

INVENZIONI E INNOVAZIONI CHE RESERO POSSIBILE

LA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

Oltre che da favorevoli condizioni di tipo economico e socio-culturale, la rivoluzione industriale inglese del XVIII secolo fu resa possibile da una serie di invenzioni e innovazioni tecniche che trasformarono radicalmente la produzione, provocando un decisivo salto quantitativo e qualitativo. I settori produttivi coinvolti nell'innovazione tecnologica furono principalmente quello **tessile cotoniero** e quello **siderurgico**.

L'INDUSTRIA DEL COTONE

Si può affermare che il settore cotoniero rappresentò la culla della rivoluzione industriale. Nella produzione tessile, in generale, si possono distinguere due fasi principali: la **filatura** e la **tessitura**. La **filatura** consiste in una serie di operazioni mediante le quali la massa di fibra naturale (cotone, lana) viene trasformata in un filo continuo, avvolto su un apposito sostegno. La **tessitura** consiste nell'intrecciare (ordito e trama) il filato in modo da realizzare un tessuto (tela o panno), che sarà poi soggetto ad altre operazioni di trasformazione, finitura e colorazione.

1.



Innovazioni nella tessitura

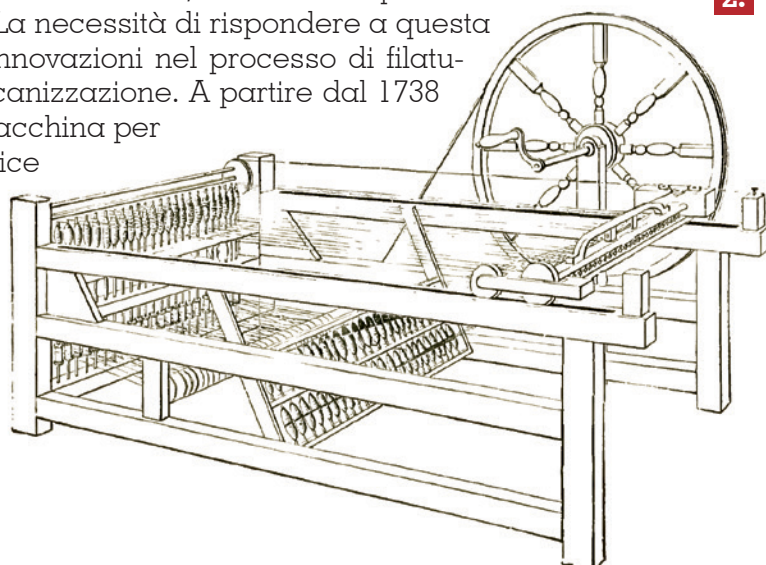
Alla vigilia della rivoluzione industriale, la tessitura aveva già conosciuto un'importante innovazione con l'introduzione della spoletta volante (**flying shuttle**). Inventata da **John Kay** nel **1730**, essa cominciò ad essere utilizzata dai tessitori inglesi a partire dagli anni Cinquanta e Sessanta.

Questo dispositivo permetteva di intrecciare il filo di trama all'ordito in modo molto più rapido e su larghezze maggiori di quanto si potesse fare manualmente.

Meccanizzazione della filatura

Se la produzione di tessuti beneficiava di questa innovazione, essa doveva però essere sostenuta da un'adeguata produzione di filati. La necessità di rispondere a questa esigenza stimolò l'introduzione di importanti innovazioni nel processo di filatura, che portarono gradualmente alla sua meccanizzazione. A partire dal 1738 Lewis Paul e John Wyatt sperimentarono una macchina per filare, seguita poi dalla **spinning jenny**, la filatrice meccanica inventata e brevettata nel **1764-70** da **James Hargreaves**. La macchina azionava inizialmente otto fusi, che salirono a 16 nel 1770, a 24 nel 1784, per giungere ai 100-120 della fine del secolo. Il suo impiego portò a uno straordinario incremento della produttività, stimolando una più generale meccanizzazione dell'intero comparto tessile cotoniero.

2.

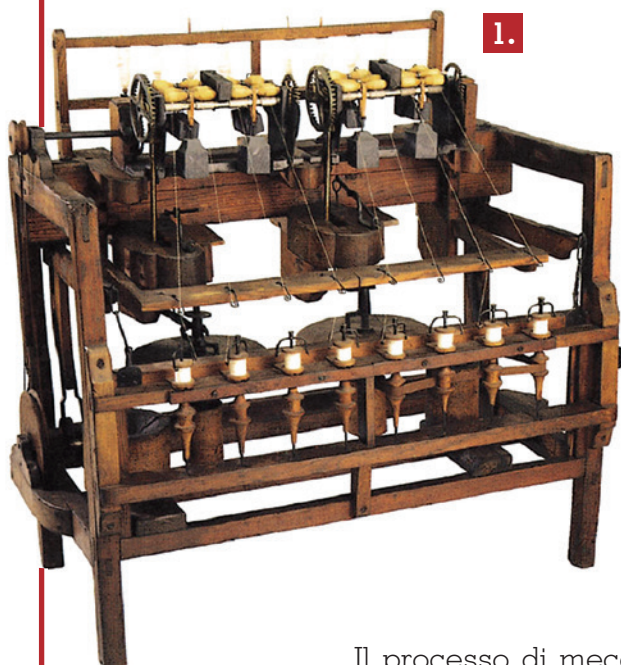


1. Spoletta volante di fabbricazione inglese.

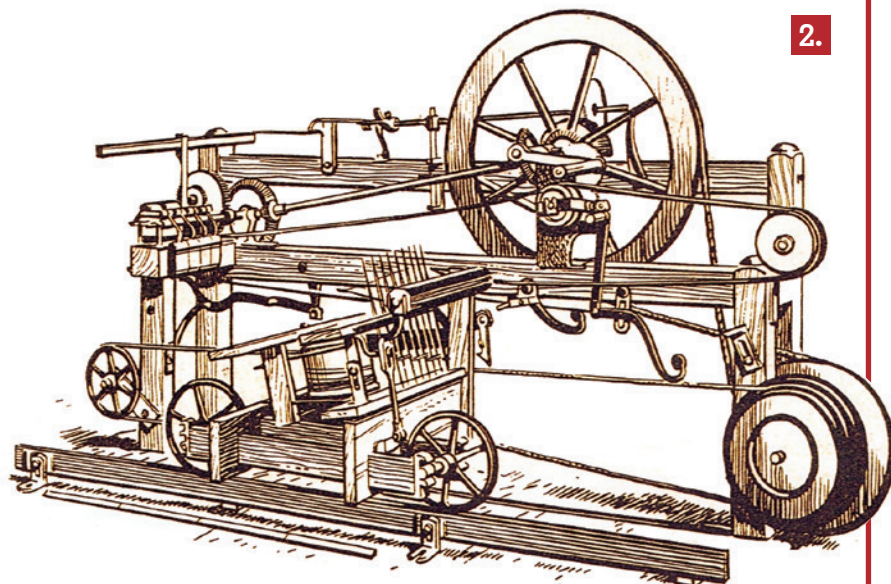
2. Versione migliorata della Jenny di Hargreaves.

Nel **1769 Richard Arkwright** brevettò una macchina per la filatura ancora più rivoluzionaria, azionata dall'acqua (filatoio idraulico, "**water frame**") e, successivamente, dal vapore, quindi destinata all'impiego in fabbrica.

In questa corsa all'evoluzione tecnologica si inserì nel **1779 Samuel Crompton**, inventore di un filatoio automatico (**mule-jenny**) mosso dall'energia idraulica, che unificava soluzioni meccaniche delle precedenti filatrici e garantiva un prodotto di ottima resistenza e qualità.



1.



2.

Il processo di meccanizzazione della filatura raggiunse la sua fase culminante allorché, nel 1785, quando ormai il filatoio idraulico era ampiamente diffuso, venne introdotta nelle **fabbriche tessili** la macchina a vapore di Matthew Boulton e James Watt.

Il vapore si sostituiva all'acqua come forza motrice, consentendo di impiantare la produzione tessile anche laddove non vi erano corsi d'acqua nelle vicinanze.



3.

1. Filatoio idraulico di Arkwright.
2. Disegno della mule-jenny di Crompton.
3. La filatura meccanica nella fabbrica tessile.

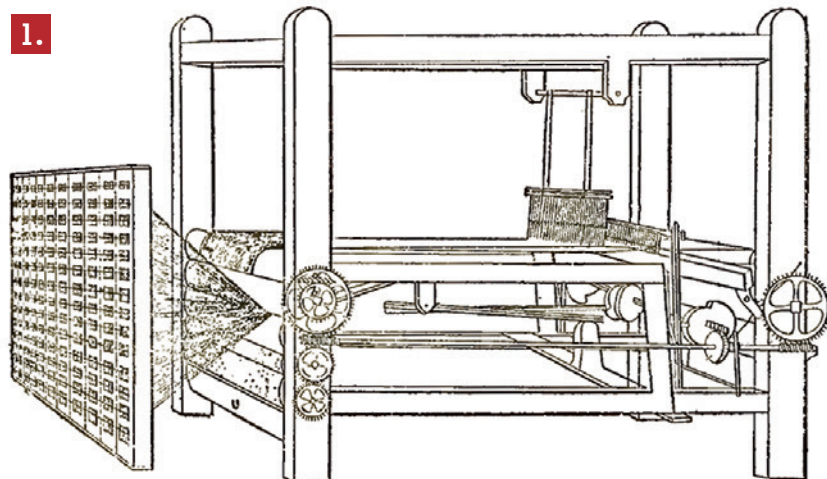
Per effetto della meccanizzazione e della organizzazione di fabbrica, verso la fine del secolo un singolo filatore era in grado di produrre, nello stesso tempo, ciò che prima dell'introduzione della *spinning jenny* di Hargreaves producevano 200 filatori.

Questo si tradusse, naturalmente, in un incremento delle **importazioni di materia prima**, ovvero del cotone greggio proveniente dal mercato indiano e dal mercato statunitense: tra il 1780 e il 1815 il volume delle importazioni di cotone aumentò di dieci volte.

Meccanizzazione della tessitura

Il processo di meccanizzazione, che aveva trasformato ed enormemente incrementato la produzione dei filati, si estese alle fasi successive della lavorazione del cotone e, in particolare, alla tessitura.

Nel **1786 Edmund Cartwright**, dopo un precedente tentativo, mise a punto un **telaio meccanico** (*power loom*) che, successivamente migliorato e sviluppato da altri tecnici e inventori, fu alla base della meccanizzazione della tessitura. Un processo, quest'ultimo, che suscitò l'opposizione e, in alcuni casi, la reazione violenta dei tessitori, che si vedevano in gran parte sostituiti dalle nuove macchine.



1. Secondo telaio meccanico di Cartwright (1786).

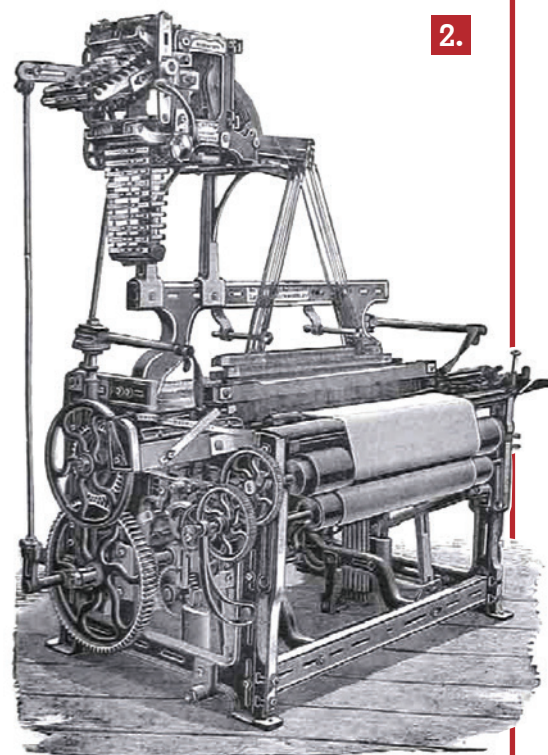
2. Telaio meccanico di fine Ottocento, basato sull'invenzione di Cartwright.

3. Modello del telaio di Jacquard.

La difficoltà di alcune operazioni, come la decorazione dei tessuti, richiese inoltre la realizzazione di telai particolarmente complessi e difficilmente impiegabili su scala industriale, come quello messo a punto nel **1804** dal francese **Joseph-Marie Jacquard**, che rielaborava precedenti progetti di Jacques de Vaucanson e Jean Baptiste Falcon.

Il telaio Jacquard incorporava uno speciale dispositivo a schede perforate, grazie al quale era possibile produrre tessuti con intricati motivi.

Questo dispositivo si affermò soprattutto nella tessitura della seta, dove rese possibile la produzione meccanica di tessuti straordinariamente raffinati e complessi come i broccati.



L'INDUSTRIA SIDERURGICA



Le fornaci della famiglia Darby nel villaggio di Coalbrookdale.

L'Inghilterra aveva già beneficiato, nei secoli precedenti, della presenza di ricchi giacimenti di carbone e di ferro, sviluppando una significativa tradizione nell'estrazione e lavorazione di queste materie prime.

La rivoluzione industriale, in **ambito siderurgico**, si esprime in due principali aspetti:

- l'ampio uso del **carbon coke** nella fusione dei minerali ferrosi
- il miglioramento tecnologico e qualitativo nella produzione di manufatti in ferro.

Caratteristico dello sviluppo del settore siderurgico durante la rivoluzione industriale fu lo stretto legame con l'affermazione del **trasporto ferroviario**:

- da un lato, l'industria ferroviaria presupponeva i progressi tecnologici della siderurgia;
- dall'altro, allargava la domanda di prodotti siderurgici, rappresentando così un potente impulso allo sviluppo di quel settore.

Innovazioni nella siderurgia

Nel **1709 Abraham Darby** riuscì a realizzare la **fusione del ferro con il carbon coke**, tentativo intrapreso con l'obiettivo di sostituire il carbone di legna, ovvero il combustibile tradizionalmente utilizzato per la fusione.

Ottenuto dal carbon fossile attraverso un processo di cottura in forno in assenza di ossigeno, il **coke** possiede un alto potere calorifero e una buona resistenza meccanica: questo lo rendeva adatto all'uso in **altoforni**, per la fusione di grandi quantità di minerali metalliferi.

Il prodotto della combustione e delle reazioni chimiche che avvenivano nell'altoforno era la **ghisa fusa**, una lega di ferro con alto contenuto di carbonio.

L'impiego del coke negli altoforni aumentò la capacità produttiva. Tuttavia, la ghisa fusa, una volta solidificata, risultava essere fragile e poco lavorabile, a causa dell'alto contenuto di carbonio e di altri elementi indesiderati prodotti durante la fusione, come fosforo, zolfo e silicio.

A partire da **metà secolo** i discendenti dei Darby riuscirono a migliorare la qualità del ferro prodotto con il coke, eliminandone inoltre le impurità come il silicio. Decisivo fu l'aumento dell'aria insufflata per favorire la combustione del coke, ottenuto sostituendo i mantici tradizionali con un ventilatore mosso da una ruota idraulica, perfezionato da **John Smeaton** nel **1760**.

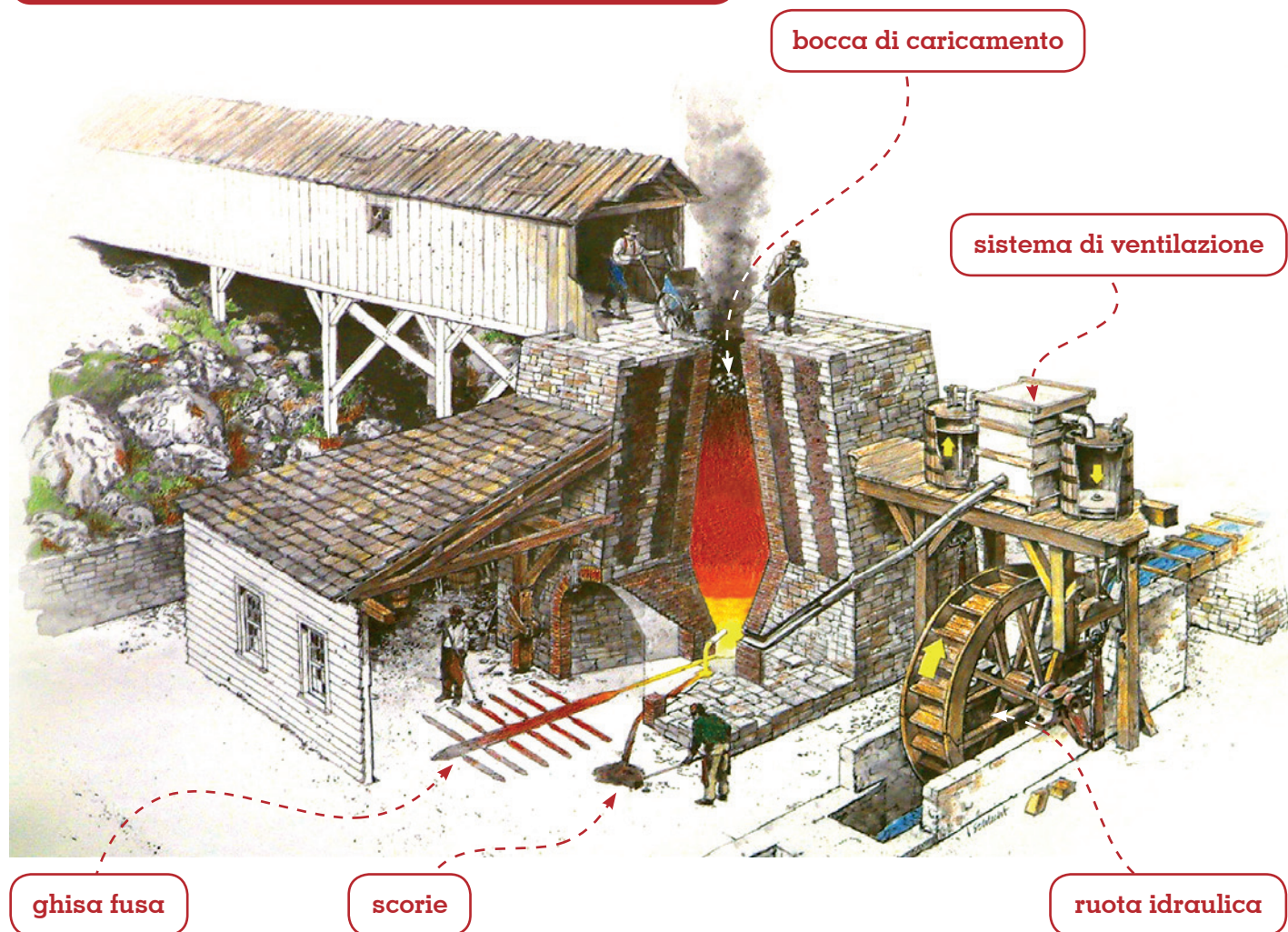
In seguito, tale dispositivo di ventilazione sarebbe stato mosso dalla macchina a vapore di Boulton e Watt, guadagnando ulteriormente in efficacia.

Nel **1784**, grazie all'industriale metallurgico **Henry Cort**, venne perfezionato il processo di **puddellaggio** (*puddling*), consistente nel sottoporre i getti di ghisa fusa a rimescolamento continuo in appositi forni. In tal modo si arrivò a produrre **acciaio allo stato semi-fuso**, ossia in forma di massa pastosa. Il contenuto in carbonio era assai minore, mentre gli elementi indesiderati potevano essere eliminati come scoria.

La quota di produzione siderurgica ottenuta con il coke andò così progressivamente aumentando. Se intorno al 1750 costituiva solo il 5% della produzione totale, nel 1775 aveva raggiunto il 55% e dieci anni dopo, nel 1785, si attestava al 77%.

Trascinata dall'incremento dei forni a coke (81 nel 1790), la produzione totale inglese di ghisa e acciaio triplicò nel periodo 1750-1790.

Raffigurazione di un altoforno a coke del XVIII secolo



LA MACCHINA A VAPORE

La forza del vapore

L'ultima e più decisiva fase della rivoluzione industriale venne inaugurata con l'avvento della **macchina a vapore**: grazie ad essa la grande industria poté disporre della potenza che le era necessaria. Con la propria graduale affermazione, la macchina a vapore trasformò irreversibilmente l'industria del cotone e quella siderurgica, favorì l'industria estrattiva risolvendo il problema del pompaggio dell'acqua dalle miniere e gettò le basi del sistema di trasporto ferroviario.

Nel **1698** il meccanico inglese **Thomas Savery** brevettò una "pompa a fuoco", la prima macchina a utilizzare la forza del vapore. La macchina sfruttava la depressione creata dalla condensazione del vapore contenuto in un serbatoio sottoposto a raffreddamento, per aspirare l'acqua.

Concepita essenzialmente per estrarre l'acqua dalle miniere di carbone allagate, si guadagnò il titolo di *miner's friend* (amica dei minatori).

Nello stesso periodo **Denis Papin**, un fisico francese, inventava la "pentola a pressione", dimostrando che era possibile produrre del lavoro meccanico utilizzando il vapore d'acqua ad alta temperatura.

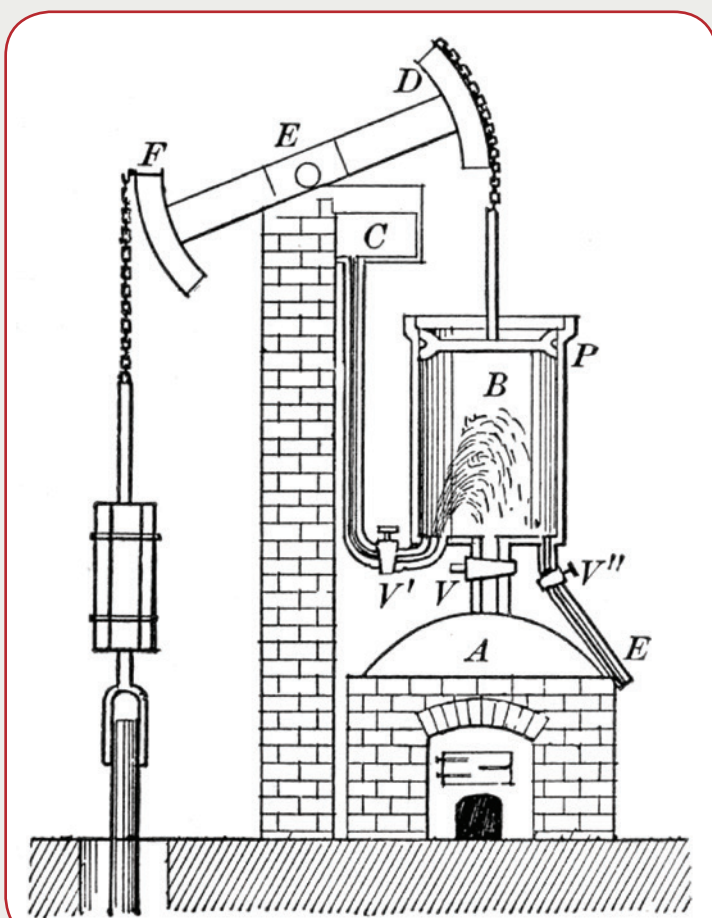
Nel **1712** un meccanico inglese, **Thomas Newcomen**, basandosi sui risultati di Papin e Savery, costruì una macchina a vapore per sollevare l'acqua.

Essa rappresentò un ulteriore progresso, in termini di efficacia e sicurezza, rispetto alla "pompa a fuoco" e venne installata in una miniera di carbone nei pressi di Wolverhampton. Si trattava del **primo vero motore a vapore**, che trasmetteva la forza attraverso il movimento di un pistone.

Funzionamento della macchina a vapore di Newcomen

1. Il vapore prodotto nella caldaia (A) con l'apertura della valvola (V) viene immesso nel cilindro (B) e spinge verso l'alto il pistone (P), il cui movimento è facilitato dal contrappeso agganciato all'estremità (F) del bilanciere (E).
2. Quando il pistone (P) raggiunge la testa del cilindro (B) si apre automaticamente la valvola (V') che consente di spruzzare l'acqua fredda del serbatoio (C) all'interno del cilindro (B), provocando la condensazione (trasformazione in acqua e diminuzione di volume) del vapore.
3. La depressione dovuta alla condensazione fa sì che il pistone (P), soggetto alla pressione esterna dell'aria, scenda lungo il cilindro (B) abbassando l'estremo (D) del bilanciere (E). Automaticamente si chiude la valvola (V') dell'acqua fredda e si apre la valvola (V'') del tubo di scarico (E).
4. L'apertura della valvola (V) immette nuovamente vapore nel cilindro (B), avviando un nuovo ciclo.

Attraverso le oscillazioni del bilanciere, la macchina di Newcomen produce il movimento rettilineo alternato necessario a far funzionare la pompa idraulica.



Malgrado la comparsa di queste prime macchine a vapore (a metà secolo se ne contavano circa un centinaio in tutta l'Inghilterra), negli insediamenti produttivi non cessò l'uso delle forme più tradizionali di energia motrice (animale, idraulica ed eolica): per quanto ingegnose, queste macchine avevano ancora un **rendimento piuttosto basso**.

La macchina di Newcomen convertiva in lavoro meccanico utile solo l'1% del calore sviluppato dalla combustione del carbone che alimentava la caldaia. La dispersione di calore (e quindi il fabbisogno di carbone) risultava enorme, in quanto il cilindro era alternativamente riscaldato e raffreddato al fine di creare la pressione necessaria. Inoltre, essa produceva il movimento rettilineo alternato di un'asta, che poteva essere applicato al funzionamento di una pompa, ma non serviva all'industria tessile, le cui macchine erano basate sul movimento rotatorio.

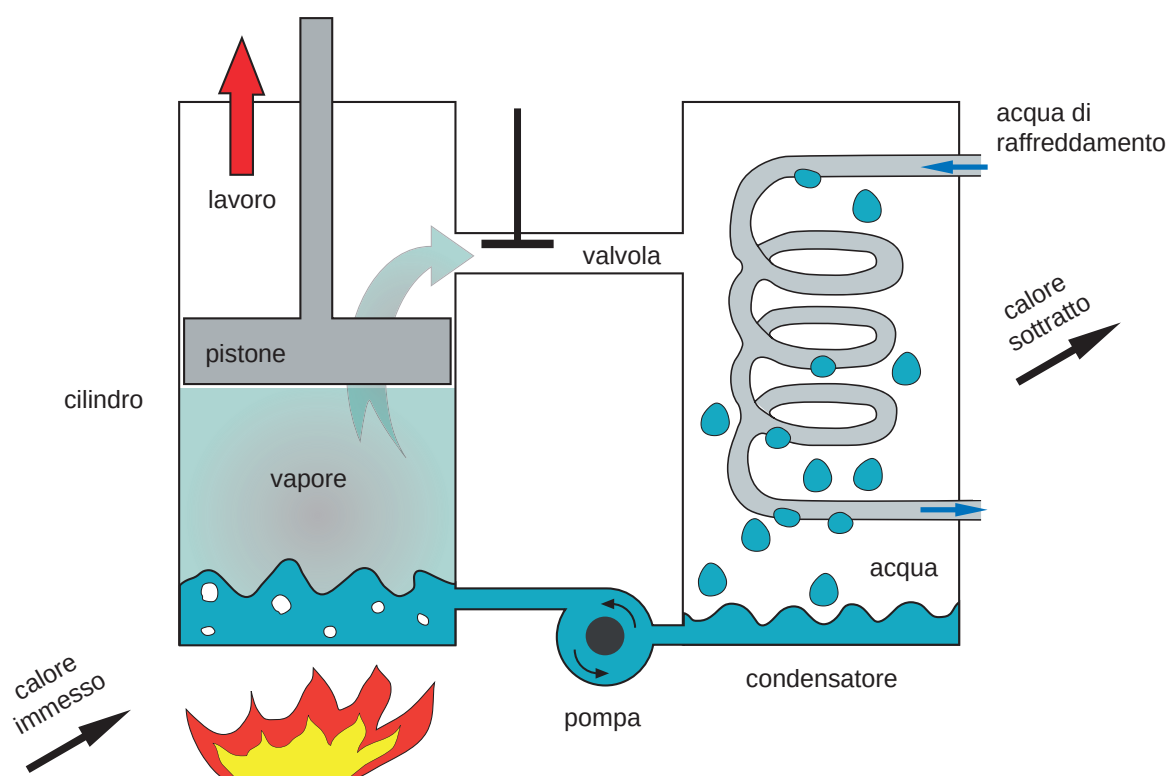
"La prima fase della rivoluzione industriale non fu certamente caratterizzata dalla macchina a vapore. I mulini a vento erano ancora sparsi un po' dappertutto. Nel diciottesimo secolo in Inghilterra l'acqua costituiva la principale fonte di energia, essa azionava follatrici, macine, seghe, mantici e frantoi di minerali. Le nuove invenzioni nel campo del tessile si svilupparono in zone di colline, di valli e di corsi d'acqua e i primi stabilimenti furono costruiti sulle rive dei fiumi. Era difficile che i pionieri della rivoluzione industriale pensassero in termini di macchine a vapore. John Wyatt, l'inventore della filatrice meccanica, raffigurava la meccanizzazione dell'industria tessile immaginando macchine del tipo dei mulini con ruote mosse da cavalli, dall'acqua o dal vento" (R. J. Forbes).

L'opera di Watt e il trionfo del vapore

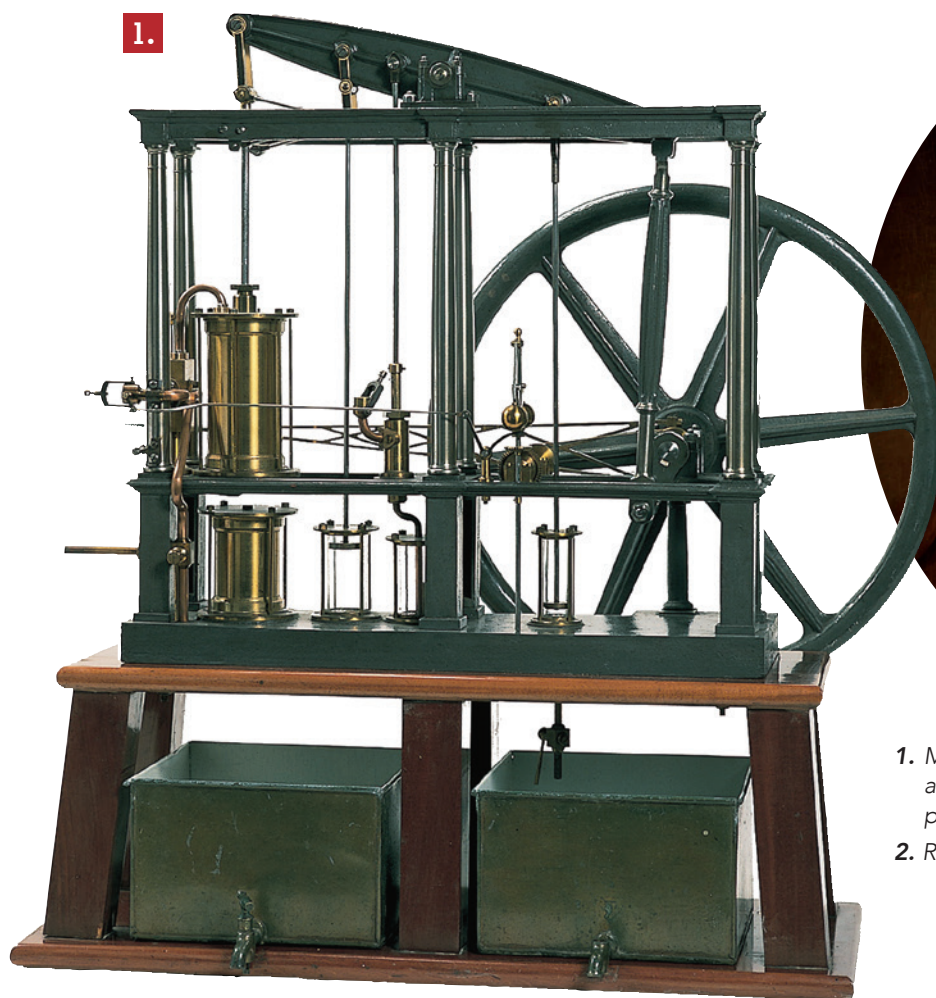
Il salto di qualità si verificò con le invenzioni del tecnico scozzese **James Watt** (1736-1819), che nel **1769** brevettò una macchina a vapore capace di un **rendimento molto superiore** alle precedenti.

La macchina a vapore di Watt, realizzata nel **1775**, era provvista di un **condensatore separato** dal cilindro. In tal modo, il raffreddamento necessario alla condensazione del vapore avveniva al di fuori del cilindro, che rimaneva caldo: la dispersione termica e il fabbisogno energetico erano così ridotti.

Il condensatore separato della macchina di Watt



1.



2.



1. Modello riproducente la macchina a vapore di Watt, nella sua versione più evoluta.

2. Ritratto di James Watt del 1797.

Nel **1781** Watt migliorò la funzionalità della propria macchina con diversi accorgimenti, tra cui un dispositivo capace di trasformare il movimento rettilineo alternato in **movimento rotatorio**.

Nel **1782** brevettò il sistema della **macchina a doppio effetto**: il vapore veniva fatto penetrare anche al di sopra del pistone, che pertanto si abbassava sotto la spinta del vapore e non più della semplice pressione atmosferica; una volta giunto al fondo della corsa, veniva rispinto in alto dal vapore immesso da sotto. A parità di cilindrata, il motore a doppio effetto sviluppava una potenza doppia.

Altrettanto importante fu l'introduzione di un **regolatore** (governor), che permetteva di **variare la velocità** di funzionamento della macchina.

Ora la macchina a vapore aveva raggiunto una buona efficienza, poteva muovere ruote, ingranaggi e alberi rotanti e finalmente si apprestava a sostituire i mulini ad acqua e a vento come motore primario per l'industria: nel **1785** una macchina prodotta da Boulton e Watt venne introdotta in uno stabilimento per la filatura del cotone.

Messosi in società con Matthew Boulton, un imprenditore assai attivo e lungimirante, proprietario della *Soho Manufactory* fondata nel 1761 a Birmingham, Watt divenne il maggiore produttore di macchine a vapore in Inghilterra.

"Dalle officine di Soho – che fornivano tutto il mondo – uscirono centinaia di esemplari nel ventennio che corre tra il 1780 e il 1800: macchine per miniere o per opere di prosciugamento, per mulini, per i recenti congegni tessili di Crompton e di Arkwright (che oramai abbandonavano la forza idraulica), per altiforni e industrie metallurgiche, per birrerie, segherie e presse, per azionare il nuovo maglio nelle officine di Wilkinson" (U. Forti).

L'invenzione della locomotiva

Naturalmente la macchina a vapore di Watt continuò ad essere migliorata e sviluppata. Il brevetto di Watt scadde nel 1800 e altri protagonisti si impegnarono nello sviluppo della nuova tecnologia.

Per il funzionamento delle sue macchine Watt aveva sempre utilizzato vapore a **bassa pressione** (una pressione di poco superiore a quella atmosferica), nel timore che valori più elevati avrebbero potuto causare pericolose esplosioni.

Il futuro della tecnologia a vapore, tuttavia, sarebbe consistito nell'impiego di vapore ad **alta pressione**: uno sviluppo reso possibile dai perfezionamenti realizzati nella metallurgia, con la produzione di materiali dotati di maggiore resistenza alle pressioni.

L'ingegnere minerario britannico **Richard Trevithick** (1771-1833) fu il primo a costruire macchine a vapore ad alta pressione (fra 3,5 e 4,9 kg/cm², superiore a quella atmosferica, pari a circa 1 kg/cm²).

La **macchina ad alta pressione** eliminava il condensatore (la depressione creata dalla condensazione era necessaria solo con l'impiego di vapore a bassa pressione) e utilizzava un cilindro di dimensioni inferiori, con un significativo risparmio di spazio e di peso.

Grazie all'ottimo **rapporto peso/potenza**, le nuove macchine compatte avrebbero potuto essere applicate con successo alle imbarcazioni e ai carri, in sostituzione dei cavalli.

Dopo alcune interessanti sperimentazioni, nel **1804** Trevithick realizzò la **prima locomotiva** mossa da un motore a vapore con pistone e caldaia orizzontali, che percorse sui binari del tram una distanza di 15 km trainando vagoni con un carico di 10 tonnellate di ferro e 70 passeggeri a una velocità di 6 km/h.

Nel **1808** Trevithick costruì a Londra un circuito a rotaie su cui mise in funzione una locomotiva basata sullo schema della precedente e a cui diede il nome di "**Catch-me-who-can**", ovvero "Mi prenda chi ci riesce".

L'era delle ferrovie

Colui che fece della locomotiva a vapore una macchina di grande diffusione e successo, ponendo le basi del sistema di trasporto ferroviario, fu **George Stephenson** (1781-1848).

Dopo una promettente serie di progetti e realizzazioni di locomotive iniziata nel 1814, nel 1823 Stephenson fondò insieme al figlio Robert la *Robert Stephenson & Company*.

Il **27 settembre 1825** veniva inaugurata la **prima linea ferroviaria pubblica**, destinata al trasporto merci: la *Darlington-Stockton*.

Gli amministratori della linea avevano ordinato a Stephenson tre locomotive, la prima delle quali, la **Locomotion**, fu consegnata in tempo per l'inaugurazione.



Replica della locomotiva di Trevithick del 1804.

Si trattava di un mezzo progettato per il traino di carichi pesanti a bassa velocità, capace di trasportare un carico di 90 tonnellate alla velocità di 19 km/h, con punte di 24 km/h.

Durante i lavori per realizzare la linea tra Stockton e Darlington, venne formulato il progetto di un collegamento ferroviario tra Manchester e il porto di Liverpool. Il progetto venne apertamente osteggiato dagli agricoltori e dagli allevatori delle terre attraversate e dai trasportatori che operavano con carri e diligenze sulla strada locale. Si giunse ad attaccare con pietre e bastoni i tecnici impegnati nei sopralluoghi preliminari. Nell'occasione, Stephenson affermò di essere in grado di costruire una locomotiva capace di trainare i convogli alla velocità di 32 km/h (20 miglia orarie).

Nel **1826**, sull'onda del successo incontrato dalla linea Darlington-Stockton, il Parlamento di Londra approvò finalmente la costruzione della **linea ferroviaria Manchester-Liverpool**. George Stephenson fu incaricato di costruire la linea ferroviaria, dimostrando grandi capacità ingegneristiche che furono necessarie per superare difficoltà e ostacoli naturali presenti lungo il percorso. Con un apposito sistema di argini riuscì a posare i binari in aree paludose, scavò un tunnel di 2,5 km tra Liverpool e Edge Hill, praticò un taglio lungo più di 3 km e a tratti profondo 30 m nell'arenaria rossa del Mount Olive, costruì il viadotto di Sankey, una struttura in mattoni di nove archi di 15 m ciascuno. Tra le opere figura inoltre il primo ponte ferroviario a travi metalliche, il *Water Street*, nei pressi di Manchester.

Nel **1829** fu bandito il concorso per la scelta della locomotiva da impiegare sulla tratta Manchester-Liverpool, vinto dagli Stephenson con il modello denominato **Rocket** ("razzo"). La linea fu ufficialmente inaugurata il **15 settembre 1830**.



Replica della locomotiva di Stephenson, modello Rocket, del 1829.

I progressi tecnici delle locomotive continuarono piuttosto rapidamente, consentendo a questi mezzi di raggiungere velocità sempre maggiori e di trainare un numero crescente di vagoni.

Malgrado le continue resistenze opposte da agricoltori e allevatori al transito delle linee ferroviarie, il nuovo sistema di locomozione e trasporto andò progressivamente affermandosi, essendo chiaramente funzionale agli interessi dell'economia nazionale e dell'industria in costante espansione.

Nella nascente **industria ferroviaria**, ormai assunta a simbolo della fase più matura della rivoluzione industriale inglese, convergevano le direttrici più avanzate del **progresso tecnologico**:

- la **meccanica**, spinta a realizzare locomotive, vagoni e rotaie sempre più sicuri ed efficienti,
- la **metallurgia**, stimolata a produrre leghe di acciaio sempre più affidabili per la tenuta delle caldaie e dei cilindri e per la loro resistenza al calore.