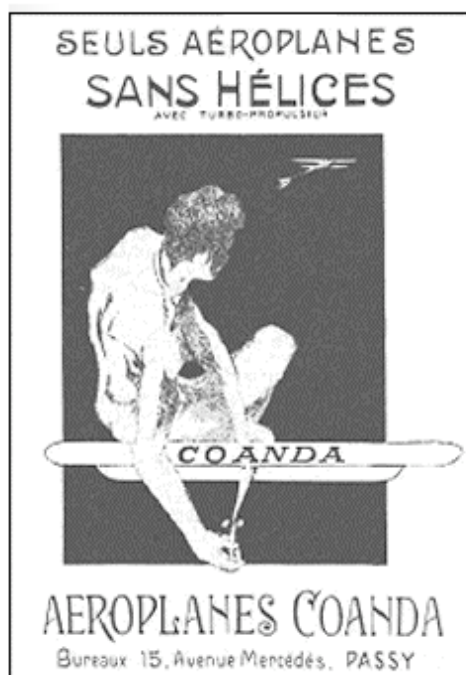
La regolazione dell'aria all'ingresso del compressore, era garantita da una specie di iride davanti alla bocca d'ingresso, comandata dal pilota.

Dietro il compressore erano poste due camere di combustione, dove l'aria in ingresso era miscelata ai gas di scarico del motore a scoppio ed al combustibile, per aumentare la spinta dei gas di scarico all'uscita posteriore.

Fu lo stesso Coanda, che il 16 dicembre del 1910, portò in volo in maniera avventurosa, il suo aereo. L'inesperienza dell'improvvisato pilota, causò la distruzione del modello durante la fase di atterraggio. Ma ciò non deve togliere meriti all'inventore, che dimostrò la possibilità di utilizzare il motore a reazione, come propulsore.

Oltre alla novità del motore però, l'aereo di Coanda introdusse altre importanti novità:

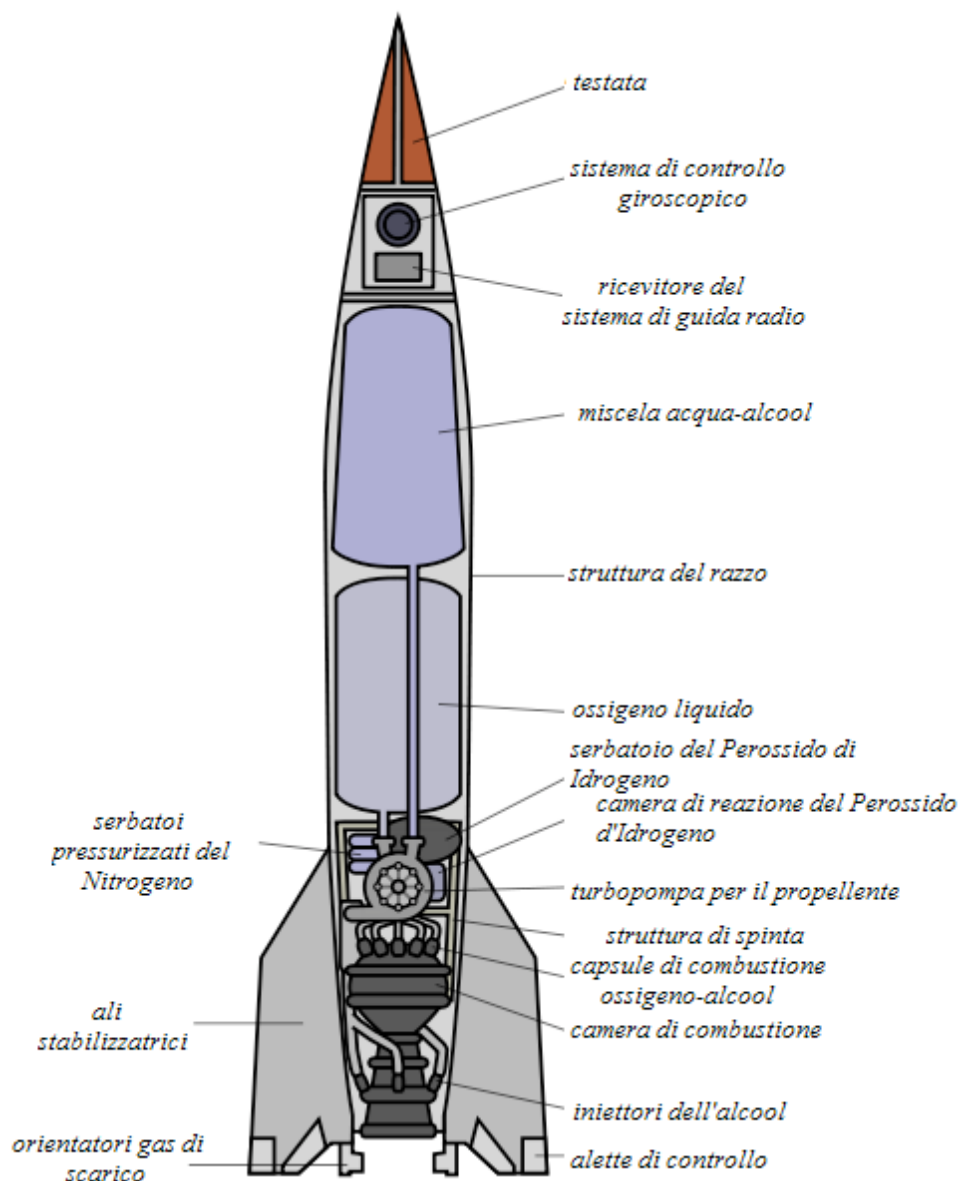
- ali rivestite e rinforzate da metallo;
- due ali di diversa lunghezza e geometria caratteristica, con la più bassa di minore estensione (configurazione biplano-sesquiplana). Disegno poi adottato da altri produttori;
- il carburante e l'olio messo in serbatoi posti nell'ala superiore, per poter realizzare una fusoliera più snella e per migliorare il flusso dei gas in uscita dal reattore.



DAI RAZZI AL SUPERAMENTO DELLA BARRIERA DEL SUONO

Inizialmente le differenze fra i **motori a razzo** (endoreattori) e quelli “comunemente detti” a **reazione** (aereoreattori), non erano molte. L'uomo comune distingueva a stento un motore dall'altro. Con il tempo hanno però assunto delle caratteristiche completamente differenti anche se il principio di funzionamento è del tutto simile. La differenza sostanziale sta nel fatto che l'endoreattore trasporta l'ossigeno utilizzato per la combustione.

L'aereoreattore invece, prende l'ossigeno dall'aria esterna. Quindi i razzi sono autonomi rispetto all'atmosfera mentre i jet no. Questo significa che i razzi possono volare nello spazio, dove non c'è ossigeno.



la V-2 di Wernher von Braun

Gli esperimenti sui razzi di **Robert Goddard** condotti agli inizi degli anni '30 negli Stati Uniti, precedettero quelli di **Wernher von Braun** nella Germania nazista i quali portarono alla realizzazione dei razzi **V2** lanciati sull'Inghilterra durante la seconda guerra mondiale. La tecnologia missilistica iniziata da Goddard e Von Braun permise a **Charles Yeager** nel 1947, di oltrepassare la barriera del suono.



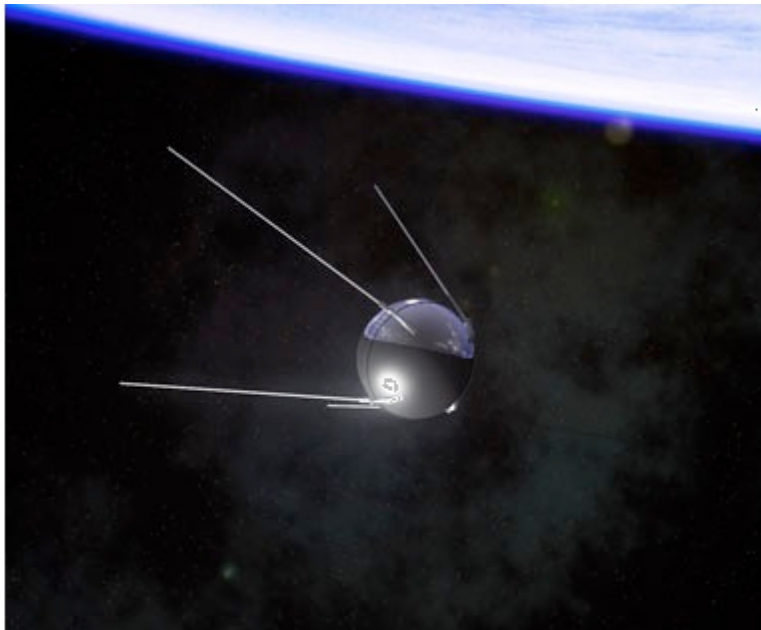
Bell X-1

Per la prima volta, il 14 ottobre del 1947, l'uomo con l'aereo a reazione **Bell X-1** riuscì a superare la velocità del suono.



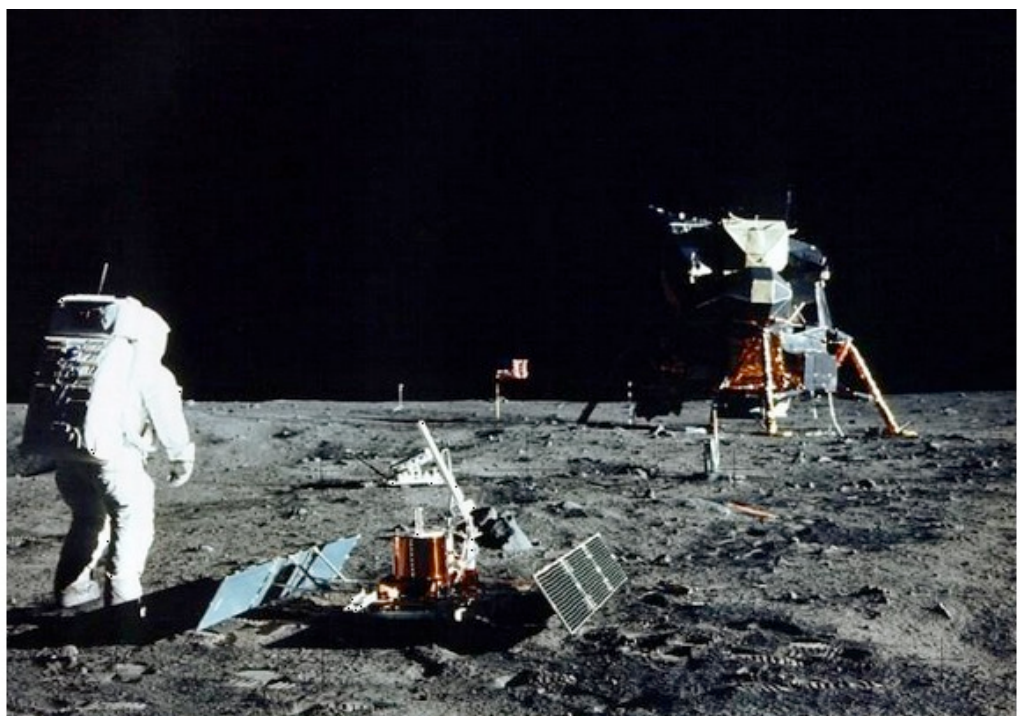
14 ottobre 1947

L'X-1 venne portato in volo, agganciato ad un altro aereo, un bombardiere B-29, appositamente modificato e rilasciato alla quota di 6800 metri nei cieli della California, sopra la base militare di Muroc, l'attuale Base Aerea di Edwards. L'X-1 raggiunse la velocità di 1078 Km/h, alla quota di 12.000 metri, equivalenti a 1,015 volte la velocità del suono (Mach: 1,015).



Quei primi
esperimenti
permisero
inoltre il
lancio dello
Sputnik russo
nel 1957 e
l'allunaggio
dell'**Apollo 11**
nel 1969.

4 ottobre 1957



20 luglio 1969



Oggi, i tre motori principali che spingono lo **Space Shuttle**, producono una spinta che equivale a 37.000.000 di cavalli; una potenza quasi inconcepibile. Il loro consumo è di circa 250.000 litri di idrogeno liquido al minuto.