

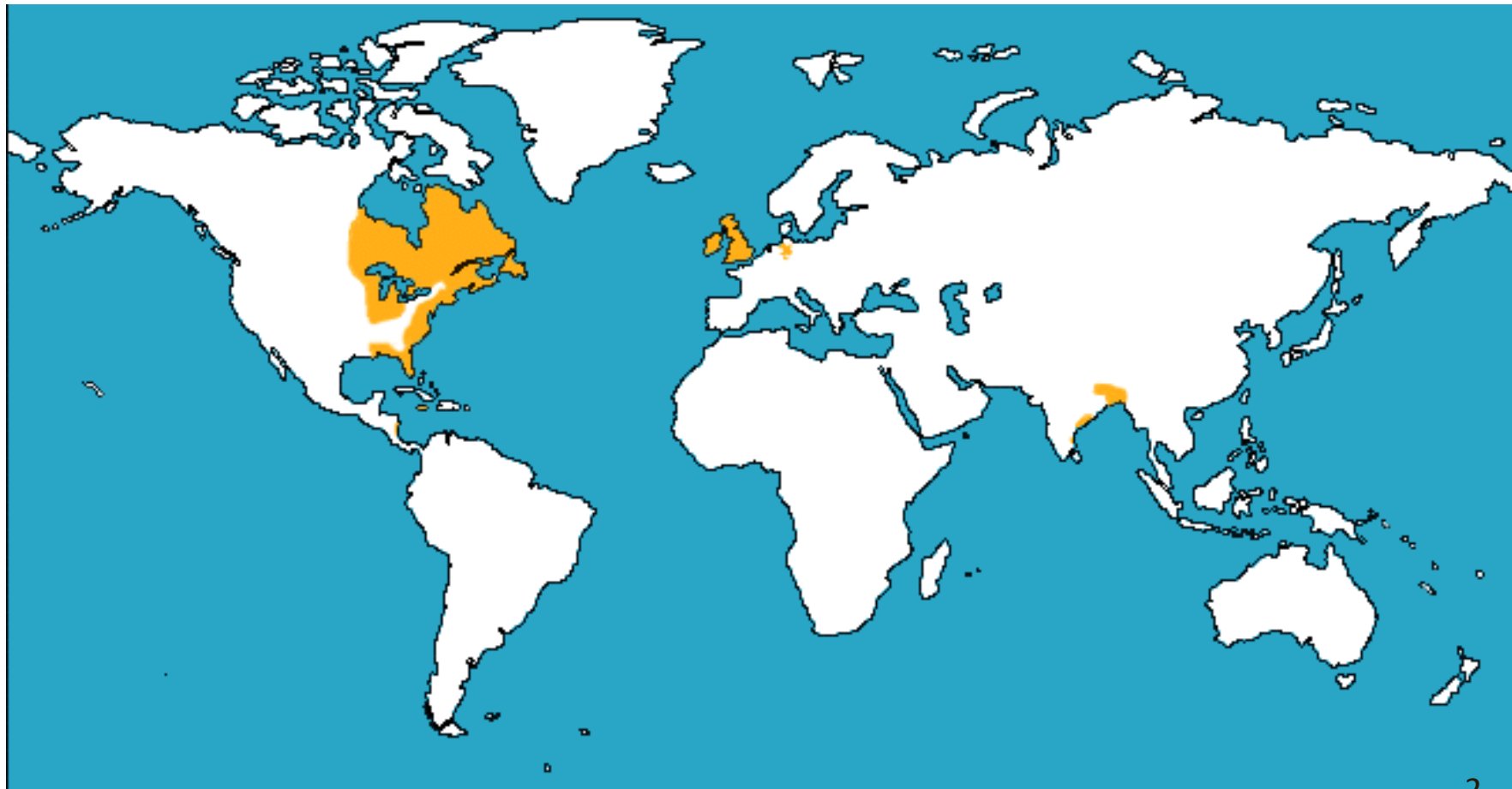
STORIA DELLA TECNOLOGIA

LEZIONE 14

**Massimo Guarnieri
Università di Padova
a.a. 2020-21**

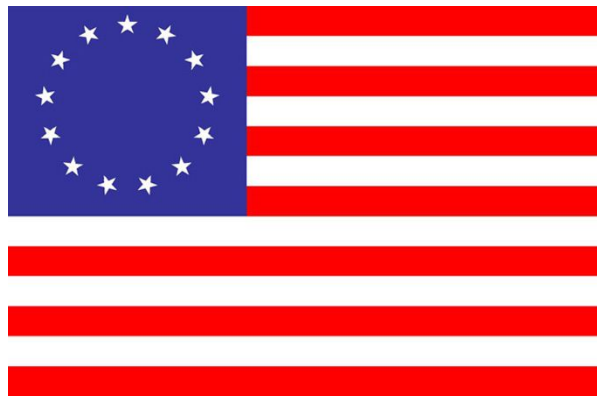
1763 - America

- Fine della guerra dei sette anni
- Vittoria di Inghilterra su Francia nelle colonie
- supremazia dell'impero coloniale britannico



1776 - Stati Uniti

Dichiarazione d'indipendenza della federazione delle 13 colonie americane: prima repubblica democratica moderna



created by Ed Stephan, 13 Jul 96
<http://www.ac.wvu.edu/~stephan>

1740 - Inghilterra

Stabilimento per produrre acido solforico (vetriolo)

Joshua Ward (1685-1761) a Richmond (Londra)

- combustione dello zolfo in presenza di salnitro - vapori raccolti in grandi campane di vetro
- produzione su larga scala (sbiancante per industria tessile, rimozione ruggine, ...)

È il primo processo industriale chimico

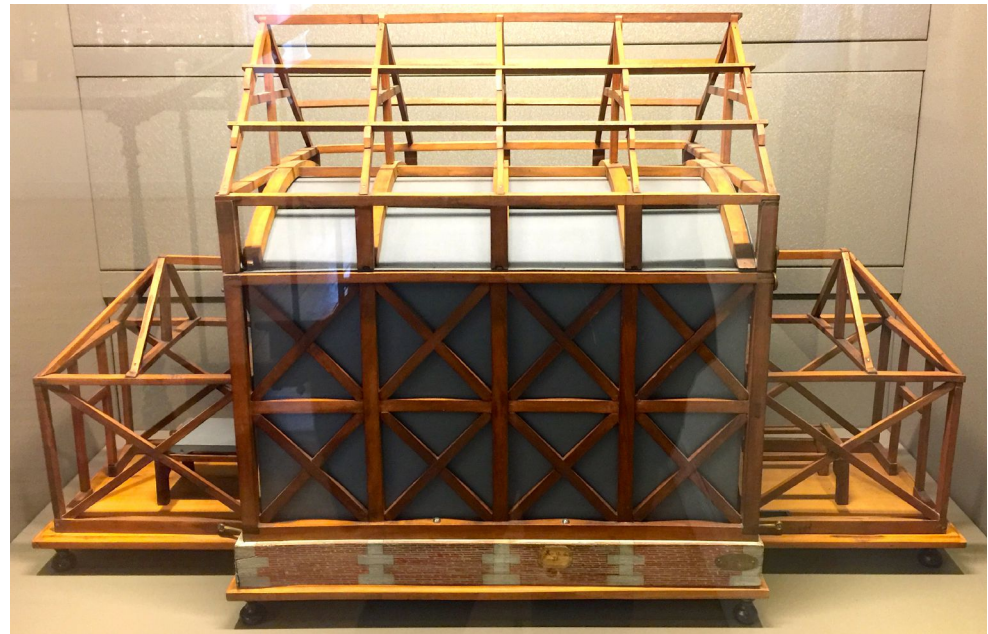
- l'acido solforico, utilizzo in vari processi chimici, è tuttora il prodotto chimico di più largo impiego su scala mondiale

1749 - Scozia

Produzione dell'acido solforico
processo perfezionato

John Roebuck (1718-1794) a Prestonpans (Edimburgo)

- utilizza camere in piombo da 8 m³
 - soluzione di grande successo e molto longeva
-
- Induce le prime leggi per la protezione ambientale, contro l'inquinamento da anidride solforosa



Musée des Arts et Metiers - Parigi

1766 - Inghilterra

Scoperta dell'idrogeno (aria infiammabile)

Henry Cavendish (1731-1810)

Chimico e fisico inglese



- autore di altre fondamentali scoperte scientifiche

1784: composizione dell'aria,
con straordinaria precisione:

- 20,83% di ossigeno (contro 20,95% attuale)
- 79,17% di azoto (contro 78,09% attuale)

1771: variabilità dell'interazione elettrostatica con l'inverso del quadrato della distanza (comunemente attribuita a Coulomb)

1789: prima determinazione della costante di gravitazione universale

Chimica nel periodo 1750-1800

Grandi progressi e individuazione di varie sostanze:

1751: nichel - **Axel Fredrik Cronstedt** (SE)

1772: azoto (aria flogisticata, viziata) - **D. Rutherford** (UK) e **K. Scheele** (SE)

1774: ossigeno (aria deflogisticata) - **J. Priestley** (UK) e **K. Scheele** (SE); fosforo e cloro (acido marino deflogisticato) - **K. Scheele** (SE); manganese - **J.G. Gahn** (SE)

1782: molibdeno – **P.J. Hjelm** (SE)

1783: tungsteno - **J.J. e F. d'Elhuyar** (ES)

1789: uranio e zirconio - **M.H. Klaproth** (D)

1795: titanio - **M.H. Klaproth** (D)

E vari composti:

1752: diossido di carbonio (aria fissa - già isolato un secolo prima da J.B. van Helmont, come gas silvestre) - **J. Black** (UK)

1767: acido carbonico - **J. Priestley** (UK)

1772: monossido di azoto e diossido di azoto - **J. Priestley** (UK)

1774: ammoniaca gassosa - **J. Priestley** (UK),

fluoruri, cianuri, vari acidi (cloridrico, cianidrico, tartarico, fosforico, lattico, ...)

Chimica nel periodo 1750-1800

Tali scoperte chimiche hanno importanza fondamentale in molti processi e prodotti industriali sviluppati tra la fine del XVIII secolo e la fine del XIX secolo:

Esempi:

acido carbonico →

1767: bibite gassate (con acido carbonico)

J. Priestley

cloro →

1785-7: impiego nella sbiancatura dei tessuti (come vedremo)

~1850: sbiancatura della carta,

~1900: potabilizzazione dell'acqua (primo significativo progresso dalla decantazione e filtrazione, già usate in epoca classica)

- L'azione sterilizzante del cloro è considerata tra le maggiori scoperte nella prevenzione sanitaria

1750-1760 - Inghilterra

AVVIO DELLA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

Indebolimento delle resistenze
elevate da stato e corporazioni
all'inizio fenomeno specificamente britannico

Prima fase della Rivoluzione Industriale

Predominio britannico - fattori determinanti:

- Unità nazionale
- Insularità a tutela dello sviluppo industriale (nessun conflitto con altre nazioni sul territorio nazionale)
- Legislazione e sistema politico (Parlamento) a tutela della borghesia e dell'iniziativa industriale
- Disponibilità di capitali finanziari prodotti da floride attività commerciali in mano alla ricca borghesia
- Banchieri pronti a rischiare (specialmente quaccheri e ugonotti)
- Materie prime a buon mercato dalle colonie (cotone, ...)
- Mercato di sbocco ricettivo
- Esubero di manodopera agricola
- Conoscenze tecniche prodotte dalle rivoluzioni scientifica

~1760 - Inghilterra

Industria manifatturiera: prodotti di largo consumo

- Aziende tessili
- Fabbrica di oggetti metallici di Boulton* a Soho presso Birmingham (1762), poi azionata a vapore
- Fabbrica di vasellame di Wedgwood** (1759), azionata da ruote idrauliche e ruote eoliche

e produzioni industriali

- Aziende chimiche: acido solforico di Ward (1740) e di Roebuck (1749)
- Aziende siderurgiche: ferriere Carron di Roebuck (1759) e di Wilkinson (1757), poi adottano azionamenti a vapore
- ...

*analoga a quella di Polhem in Svezia del 1700

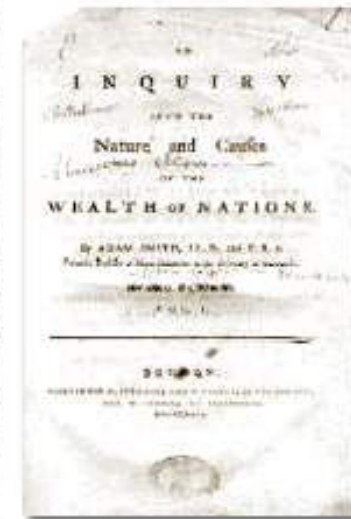
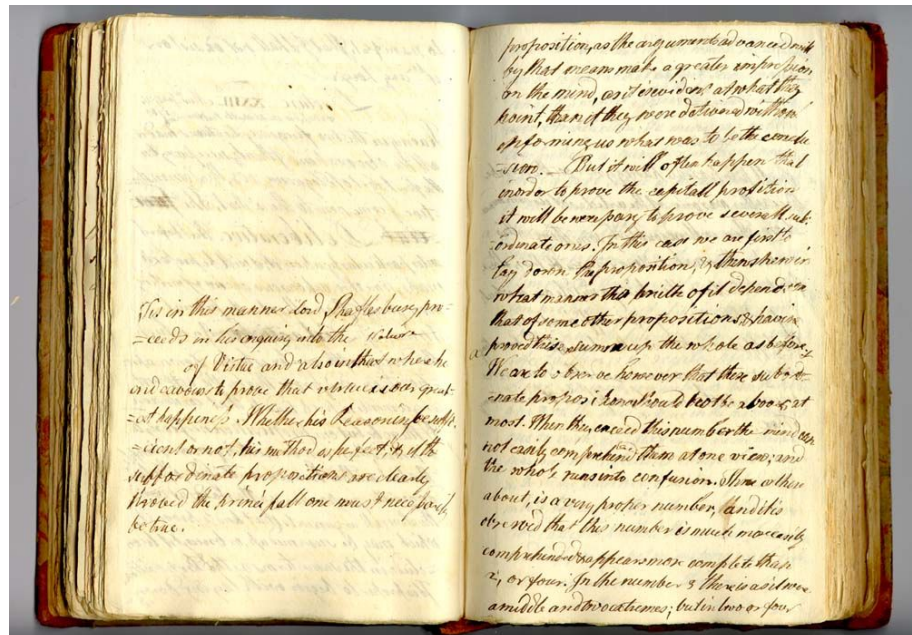
** come già visto, produce porcellane dal 1754

1776 - Scozia

An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations

Adam Smith (1723-1790)

- primo trattato moderno di economia, pone le basi dell'economia industriale moderna
- principio della divisione e specializzazione del lavoro: permette di migliorare qualità ed efficienza della produzione



1764 - Inghilterra

Filatoio multiplo a 8 fusi - *spinning Jenny*

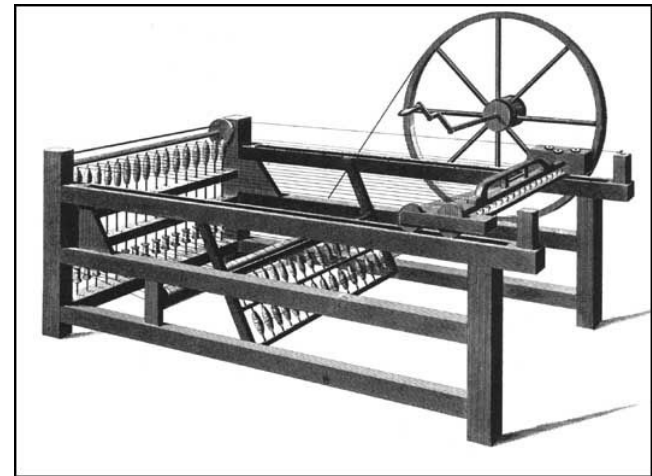
James Hargreaves (1720-1788)

- dal nome della moglie
- azionato da un solo addetto
- dà impulso al sistema di lavoro a domicilio:
putting-out system

1770: brevettata versione a 16 fusi

1784: esistono versioni a 24 fusi

- aumentano prodigiosamente la produttività



Filatoio multiplo - *spinning Jenny*

James Hargreaves (1720-1788)



1769 - Inghilterra

Filatoio per cotone

Richard Arkwright (1732-1792)

barbiere

- Filato di cotone di migliore qualità e resistenza, rende il cotone adatto all'uso come ordito, al posto del lino



1771 - Inghilterra

Fabbrica con filatoi per cotone

Richard Arkwright (1732-1792)

- edificio con esclusivo fine produttivo (come nel setificio Lombe a Derby del 1717)
- ove sono installati i grossi filatoi, difficili da azionare a mano

Evoluzione:

1775: versione azionata da ruota idraulica

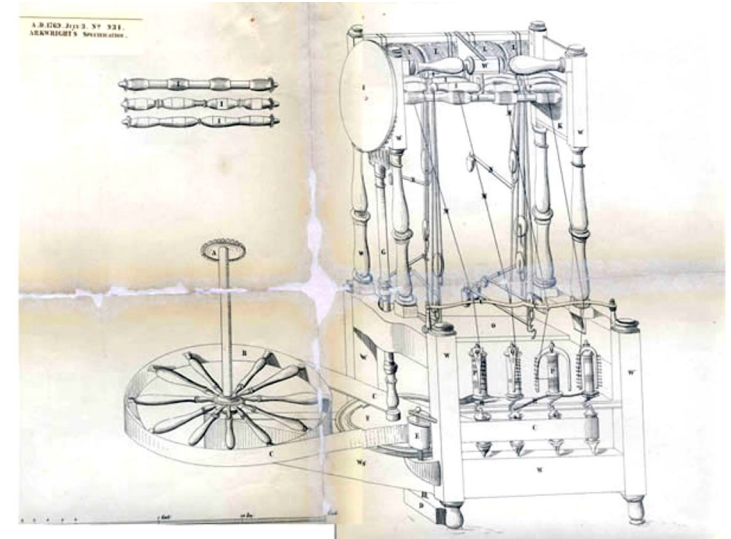
~1780: versione azionata da macchina a vapore di Newcomen

1785: scade il brevetto → rapida diffusione

- forte aumento della produttività
- impulso alla produzione in fabbrica: **factory system**
- →decollo della rivoluzione industriale

1799: fabbrica con 500 operai

- l'industria cotoniera inglese è la prima a decollare, all'inizio della rivoluzione industriale, battendo le ottime produzioni artigianali importate dai mercati coloniali



1779 - Inghilterra

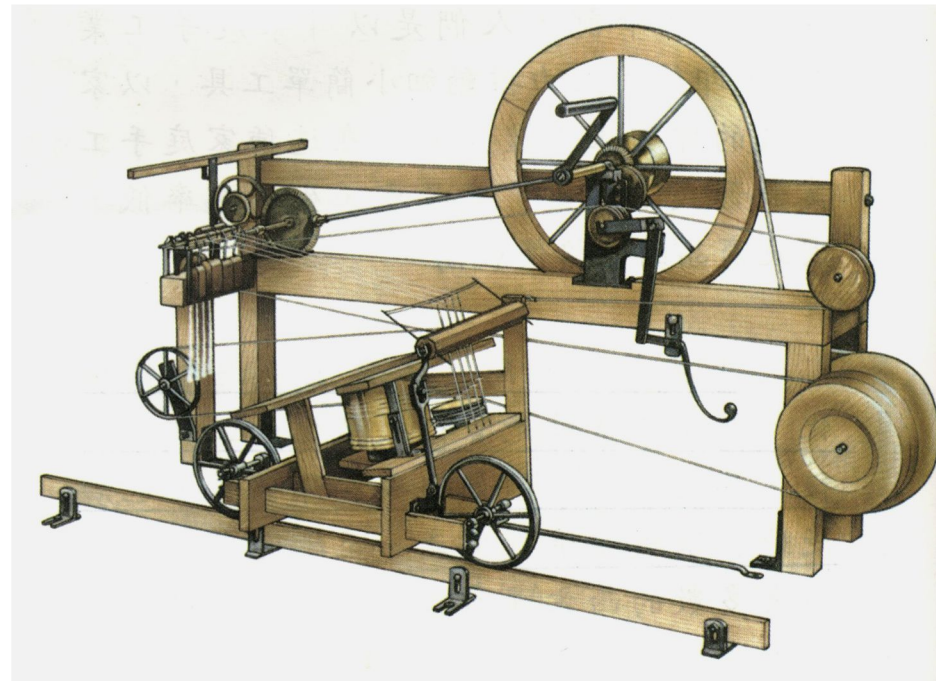
Filatoio per ogni tipo di filato – *spinning mule*

Samuel Crompton (1753-1827)



Molto migliore dei modelli precedenti di J. Hargreaves (1764-1768) e di R. Arkwright (1769)

- ne combina i pregi:
carrello intermittente
e azionamento con ruota
idraulica
- Ulteriore impulso al
sistema industriale
(**factory system**)



1740 - Inghilterra

Crogiolo per la produzione di acciaio

Benjamin Huntsman (1704-1776)

orologiaio alla ricerca di buon acciaio per molle

utilizzato in una fornace a coke capace di raggiungere i 1600°C

- il ferro, posto in crogioli di argilla in cariche da 15 kg (piccole cariche), fonde completamente (1550°C)
- aggiungendo ghisa si calibra il contenuto di carbonio, ottenendo acciaio di elevata qualità, lavorabile per getto o forgiatura
- processo di fusione lungo (3 ore) e usabile con piccole cariche → molto costoso
- resta a lungo un segreto industriale inglese gelosamente custodito

1805: l'acciaio al crogiolo inizia ad essere prodotto anche in Europa continentale da Johann Conrad Fischer (Svezia)

1811: l'acciaio al crogiolo inizia ad essere prodotto in Germania da Krupp

- il crogiolo rimane il processo produttivo dell'acciaio di elevata qualità fino alla fine del XIX secolo

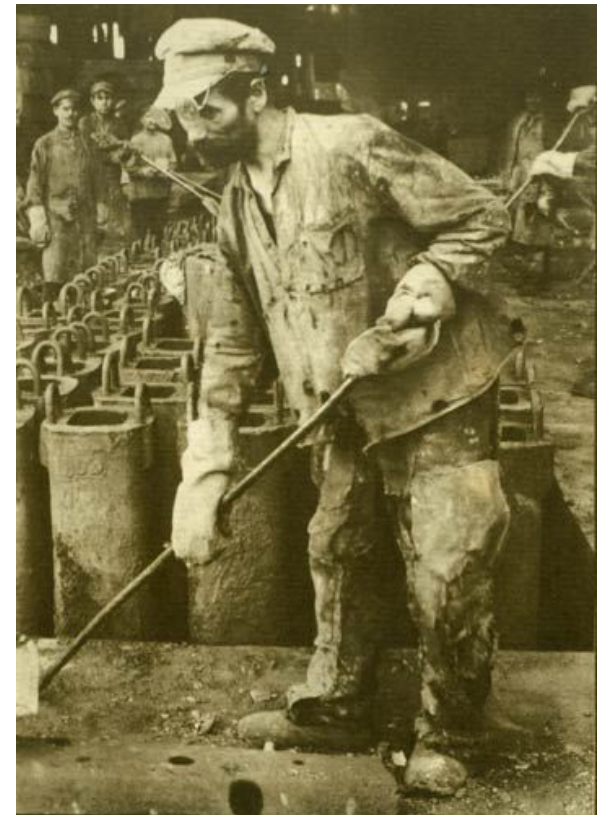
1768 - Inghilterra

Altro modo di produzione dell'acciaio (di minore qualità):

Puddellaggio dell'acciaio

Peter Onions (1724 – 1798)?

- mescolamento della ghisa d'altoforno pastosa per ossidarne il carbonio in ossido di carbonio e così eliminarlo dalla lega
- se ne ottiene un acciaio di discreta qualità più resistente della ghisa da getto
- producibile in quantità consistenti
- indispensabile alle macchine della rivoluzione industriale
- ma la lavorazione è faticosa e costosa



Puddellatore di fine XIX secolo

1779 - Inghilterra

Ponte in acciaio sul Savern

Abraham Darby III (1750-1791)

John Wilkinson (1728-1808)

- infrastruttura per il comprensorio metallurgico di Coalbrookdale (fonderie Darby)
- promozione e fornitura dell'acciaio, ottenuto con metodi economici per mezzo di carbone di coke e puddellaggio
- prima costruzione in acciaio di grandi dimensioni
- uso rivoluzionario del ferro come materiale strutturale da costruzione, sostitutivo del legno e della pietra
 - anticipa una svolta tecnologica fondamentale del XIX secolo

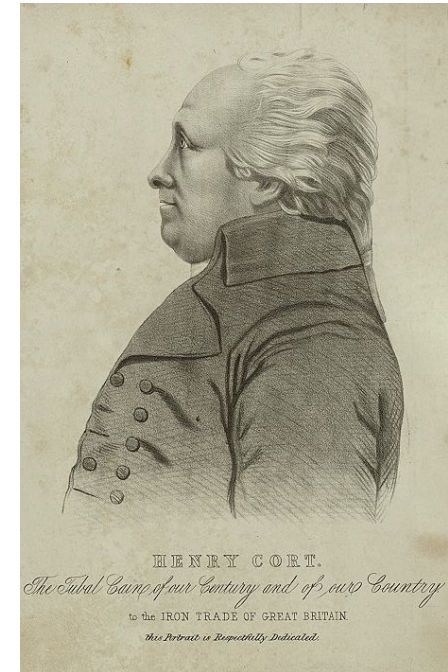


1784 - Inghilterra

Forno a riverbero e puddellaggio

Henry Cort (1740-1800)

- la produzione dell'acciaio diventa più economica,
- indispensabile alla rivoluzione industriale
- tecnica gelosamente protetta anche a livello legislativo
- prima l'acciaio di buona qualità doveva essere acquistato ad alto prezzo da Svezia e Russia, ora il Regno Unito diventa autonomo
- la produzione di acciaio inglese inizia a crescere in modo vertiginoso (200 ton nel 1740, 80.000 nel 1840)



1770 - Inghilterra

Introduzione della macchina a vapore in siderurgia

- sempre a moto alternativo
- per azionare un mantice da altoforno

Ferriere di Carron

1759: fondate da John Roebuck* con due altri finanziatori

una delle aziende protagoniste della rivoluzione industriale britannica

1800: maggiore fonderia europea, con 1000 addetti

*John Roebuck – 1749: apre dei primi stabilimenti per la produzione di acido solforico

1759: apre le ferriere Carron

1765: sostiene finanziariamente Watt

1772: fallisce

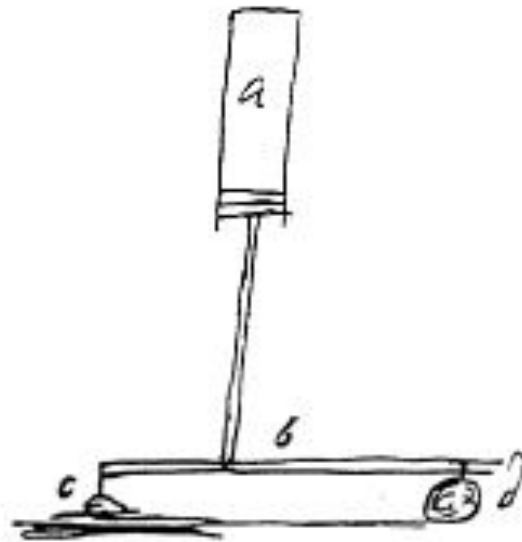
1765 - Scozia

Condensatore separato per macchina a vapore in bassa pressione con stantuffo caldo

James Watt (1736-1819)

- Il cilindro non viene raffreddato per poi essere riscaldato ad ogni ciclo, ma rimane sempre caldo → aumento notevole del rendimento

1769: brevetto col sostegno finanziario di John Roebuck



Steam Engine Library - University of Rochester - Rochester

1774 - Inghilterra - Scozia

Macchina a vapore in bassa pressione con condensatore separato e cilindro caldo

James Watt (1736-1819) e
Matthew Boulton* (1728-1809)

- Rendimento 2,7%
→ riduce a $\frac{1}{4}$ il consumo di combustibile

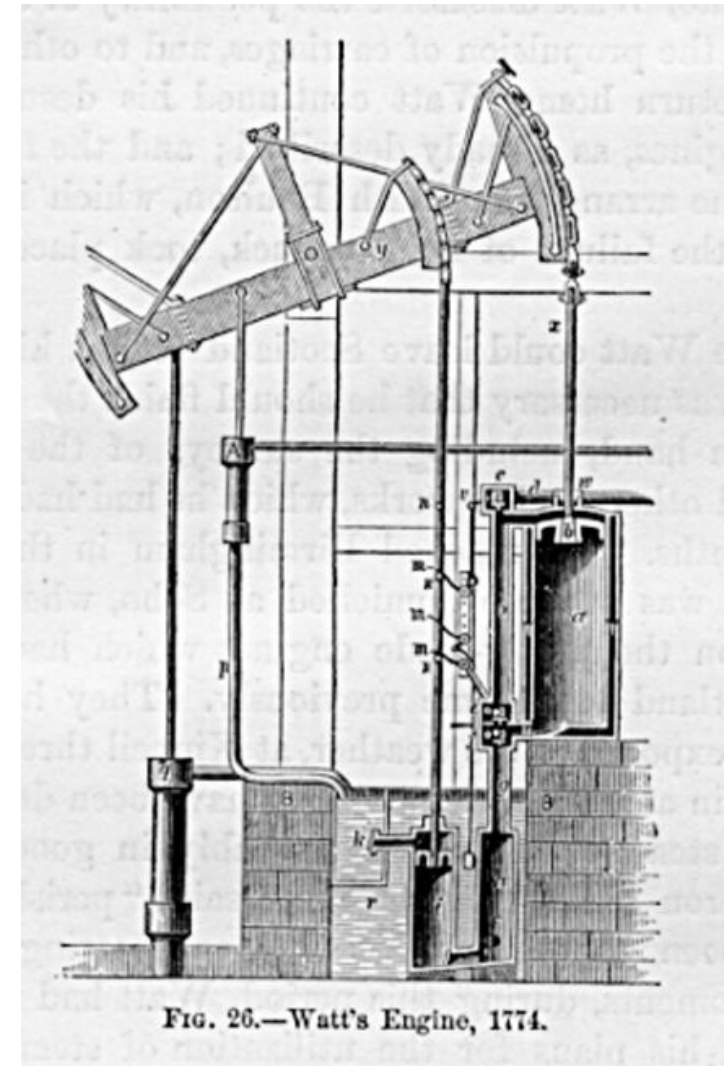
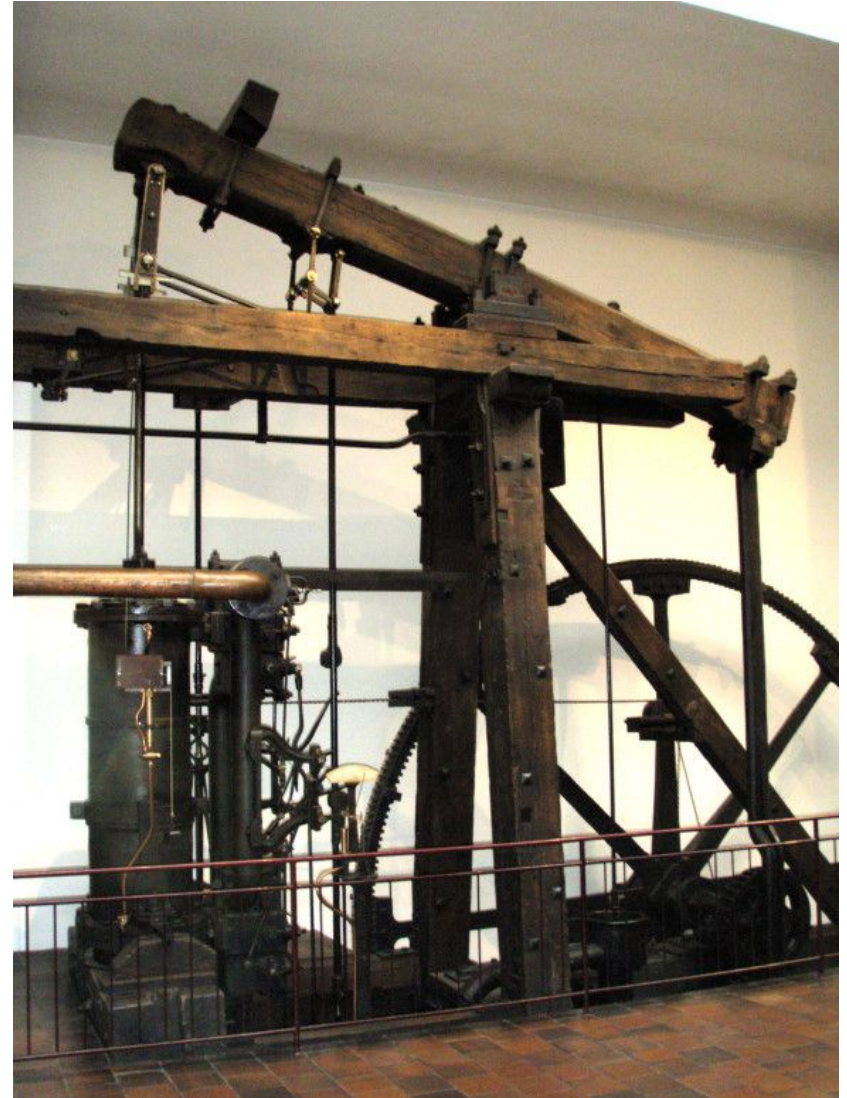
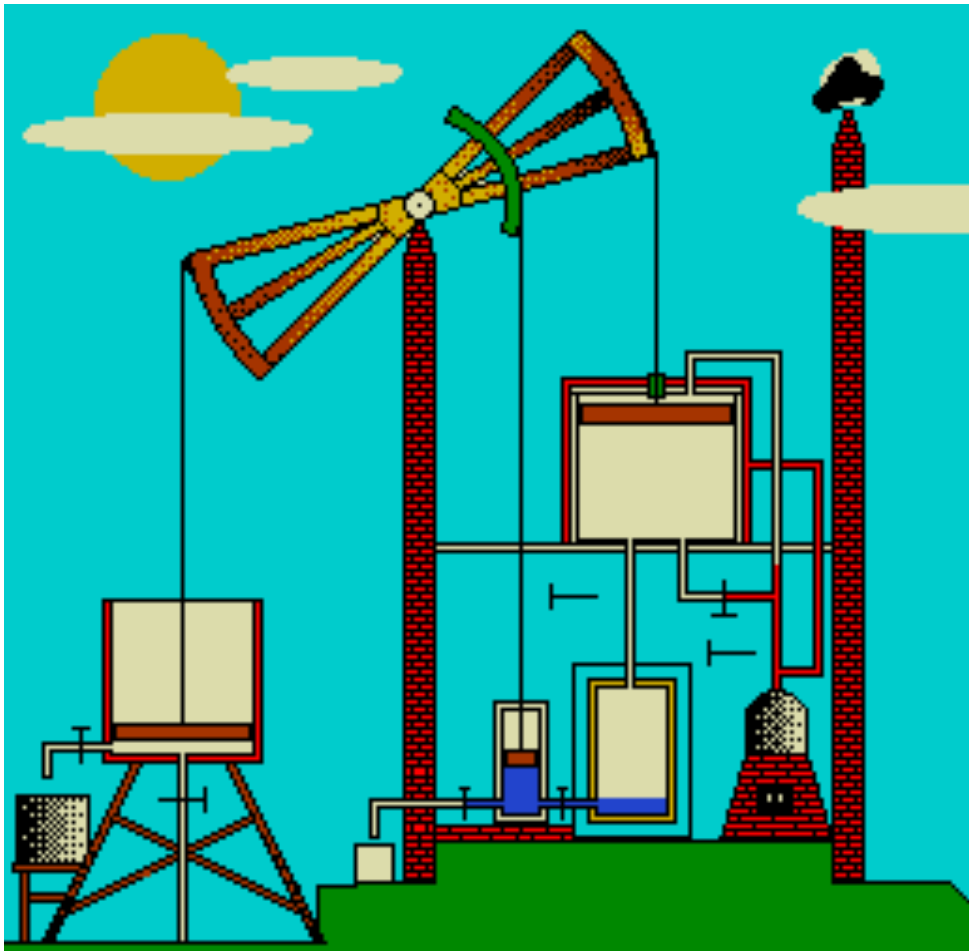


FIG. 26.—Watt's Engine, 1774.

*subentra a Roebuck dopo il fallimento di questi

Macchina a vapore di Watt

Deutsches Museum - Monaco

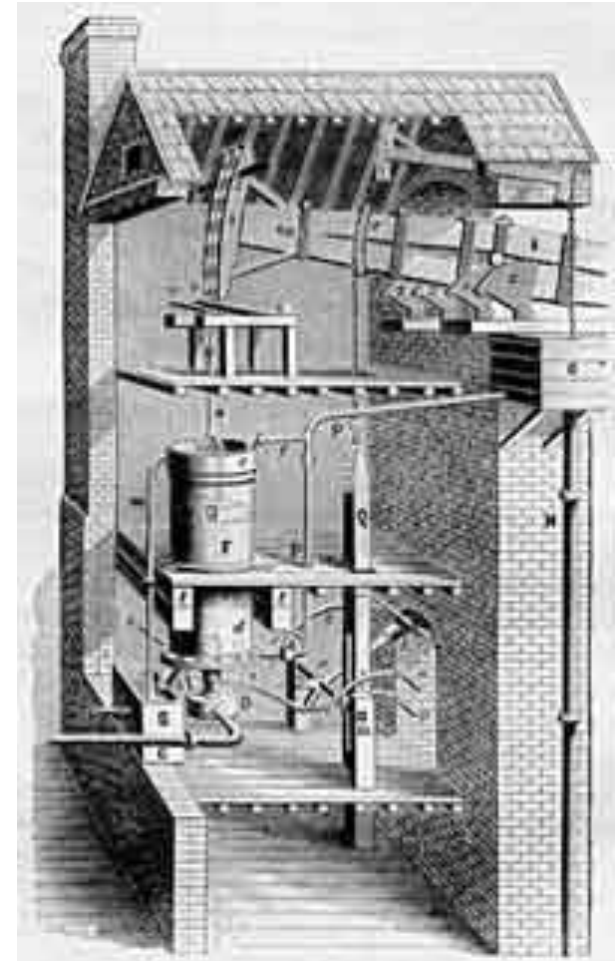


1777 - Inghilterra

Perfezionamento della macchina a vapore di Newcomen

John Smeaton (1724-1792)

- ottimizzazione delle dimensioni e riduzione dei giochi
- rendimento 1,4% (comunque $\frac{1}{2}$ di quella di Watt)
- la macchina di Newcomen, pur inferiore a quella di Watt, è ancora ampiamente diffusa, e lo rimane a lungo, anche perché non più gravata da vincoli brevettuali, a differenza di quella di Watt

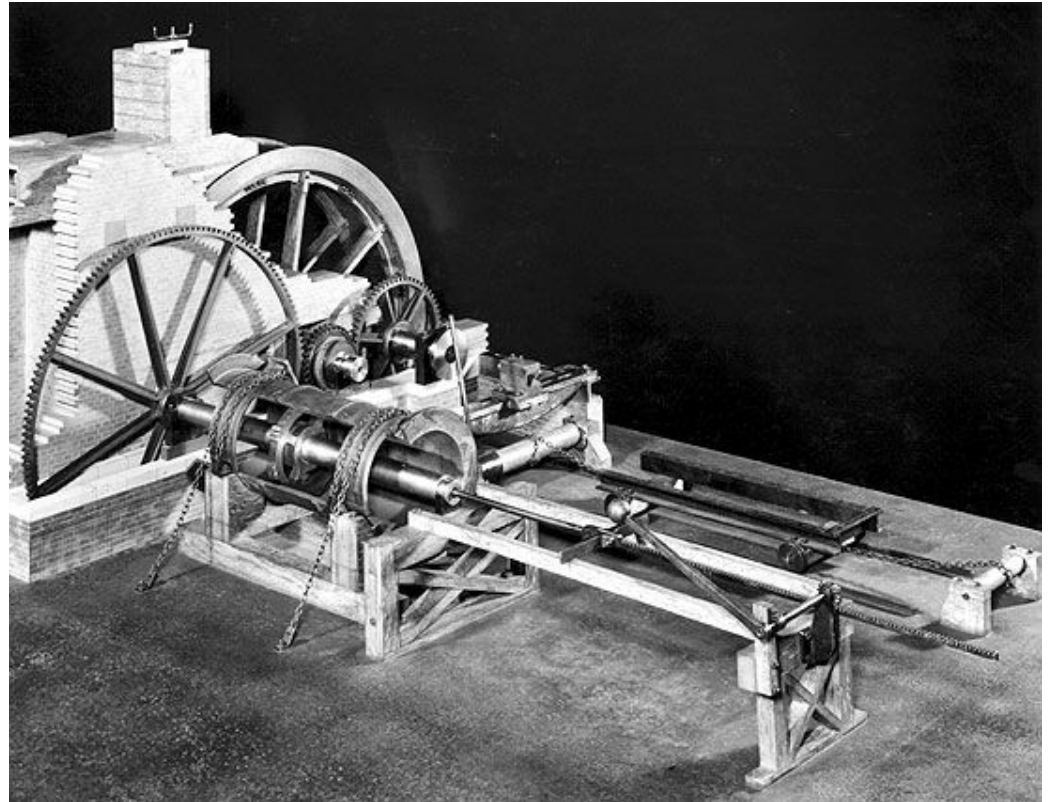


1774 - Inghilterra

Macchina alesatrice

John Wilkinson (1728-1808)

- ideata per la produzione di cannoni (la foratura dal pieno era iniziata ~1720)
- esegue fori fino a $\varnothing = 183$ cm con elevata precisione
- prima grande macchina per lavorazioni meccaniche
- pietra miliare in tali lavorazioni
- adatta anche ai cilindri delle macchine a vapore
- garantisce la precisione necessaria alle macchine a vapore di Watt



Flusso tecnologico bidirezionale

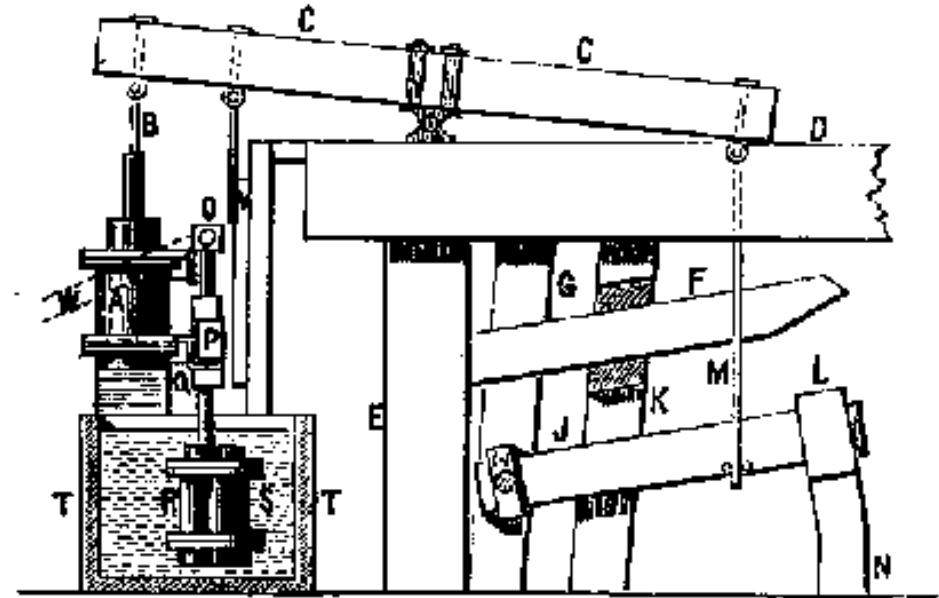
1776: Wilkinson usa la nuova macchina di Watt nei mantici degli altiforni delle Ferriere Wilkinson (come le Ferriere Carron usano la macchina di Newcomen nel 1770)

1784 - Inghilterra

Maglio a vapore

John Wilkinson (1728-1808)

- Con la macchina fornita da Watt 120 lb, 150 colpi/min
- Uno dei primi usi della macchina a vapore nelle lavorazioni meccaniche



- Dopo l'uso per azionare mantici (pure a moto alternato) nelle stesse Ferriere Wilkinson del 1776

1779 - Inghilterra

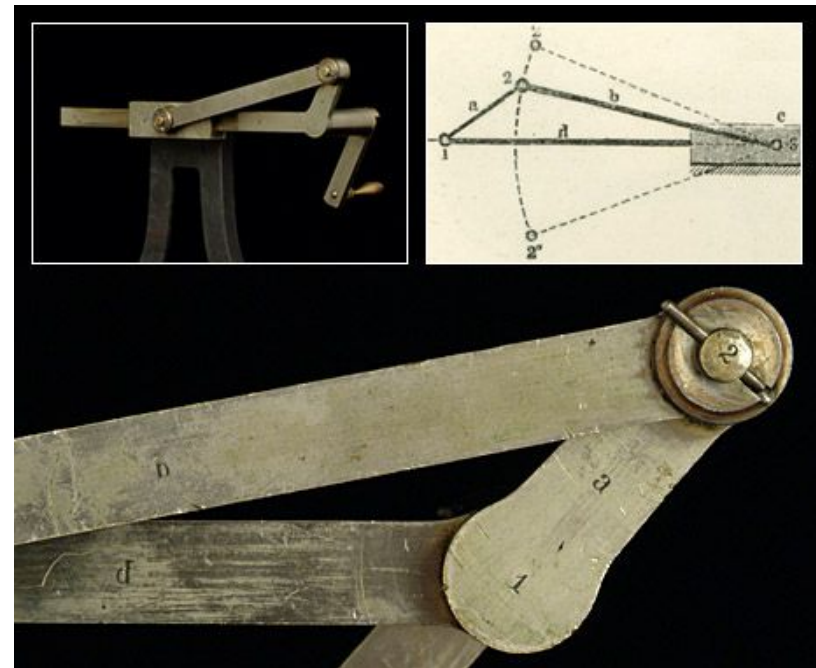
Meccanismo a biella e manovella (con volano)

James Pickard (dipendente di Watt) e **Matthew Wasborough**

- Brevetto a un meccanismo noto da secoli (impero romano, Al-Jazari, Brunelleschi, Taccola, Leonardo, ...) e possibile utilizzo di Watt nel 1771
- applicato inizialmente alla macchina di Newcomen

- Trasforma il moto alternativo in moto rotatorio continuo
- Sostituisce altri metodi poco efficienti es.: sollevamento di acqua per azionare una ruota idraulica

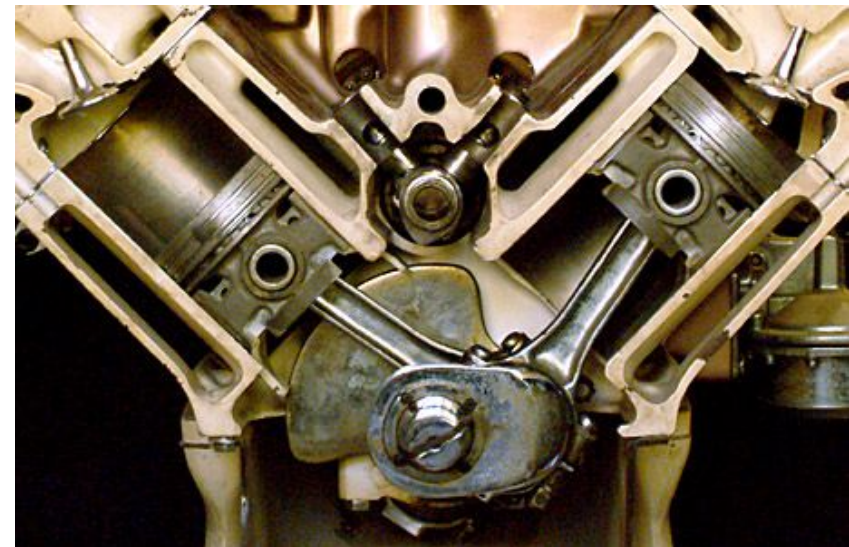
→ **la macchina a vapore diviene il primo vero motore della rivoluzione industriale**



1779 - Inghilterra

Meccanismo a biella e manovella (con volano)

- ha importanza capitale per la fornitura di potenza meccanica costante in modo versatile
- insostituibile in molte applicazioni
- ha avuto ed ha ancora vastissimo impiego



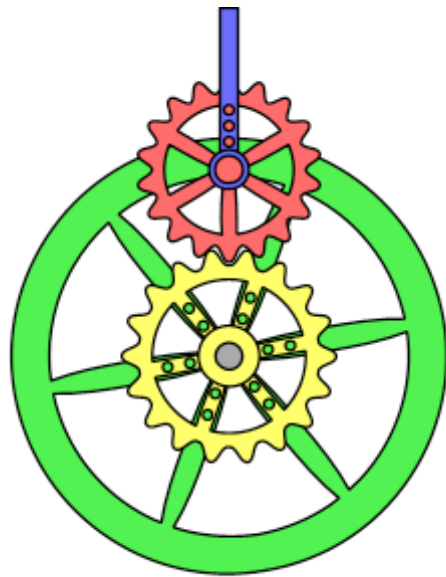
Deutsches Museum - Monaco

1781 - Inghilterra

Macchina a vapore con condensatore e moto rotativo

James Watt (1736-1819) e **Matthew Boulton** (1728-1809)

- ingranaggi a planetario e satelliti con **W. Murdock** (1754-1839)



- **primi profitti**



1781 - Inghilterra

Macchina a vapore con condensatore e moto rotativo

James Watt (1736-1819) e Matthew Boulton (1728-1809)

Sviluppi successivi

1784: cilindro a doppio effetto
e parallelogramma

1788: regolatore a retroazione
a sfere rotanti

1796: indicatore di pressione

1800: contagiri



Macchine di Watt

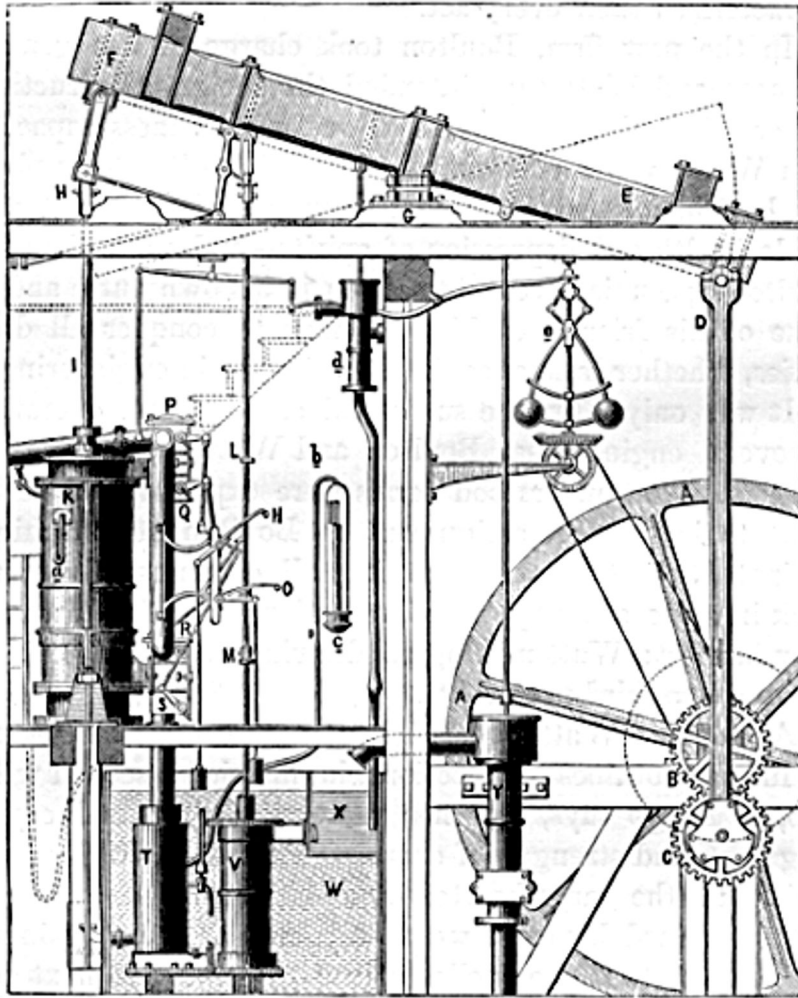


FIG. 27.—Watt's Engine, 1781.

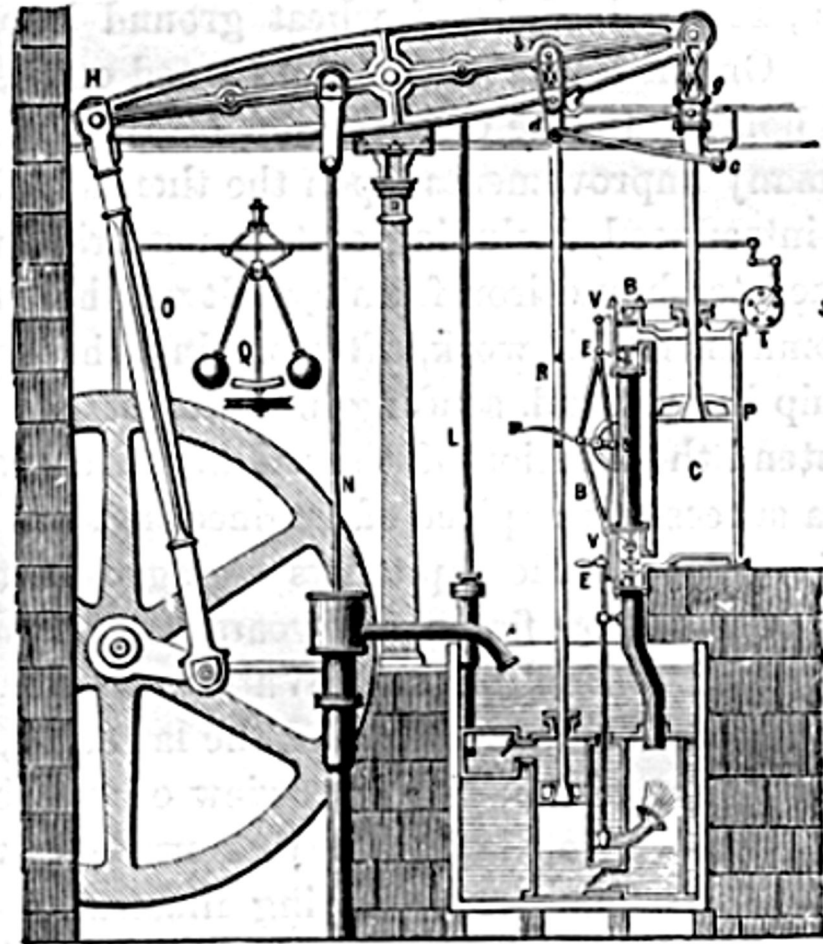


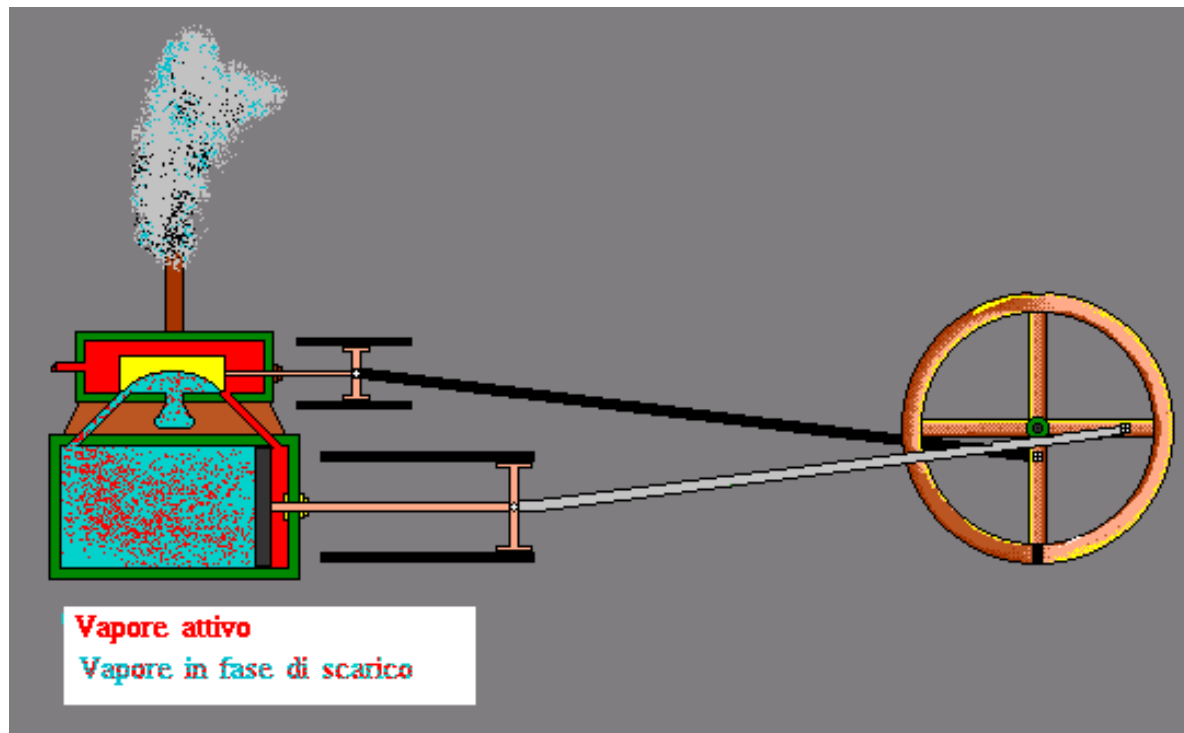
FIG. 31.—Boulton & Watt's Double-Acting Engine, 1784.

1784 - Gran Bretagna

Macchina a vapore di Boulton e Watt con cilindro a doppio effetto e distribuzione a parallelogramma

doppio effetto:

- fase attiva sia durante la corsa di andata che quella di ritorno (non si ferma)
- ma anche raddoppio della potenza erogata dalla macchina

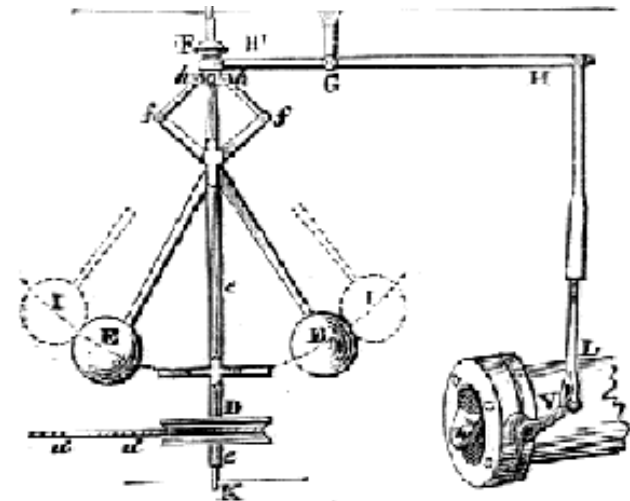
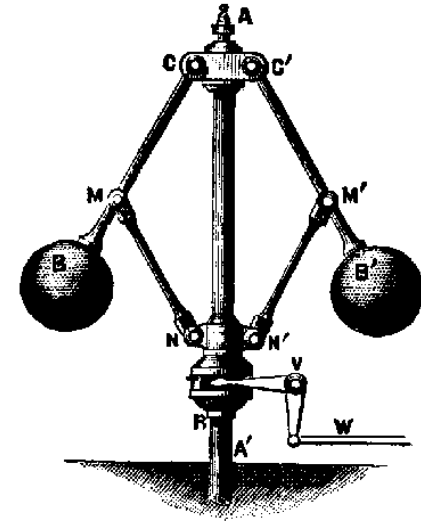
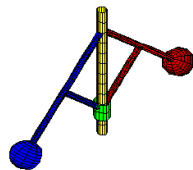


1788 - Inghilterra

Regolatore automatico a sfere rotanti per macchina a vapore

James Watt (1736-1819)

- ispirato ad analogo meccanismo per il controllo delle vele dei mulini a vento (Mead 1787)
- dispositivo a retroazione
- primo dispositivo di regolazione automatica per impieghi industriali



1788 - Inghilterra

Regolatore a sfere rotanti per macchina a vapore

Teoria della retroazione

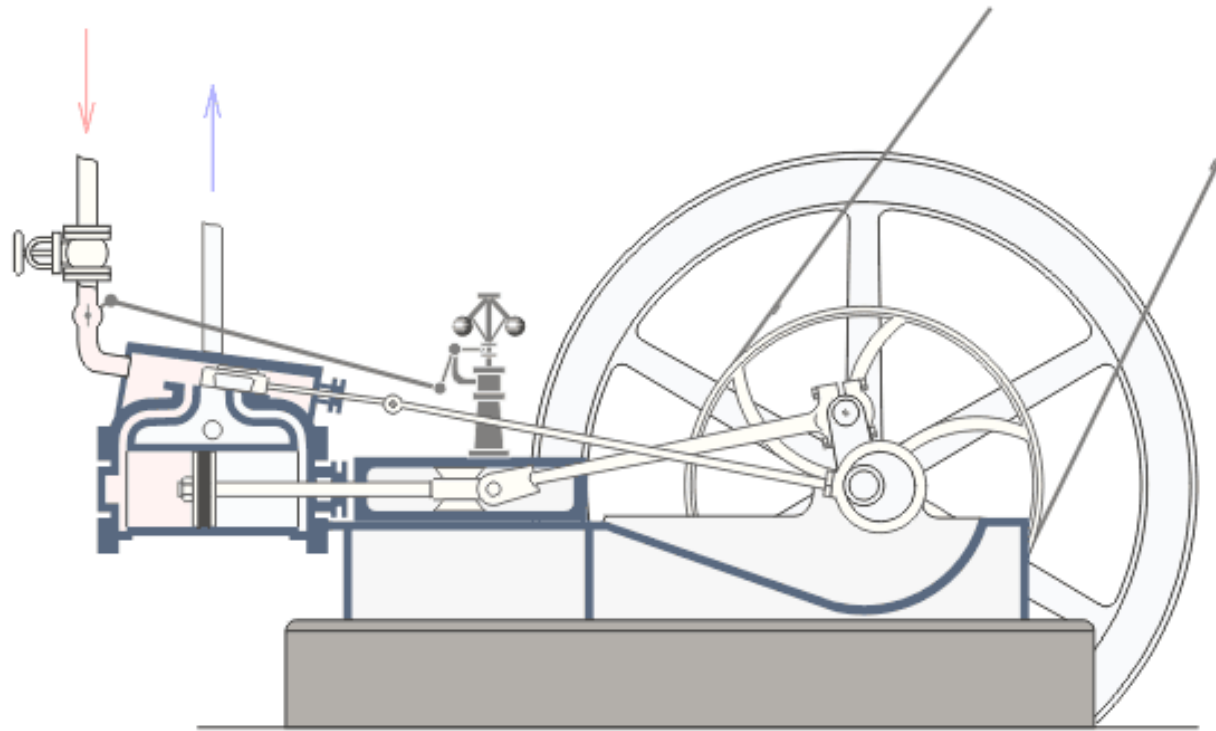
1840: primi studi teorici sulla retroazione dell'astronomo Airy (applicata agli azionamenti per telescopi)

1867: primi studi teorici di Maxwell sui sistemi di controllo nella memoria
On Governors



Deutsches Museum - Monaco

Macchina a vapore ed Energia

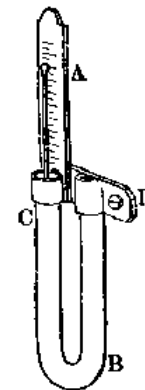


1796 - Inghilterra

Indicatore di pressione per macchina a vapore

James Watt (1736-1819)

- Dispositivo di sicurezza
- Precorre i dispositivi di sicurezza che oggi sono pratica irrinunciabile in macchine e impianti



Laminatoio azionato da macchina a vapore con meccanismo a biella e manovella

- Affermazione del moto rotatorio anche nei processi siderurgici

~1780 - Inghilterra

DECOLLO DELLA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE



1770 - Francia

Automobile a vapore (triciclo)

Joseph Cugnot (1755-1804)

- commessa militare per trasporto di artiglierie
- scarsa autonomia (15 min)
- scarsa manovrabilità, poco stabile, mancano freni adeguati
- insuccesso



Musée des Arts et Métiers - Parigi

1770 - Francia

Automobile a vapore (triciclo)

Joseph Cugnot (1755-1804)



1776 - Francia

1776: Battello a vapore (13 m) – *Palmipède*

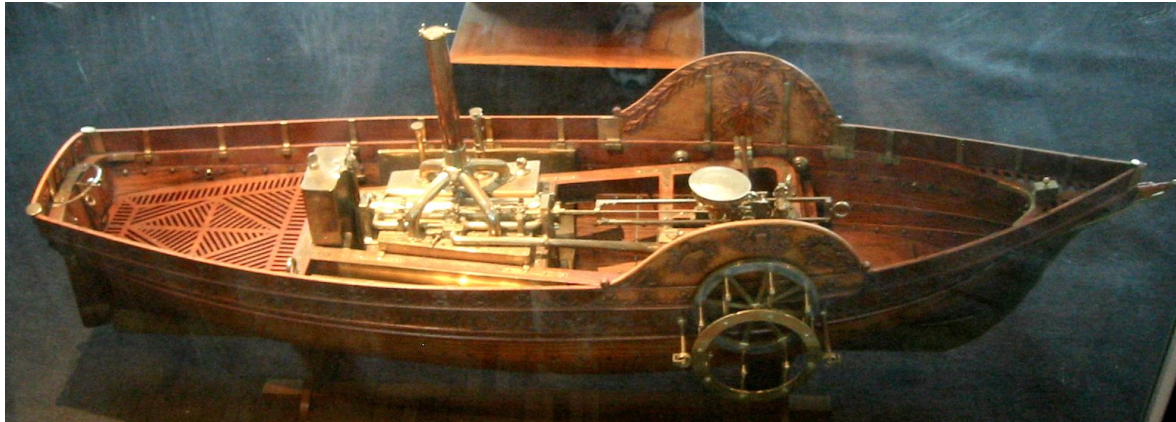
La macchina a vapore muove remi dotati di pale rotanti

1783: Piroscifo a vapore (45,2 m) - *Pyroscape*

La macchina a vapore muove due ruote a pale laterali

Claude-François Dorothee (1751-1832)

marchese di Jouffrey d'Abbans



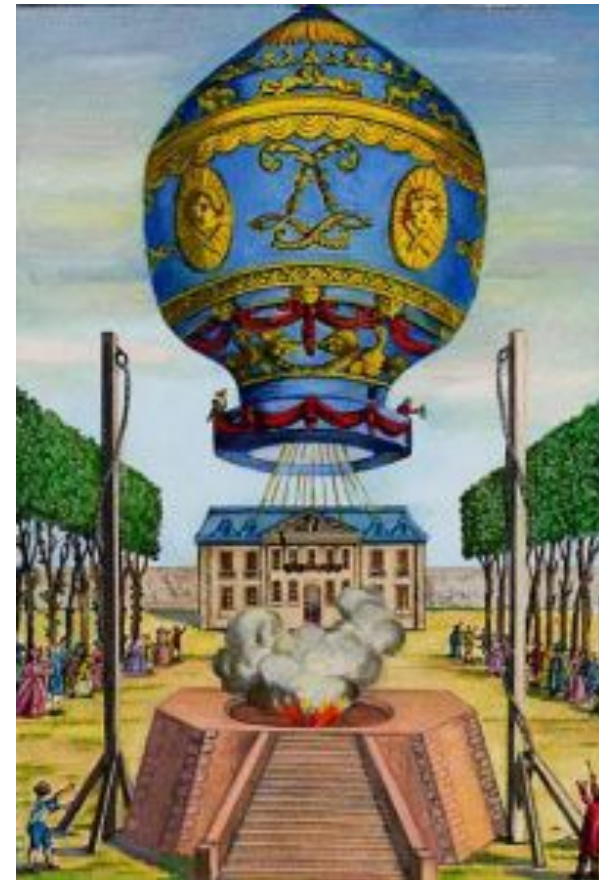
Tentativi statunitensi successivi: battelli sperimentali a vapore con propulsioni fantasiose di **James Rumsey** (1785-7) e **John Fitch** (1787)

1783 - Francia

Pallone aerostatico ad aria calda - *Mongolfiera*

**Joseph-Michel (1740-1810) e Jacques-Etienne (1745-1799)
Montgolfier**

- fabbricanti di carta (non scienziati o tecnici professionisti), usano un pallone di carta e tela di 10 m di diametro ad aria calda che sale a circa 1000 metri
- Evento sensazionale: il sogno di Icaro realizzato dopo 3000 anni
- Primi voli con animali (19 settembre) e poco dopo volo umano (21 novembre)



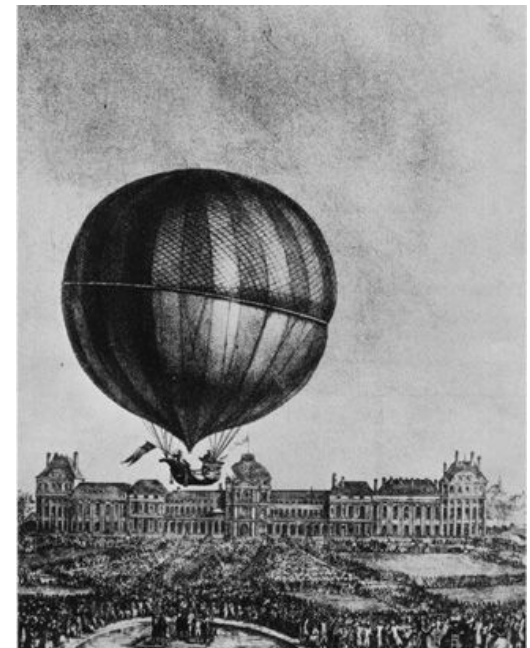
1783 - Francia

anche gli scienziati stanno cercando di alzarsi in volo, ma usando l'idrogeno – isolato da Cavendish nel 1766 e subito riconosciuto molto più leggero dell'aria ... ma arrivano dopo!

Pallone aerostatico ad idrogeno

Jacques Alexandre César Charles (1746-1823)

- Matematico, fisico ed inventore
- Pallone dotato di dispositivi per il controllo verticale:
 - Valvola per scendere
 - Zavorra (da rilasciare) per salire
- 1 dicembre: volo umano
- manca il controllo orizzontale = capacità di dirigere il pallone nella direzione voluta



1784 - Olanda

Gas per illuminazione

Jean Pierre Minkeliers (1748-1824)

- produzione di gas dal carbone per gonfiare i palloni aerostatici
- usato per illuminare il suo laboratorio al Università di Lovanio
 - In precedenza il gas di carbone era già prodotto nei processi di cokificazione ad uso siderurgico

Evoluzione

- **Philippe Lebon** (1767-1804) F = ~1792: primi esperimenti con gas ottenuto dalla legna; 1799: brevetto, 1801: dimostrazione pubblica - senza seguito per il disinteresse del governo francese
- **William Murdock** (1754-1839) GB = 1792: illuminazione della propria abitazione con gas ottenuto dal carbone fossile; 1802: primo impianto inglese nella fonderia Boulton-Watt, dove lavora
- Perfezionato negli anni seguenti con la collaborazione di **Samuel Clegg**, che idea il depuratore a calce

1784 - Inghilterra

Locomotiva a vapore sperimentale
(di piccole dimensioni)

William Murdock (1754-1839)

- miglior collaboratore di Watt e Boulton dal 1777, poi loro socio
- progressi in siderurgia
- caldaia ad alta pressione (maggiore di quella delle macchine di Watt)
- maggiore rapporto potenza/peso
- Rendimento 4%
- uso per locomozione (sperimentale)



1787 - Inghilterra

Telaio motorizzato e automatico di concezione moderna, con meccanismo per alzare il liccio, azionato a vapore (tentativi anche con acqua, forza animale)

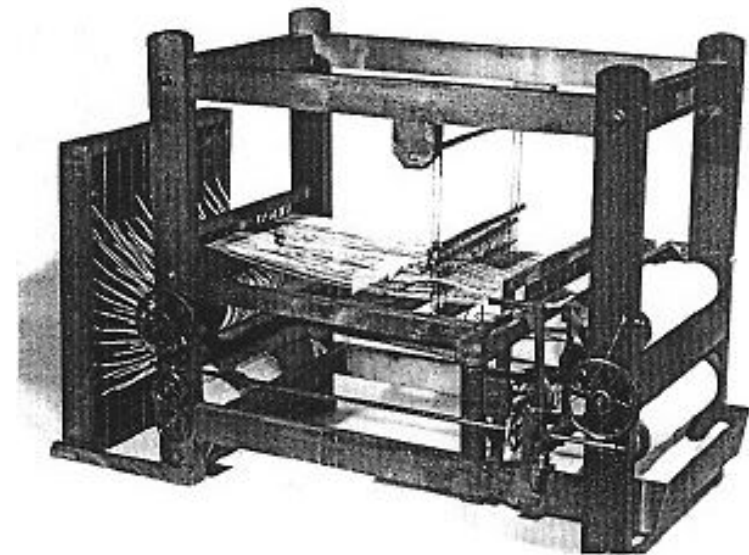
Edmund Cartwright (1743-1823)

medico e parroco



telaio adatto al lavoro femminile

- Nello stabilimento molto innovativo di Doncaster ispirato a quelli di Arkwright



1789 - Inghilterra

Cardatrice automatica per la pettinatura e pulitura della lana, motorizzata con la macchina a vapore

Edmund Cartwright (1743-1823)

- non necessita di manodopera specializzata e svolge il lavoro di 20 operai

1793: Cartwright fallisce per problemi gestionali

1820: affermazione definitiva, grazie anche ad un premio governativo di 10.000 £ ricevuto nel 1809

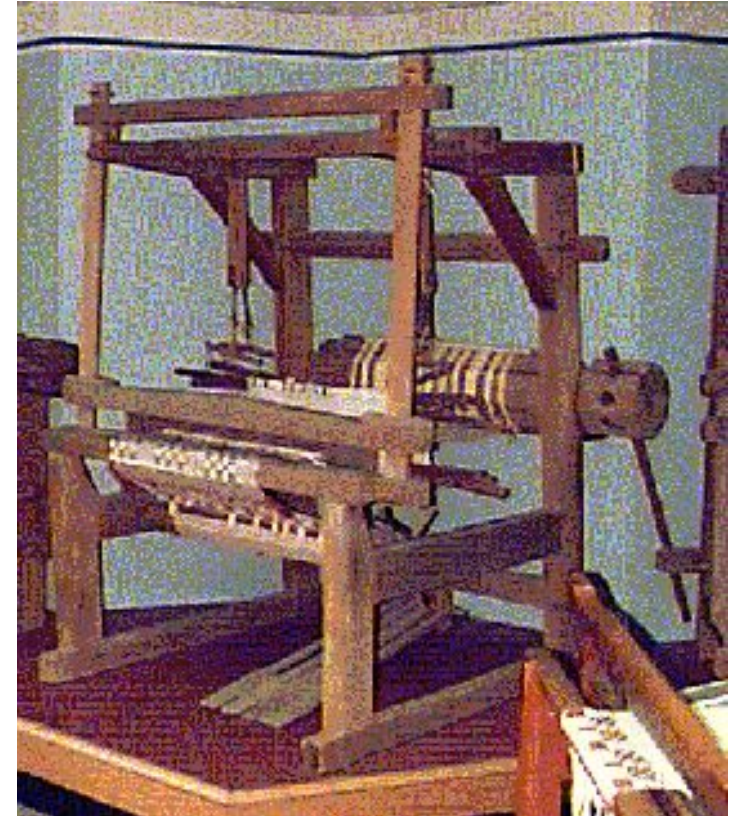
1789 - Scozia

Telaio automatico e motorizzato,
azionato a vapore

John Austin

- Simile a quello di Cartwright del 1787
- 1798: miglioramento
- seguito da altre realizzazioni analoghe

1800: fabbrica con 200 telai Austin a
Pollockshaws (Glasgow)



Regno Unito

Industria tessile britannica

- Le macchine di Arkwright, Hargreaves, Crompton Cartwright e Austin motorizzate dalla macchina di Watt (e le loro evoluzioni successive) spingono al grande successo l'industriale tessile inglese col sistema di fabbrica (**factory system**)

l'industria tessile britannica sopravanza qualsiasi esperienza precedente e non ha confronti con le realizzazioni degli altri paesi

- In particolare nel settore del cotone, poco pregiato e poco prestigioso, ma di largo consumo

1777 - Inghilterra

La tecnologia industriale richiede una meccanica nuova e a svilupparla sono alcune generazioni di ingegneri britannici

Macchina per dividere

Jesse Ramsden (1735-1800)

- permette di dividere archi di cerchio (e il cerchio stesso) in parti uguali e scale lineari

1762: precedente modello toscano

- Importante progresso nella meccanica di precisione



Science Museum - Londra

1778 - Inghilterra

Gabinetto con sciacquone a sifone
water closet

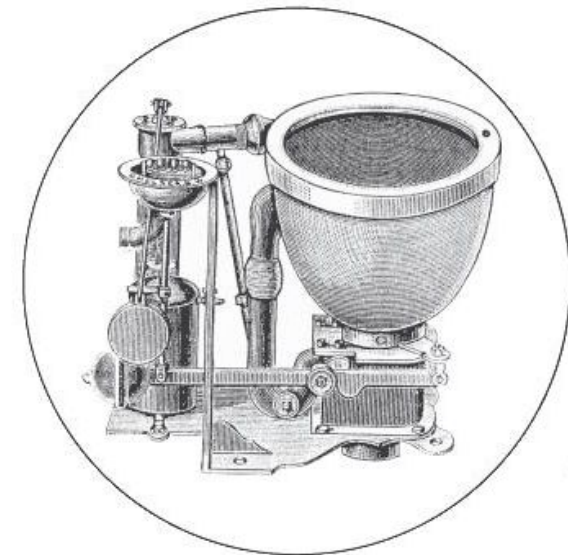
Joseph Bramah (1748-1814)

capostipite dei grandi meccanici britannici



re-invenzione (Cina 106 a.C., Inghilterra 1596)

- notevole successo commerciale
- nuova sensibilità alle esigenze igienico-sanitarie
- prima di molte invenzioni pratiche e industriali di Bramah



1784 - Inghilterra

Serratura di precisione - “rompicapo”

Joseph Bramah (1749-1814)

- contesto: meccanica contemporanea primitiva, mancanza di standardizzazione e intercambiabilità
- Insuperata ed inviolata per 67 anni (fino al 1851) e tuttora valida



1785 - Inghilterra

Elica a vite per propulsione navale

Joseph Bramah (1748-1814)

- intuita da Leonardo, ispirata alla vite di Archimede (coclea)
- solo brevetto, senza realizzazione pratica

- l'elica navale ha un'affermazione lenta, a causa della preferenza iniziale per la ruota a pale, derivata dalla ruota idraulica, che gode di enorme e secolare successo

Precedenti:

1752: concezione della propulsione ad elica (Daniel Bernoulli)

1776: idea del sottomarino ad elica (David Bushnell)

1784: elica aerea per barche e palloni (Vallet)



London Science Museum

1800 - Gran Bretagna

Elica a due pale

Edward Shorter

- Ispirata alle pale del mulino a vento, solo brevettata, pensata per azionamento muscolare



London Science Museum

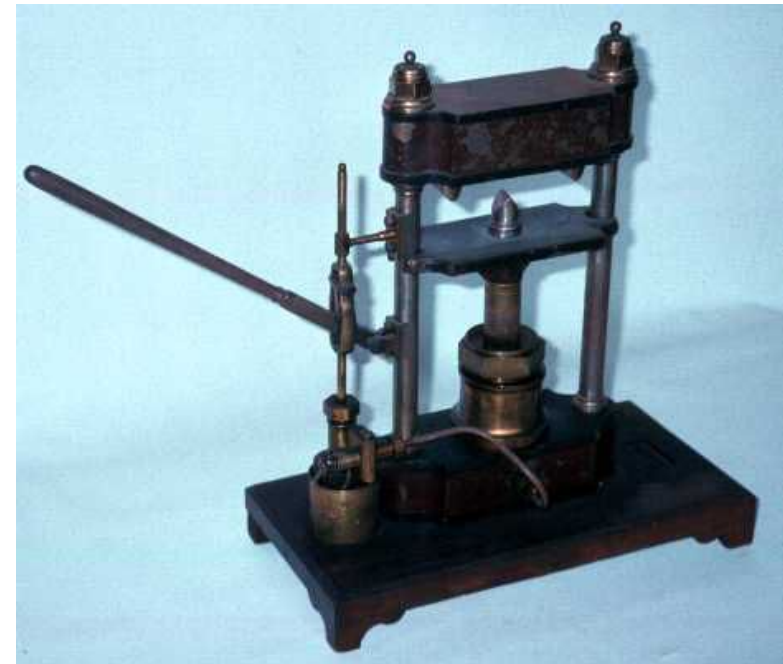
preferenza iniziale alla ruota a pale - resistenze ufficiali, anche da parte dell'ammiraglio britannico

1795 - Inghilterra

Pressa idraulica ad alta pressione

Joseph Bramah (1749-1814)

- guarnizione a tenuta della pressione realizzate in cuoio
- capace di esercitare forze di varie migliaia di tonnellate e di formare così pezzi metallici
- grande contributo alla rivoluzione industriale inglese
- Collaborazione determinante del giovane addetto **Henry Maudslay** (1771-1831)



- Modellino museale

1785 - Francia

Chimica

Produzione industriale di sbiancanti liquidi a base di cloro (candeggine), scoperta del valore industriale del cloro,

Claude-Luis Berthollet (1748–1822)

ispettore delle tintorie e direttore della manifattura Gobelins

- utilizzo nella sbiancatura dei tessuti

1787: introduzione in Inghilterra da parte di James Watt

I metodi precedenti erano lentissimi e costosi: prevedevano il lavaggio in soluzioni varie (di potassa, acidi, latte inacidito, urina), ripetute risciacquature ed esposizione alla luce solare per molti mesi, su vasti appezzamenti (quindi con notevoli costi di immobilizzo di capitale e di impegno di terreno)

1789 - Francia

Nascita della chimica moderna

Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794)

Traité élémentaire de Chimie

- apice di una serie di lavori scientifici scritti tra il 1770 e 1794
- approccio rigorosamente razionale basato sul metodo scientifico, che scardina le vecchie credenze e i metodi di derivazione alchimistica
 - legge della conservazione della massa
 - definizione dei concetti di elemento, contrapposto a composto (cataloga tra essi: ossigeno, idrogeno, azoto, fosforo, mercurio, zinco, zolfo)
- Prosecuratori:
 - 1805: John Dalton (1766-1844): teoria atomica
 - 1811: Amedeo Avogadro (1776-1856): concetto di molecola

