

IL FERRO NELLA COSTRUZIONE NAVALE

Ad eccezione di bulloni e chiodi ed altri piccoli elementi, la prima comparsa di componenti in ferro nella costruzione navale, in sostituzione dei corrispondenti in legno, potrebbe farsi risalire al 1670 quando il costruttore e progettista navale Sir **Anthony Deane** (1638–1721), mentre era intento alla costruzione della grande nave da guerra inglese da 100 cannoni HMS *Royal James* a Portsmouth, suggerì l'introduzione di squadre in ferro in sostituzione dei classici braccioli di sostegno ed unione dei bagli con le ordinate. Non sappiamo se quella nave fu dotata effettivamente di tali parti in ferro poiché affondò al largo delle coste sud orientali dell'Inghilterra, distrutta dal fuoco durante uno scontro navale con gli Olandesi nel 1672.

Sir Deane fu tra i primi ad introdurre i metodi matematici nella progettazione navale come si può notare nel suo testo "Doctrine of Naval Architecture", pubblicato nel 1670, che rappresenta un ottimo riferimento del modo di progettare dell'epoca. Si fa notare che in tale testo, ricco di formule e disegni geometrici, non viene trattato il problema della stabilità della nave, un fenomeno non ancora chiaro a quell'epoca.



Willem van de Velde: la battaglia di Solebay - la "Royal James" al centro in fiamme

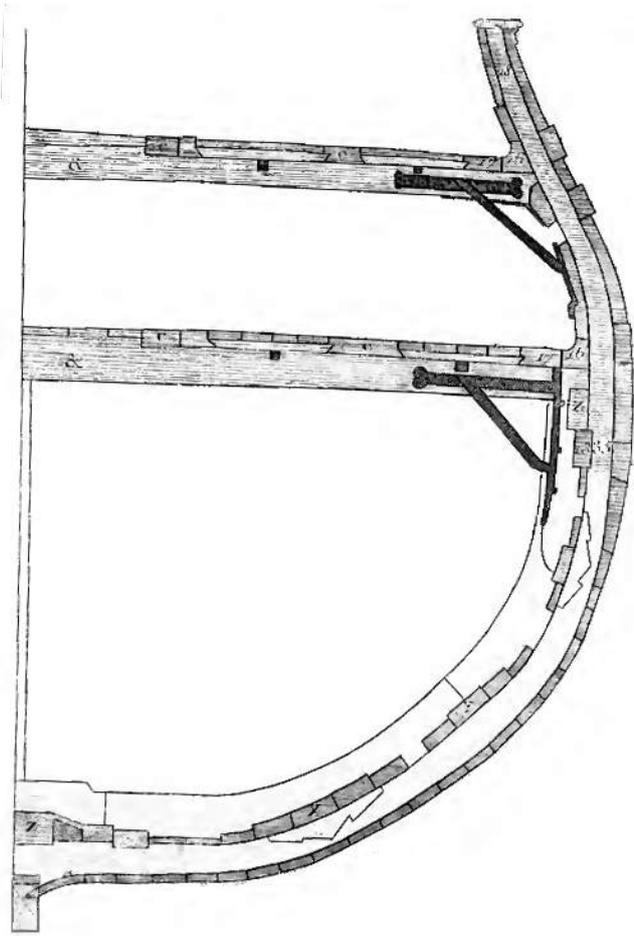
Sappiamo però di tale proposta da una lettera inviata dall'allora responsabile degli arsenali inglesi, Samuel Pepys in cui veniva precisata la non conformità (si direbbe oggi) di una tale soluzione alle norme allora in vigore, note come *Establishment*, la cui rigidità avrebbe contribuito per anni a rallentare lo sviluppo dell'ingegneria navale inglese. Se un giorno l'archeologia subacquea ritroverà il *Royal James* forse potremmo comprendere se le soluzioni proposte furono effettivamente realizzate.

Intanto i francesi nel 1707 iniziarono ad usare i braccioli in ferro (*courbes de fer*) sulle loro navi, mentre per gli inglesi occorre attendere l'entrata in vigore delle nuove regole della Royal Navy del 1719 (sostitutive delle 1706 *Establishment*) per la costruzione di navi, per trovarvi indicate le caratteristiche dimensionali di componenti in ferro, alquanto massicci a dimostrazione della scarsa qualità del ferro di allora e della mancanza di validi metodi di calcolo per la valutazione della loro resistenza.

Il fatto che le norme riportassero tali elementi in ferro non significa che fossero impiegati estensivamente sulle navi. Vi erano molti motivi che ne limitavano l'uso: la scarsa qualità del ferro, reso fragile principalmente per le impurità introdotte durante il processo di fusione; gli elevati costi di produzione; la riluttanza dei costruttori navali, tradizionalmente conservatori, ad adottare materiali alternativi, indipendentemente dai vantaggi e, non ultimo, l'interesse personale di molti funzionari di governo, marina e commercio mercantile che avevano partecipazioni private nel commercio del legno.

L'assenza di norme scritte dava origine a forme diverse dei braccioli a seconda del cantiere che li impiegava. Come già detto, sono stati per primi i francesi a realizzare una ferramenta dal design (tanto per adoperare un termine moderno) idoneo a sostituire i tradizionali componenti, come si nota da una delle tavole del testo "Elemens de l'Architecture navale" di **Henri Louis Duhamel du Monceau** (1700-1782), fisico e ingegnere navale francese, nonché botanico, pubblicato nel 1752, che si arricchirà nella seconda edizione del 1758 di un nuovo capitolo sulla stabilità.

D'altra parte in Francia nel 16° e 17° secolo era attiva un'antica e consolidata tradizione di fabbri (i *serrurier*) la cui corporazione, tenuta in debito conto dai sovrani per le buone entrate fiscali, acquisì nel tempo sempre più importanza fino al 1650 quando Luigi XIV (il "Re sole") proclamò ufficialmente la



Particolare di una tavola tratta da: "Elemens de l'Architecture navale" di Duhamel du Monceau

serrurerie la quarta arte dopo la pittura, la scultura e la musica.

A differenza della Francia, in Inghilterra, pur essendo la padrona dei mari nel XVIII secolo, tanto da possedere circa un terzo dell'intera flotta europea, i progressi nella costruzione navale furono scarsi. Il potere decisionale era infatti nelle mani dei costruttori, dei maestri d'ascia piuttosto che in quelle degli architetti navali. Mentre i primi, ignoranti in materia di matematica e fisica, prediligevano il loro pur notevole intuito, il loro occhio capace di cogliere le proporzioni, i secondi rendevano i loro studi disponibili a chiunque fosse in grado di tradurre in pratica quanto si andava via via approfondendo nella tecnica navale.

Ciò si comprende se si tiene in considerazione che nei cantieri navali inglesi, fino alla metà del Settecento, il testo di riferimento era quello di William Sutherland, pubblicato nel 1711, ricco di tavole, di grafici geometrici ma completamente privo di calcoli di previsione e valutazione.

La progettazione navale inglese fece significativi progressi dopo la cattura nel 1747 della nave di "linea" francese da 74 cannoni HMS *Invincible*, nel corso della prima battaglia di Capo Finisterre in Spagna.

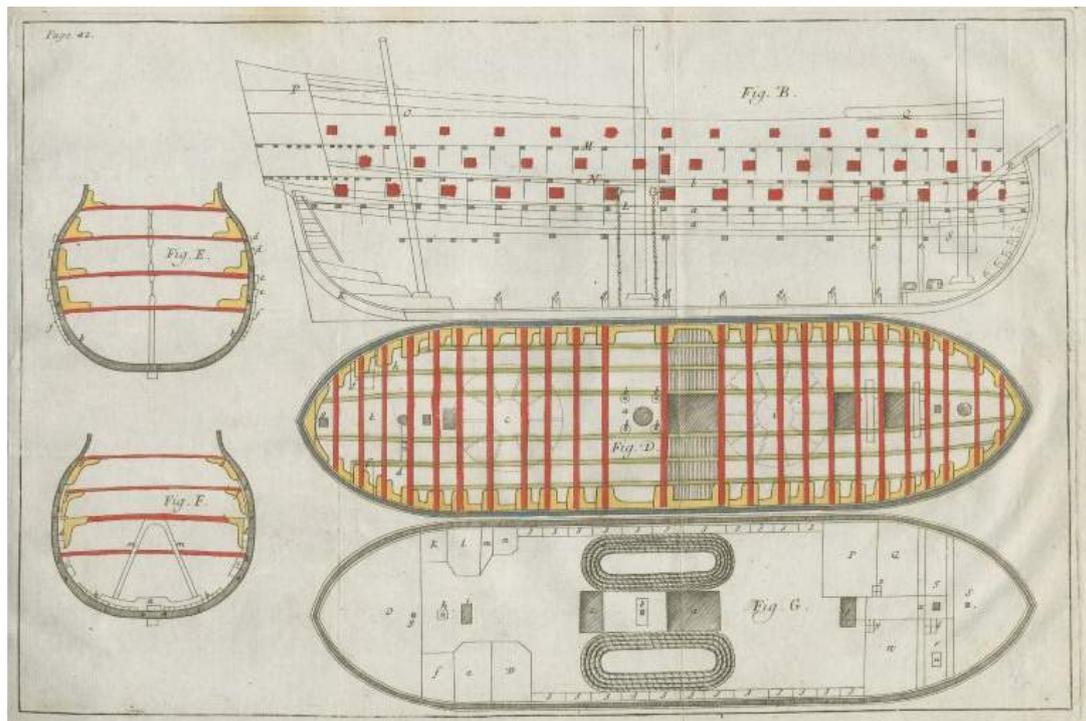
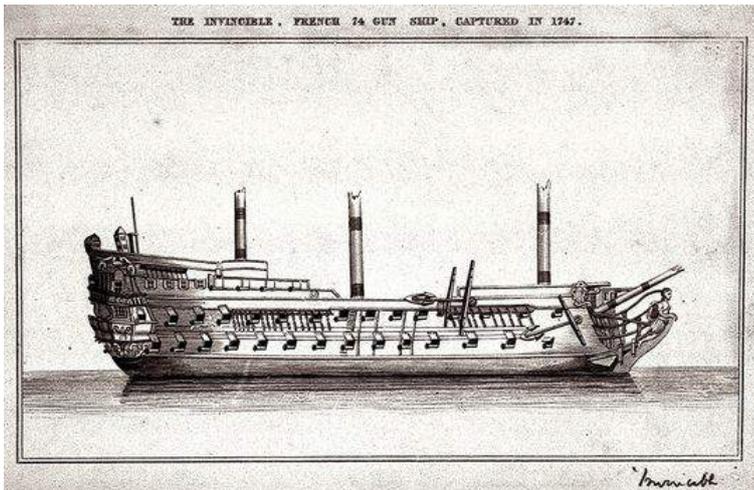


Tavola tratta da: "The ship-builders assistant: or, some essays towards completing the art of marine architecture" di William Sutherland.



"L'Invincible" dopo la cattura da parte degli inglesi.

La HMS "Invincible" era dotata di numerosi braccioli in ferro del tipo di quelli illustrati da Duhamel.

Dire 74 cannoni non vuol riferirsi esclusivamente al numero ma alla particolare distribuzione e tipologia dei pezzi sui vari ponti per quantità e dimensione - i cannoni più piccoli erano caricati più rapidamente.

Dalla metà del 17° secolo le marine militari a vela adottarono come tattica di combattimento la disposizione in fila indiana, a ranghi serrati, di unità con analoghe prestazioni in termini di velocità, manovra ed armamento dette pertanto navi di linea (ship of line), più efficiente rispetto alle modalità precedenti caratterizzate da singoli scontri con abordaggi nave contro nave. In tal modo le navi espongono un solo fianco alle bordate delle navi nemiche che sfilavano, in senso contrario o di conserva, a dritta o a sinistra, con l'ulteriore vantaggio di fare fuoco senza il rischio di colpire involontariamente le navi del proprio schieramento.

Intanto la Royal Navy, verso la fine degli anni 50 del Settecento, volle sperimentare l'applicazione di lastre di rame sull'opera morta delle loro navi al fine di aumentare la vita media degli scafi in legno soggetti all'azione di molluschi e crostacei, dalle teredini, capaci di distruggerne il fasciame, alle incrostazioni che ne riducevano la velocità. Il rame, infatti, agisce da disinfettante per il controllo degli animali nocivi (tecnicamente si dice che il rame agisce da biocida).

Così, nel 1761, l'opera viva della fregata da 32 cannoni HMS *Alarm*, varata nel 1758, lunga 38 m e larga circa 11, fu rivestita di lamiera di rame fissate da chiodi di ferro. Per meglio comprendere l'efficacia di tale soluzione la nave fu destinata al servizio nell'Oceano Indiano, dove l'azione dei molluschi è favorita da una più alta temperatura delle acque. Dopo due anni l'unità fu tirata a secco per osservarne i risultati.

Il rame si era comportato egregiamente nel proteggere lo scafo



La HMS "Alarm", dalla collezione del National Maritime Museum, Greenwich (UK).

dall'azione dei molluschi, ma un certo numero di lastre si erano staccate per il consumo delle teste dei chiodi in ferro. Un più attento esame dello scafo mise in evidenza che erano meno consumate le teste di quei chiodi di ferro che non erano a contatto diretto con il rame per la presenza di piccoli residui della carta che avvolgeva le lamiere quando furono consegnate al cantiere.

L'Ammiragliato inglese in una nota del 1763 fece presente che occorreva evitare il contatto dei due metalli. Negli anni a venire sempre più scafi della Royal Navy furono rivestiti di lamiera di rame tanto che intorno al 1780 tutte le unità avevano l'opera viva rivestita con lamiera di rame fissate non più con chiodi in ferro ma in rame dopo che erano falliti tutti i tentativi di evitare l'ossidazione dei chiodi di ferro.

Il problema della corrosione bimetallica o di metalli dissimili, oggi più nota come corrosione galvanica, trovò circa 50 anni dopo una spiegazione scientifica con la nascita di una nuova branca della chimica, l'elettrochimica che studia i fenomeni relativi alle trasformazioni di energia chimica in energia elettrica e viceversa. Nata con Luigi Galvani (1737 – 1798) diede origine alla pila di Alessandro Volta nel 1799 e un anno dopo all'elettrolisi.

Così il meccanismo della corrosione galvanica si innesca quando due materiali, avente un diverso grado di conduzione elettrica (detto tecnicamente valore di nobiltà), vengono posti a diretto contatto ed entrambi sono immersi in un elettrolita (una soluzione contenente ioni come l'acqua di mare).

A questo punto, per una più completa visione sulle vicende dell'origine sull'uso del ferro nelle costruzioni navali, è utile dare un'occhiata alla storia delle tecnologie in generale e della siderurgia in particolare, prima e durante quel periodo di innovazioni tecnologiche iniziato nella seconda metà del Settecento e che circa un secolo dopo avrebbe assunto il nome di Rivoluzione Industriale.

Se il Cinquecento rappresentò l'apice della tradizione artistico-ingegneristica italiana, il secolo successivo, pur essendo anch'esso importantissimo per i progressi che ci furono nelle scienze fisiche e naturali in genere, vide il progressivo spostamento verso il Nord Europa del centro di sviluppo dell'ingegneria e della tecnologia in generale.

Il Seicento è stato anche il secolo di calamità senza precedenti: guerre, siccità, carestie, invasioni sono stati i fattori di una crisi globale, estesa in tutto il mondo specie in Europa.

Questi flagelli colpirono ripetutamente vaste regioni, contribuendo ad una perdita stimata di un terzo della popolazione mondiale.

Secondo alcuni storici la crisi del Seicento sarebbe stata determinata da quelle particolari condizioni climatiche di brusco abbassamento della temperatura media terrestre nell'emisfero settentrionale, registrate in un periodo noto come "Piccola età glaciale", che ebbe inizio nella seconda metà del Cinquecento (il dibattito sull'entità di tale raffreddamento, così come del precedente riscaldamento medioevale, rimane tuttavia ancora aperto) e che terminerà intorno alla metà dell'Ottocento quando le temperature tornarono ad aumentare.

Tale ipotesi si trova, ben supportata da un'ampia serie di documenti dell'epoca, nel libro dell'inglese Geoffrey Parker, un noto storico, specializzato in storia militare, con all'attivo numerosi studi dal 1500 al 1800, pubblicato nel 2013, *Global Crisis: War, Climate Change and Catastrophe in the Seventeenth Century* (Crisi globale: la guerra, il cambiamento climatico, e le Catastrofi nel 17° secolo). Secondo quanto riporta Parker i conflitti erano sostanzialmente dovuti alla diminuzione delle risorse naturali per il cambiamento climatico, in contrasto con altri studiosi che attribuirebbero le carestie non alla scarsità di cibo in sé e per sé, ma per difetti nella distribuzione del cibo stesso.

A partire dalla metà del '600, le guerre, il clima freddo, una crescente richiesta di trasporti, determinarono una rapida domanda di legno sia per la costruzione di navi, abitazioni, ponti sia una richiesta di legno come combustibile per riscaldamento e per la produzione di ferro per macchine ed armi.

Ben presto l'eccessivo sfruttamento dei boschi portò in molti paesi europei alla progressiva ridotta disponibilità di legno.

Fino ad allora, infatti, il legno era la fonte di energia più utilizzata, nonché un buon materiale da costruzione. Basti pensare che per costruire una nave da guerra, nel 17° e 18° secolo, ci volevano mediamente 4000 tronchi d'albero, mentre per produrre una tonnellata di ferro erano necessarie 25 – 50 tonnellate di carbone di legna.

Tutto ciò fece nascere l'esigenza di trovare una fonte di energia alternativa al legno.

All'epoca per produrre l'acciaio, una lega di ferro e carbonio, quest'ultimo componente capace di dare resistenza al ferro, si impiegavano due metodi, quello diretto di antichissima tradizione e quello indiretto, risalente al basso Medioevo, in cui l'acciaio si otteneva a partire dalla ghisa (una lega sempre di ferro come l'acciaio, ma con un contenuto più alto di carbonio), dura e difficile da lavorare.

Nel primo metodo l'acciaio si otteneva per mezzo di appositi forni in cui i minerali di ferro, misti a carbone di legna, venivano resi pastosi dalle relativamente basse temperature. La massa di ferro così ottenuta era ricca di impurità e pezzetti di carbone (le scorie) che venivano liberate, almeno in parte, con successivi riscaldamenti e fucinature, trasformando l'acciaio in barre e verghe che venivano ulteriormente lavorate dagli artigiani realizzando i manufatti destinati al consumo.

Nel secondo caso la massa ferrosa veniva resa fluida da una combustione più attiva ottenuta grazie alle caratteristiche di forni chiusi a forma di torre e dall'azione di grossi mantici mossi da ruote idrauliche. Il prodotto primario che si otteneva era la ghisa che veniva successivamente privata del carbonio in eccesso per essere trasformata in acciaio di qualità superiore rispetto a quello ottenuto con il metodo diretto.

Anche nel metodo indiretto si impiegava il carbone di legna, un carbone artificiale, ricavato per combustione della legna in assenza di ossigeno.

La carenza di legname fece aumentare inevitabilmente il prezzo del legno. Ne soffrirono molte industrie, in particolare quelle del ferro e del vetro.

Intorno alla metà del Seicento in Inghilterra l'alternativa alla legna fu individuata nel carbon fossile, conosciuto già dal tempo dei Romani, di cui il sottosuolo inglese era ricco, ma mai utilizzato prima di allora nei forni fusori. Ben presto anche altri paesi europei incominciarono a sfruttare i propri giacimenti.

In ogni caso il nuovo combustibile non ebbe un immediato impiego nell'industria a causa del danno arrecato agli impianti da un più alto contenuto di zolfo nei gas di combustione. L'industria siderurgica non potendo beneficiare del nuovo prodotto subì le conseguenze delle leggi restrittive del governo inglese a salvaguardia del patrimonio forestale nonché degli elevati costi di trasporto e della materia prima che veniva in buona parte importata dalla Svezia e dalle colonie americane per la loro migliore qualità.

Un passo avanti nella ripresa dell'attività siderurgica si ebbe nel 1709 quando **Abraham Darby** (1678-1717), capostipite di una famiglia di fonditori inglese, scoprì che il carbon fossile scaldato ad alta temperatura, in assenza di aria e quindi di ossigeno, forma un prodotto duro e resistente, il coke e una miscela di gas altrettanto combustibili.

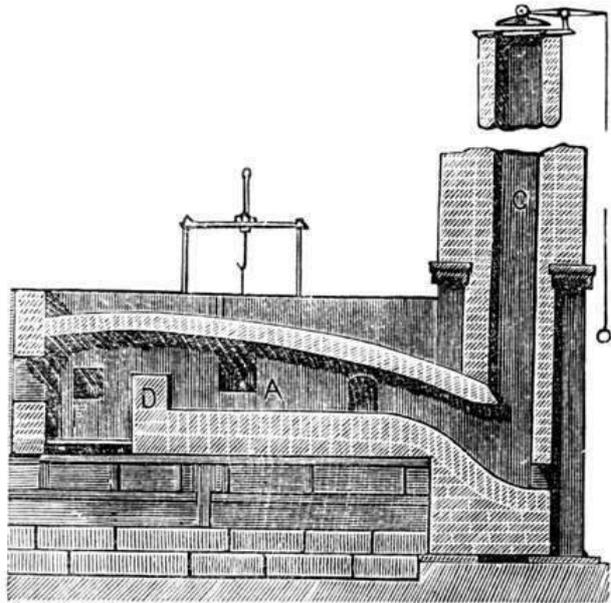


Con il termine ferro si indica sia l'elemento chimico, il ferro puro, sia l'acciaio a bassissimo contenuto di carbonio detto, più propriamente, acciaio extradolce. Prima dell'avvento del processo Bessemer, nella seconda metà dell'800, il prodotto ottenuto dovrebbe chiamarsi ferro in quanto, pur essendo chimicamente un acciaio a basso contenuto di carbonio, aveva un discreto contenuto di scorie che ne penalizzavano le proprietà meccaniche.

Forno per la produzione indiretta di acciaio - da Popular Encyclopedia - London 1875.

Schema di forno Cort per la produzione di acciaio con appropriato contenuto di carbonio.

Va ricordato che solo nel 1770 il grande scienziato francese Lavoisier (1743–1794), investigando i processi della combustione, introdusse il termine ossigeno.



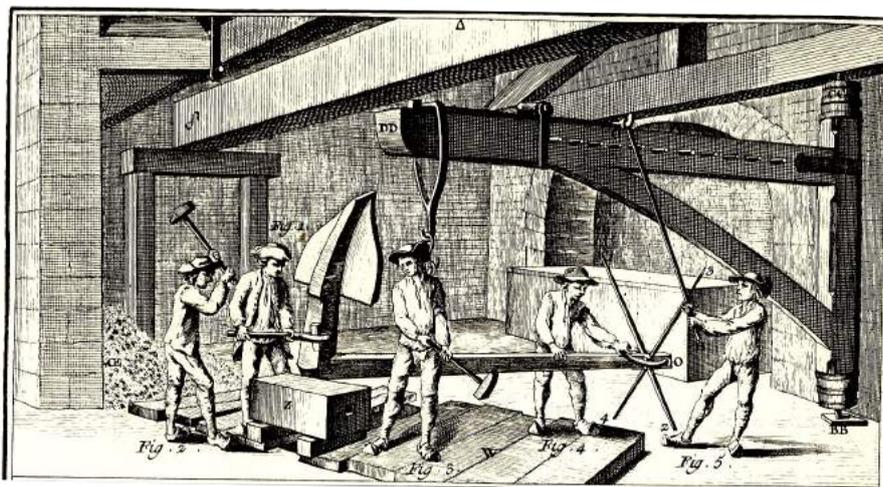
Pur essendo capace di produrre più calore del carbon fossile, questo nuovo combustibile non ebbe un immediato impiego nell'industria del ferro per nuovi ed inattesi motivi: il maggior costo, un eccesso di silicio nella ghisa e altre difficoltà tecniche. L'uso del coke divenne interessante solo intorno al 1750 quando calò il prezzo e migliorò la qualità in seguito al perfezionamento della sua produzione.

Per le sue caratteristiche di resistenza e durezza si riuscirono a costruire forni più alti in grado di fondere più minerale di ferro. Si giunse quindi alla tecnologia, ancora oggi utilizzata, degli altiforni, termine coniato proprio per la particolare altezza di questi nuovi forni fusori.

A questo punto la produzione dell'acciaio si ottenne solo con il metodo indiretto.

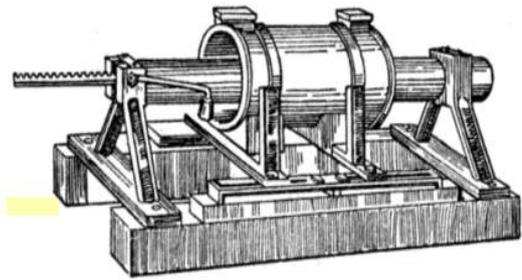
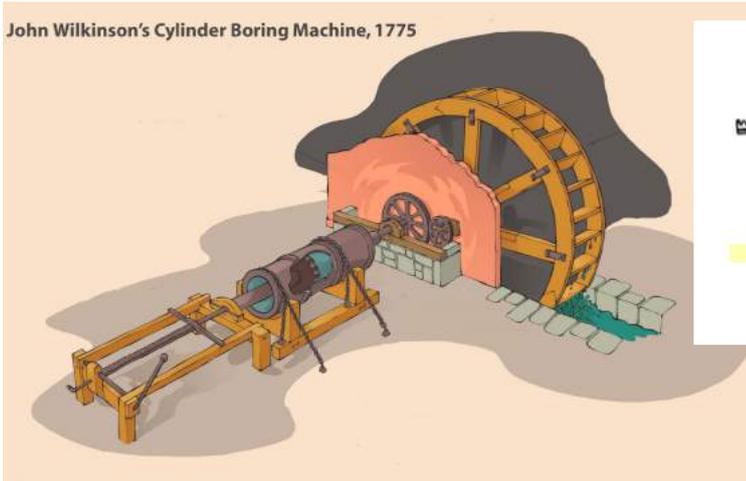
Un ulteriore importante progresso si ebbe quando l'inglese **Henry Cort** (1741–1800) nel 1784, migliorando un sistema brevettato circa 20 anni prima, realizza il primo forno in grado di trasformare la ghisa prodotta nell'altoforno in un acciaio di migliore qualità, in cui si evitava il contatto diretto del ferro con il coke, ma solo con i prodotti della combustione molto ricchi di ossigeno.

Un ulteriore grande progresso nell'uso del ferro si ebbe con l'introduzione delle macchine per la lavorazione dei metalli. Dalla seconda metà del Settecento vengono progettate e costruite macchine utensili idonee alla lavorazione del ferro necessarie a produrre un'infinità di parti e sottoparti di congegni e macchine, quali spinotti, viti, ingranaggi, cilindri, con cui realizzare macchine e strumenti sempre più complessi (basta ricordare che intorno al 1750 fu costruito dall'orologiaio inglese John Harrison il primo cronometro marino di precisione con cui ricavare la longitudine in mare). Ancora l'Inghilterra risulta nettamente davanti agli altri.



Interno di una officina per la fabbricazione di ancore nella Francia del XVIII sec.

John Wilkinson's Cylinder Boring Machine, 1775



Alesatrice di Wilkinson per la lavorazione dei cilindri della macchina a vapore di Watt - 1875.

Un certo **John Wilkinson** (1728 - 1808), imprenditore siderurgico inglese, nel 1787 realizza una chiatta in ferro per i canali inglesi che battezza Trial (tentativo, esperimento). In verità non si tratta di una vera e propria imbarcazione e tra l'altro non interamente in ferro, ma pur sempre rappresenta il primo embrione di costruzione di uno scafo in ferro.

Ma chi era costui? Figlio di un industriale del ferro fece le sue prime esperienze metallurgiche presso la fonderia del padre, ideando a soli 20 anni un altoforno in grado di produrre ferro e ghisa a più basso costo, usando carbone coke al posto del semplice carbone che il padre aveva già impiegato con scarsi risultati economici. Divenuto a 27 anni socio di un altoforno, situato nell'Inghilterra centro occidentale ricca di miniere di ferro e carbone, dedicò tutta la vita allo studio dei processi di produzione e lavorazione dei metalli. Si deve a lui aver dato l'avvio alla costruzione del primo ponte in ferro della storia del mondo occidentale nel 1775 di collegamento dell'allora zona industriale, dove sorgeva il suo insediamento e l'altra sponda del fiume Severn che attraversa il paese.

Fu anche un valente progettista meccanico tanto da costruire un attrezzo con cui alesare i cilindri della macchina a vapore di Watt migliorandone l'efficienza.

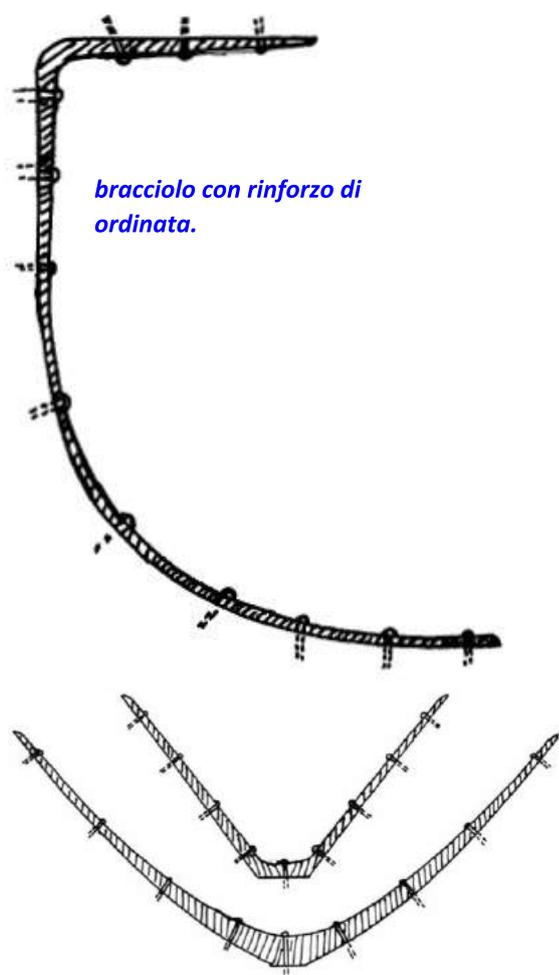
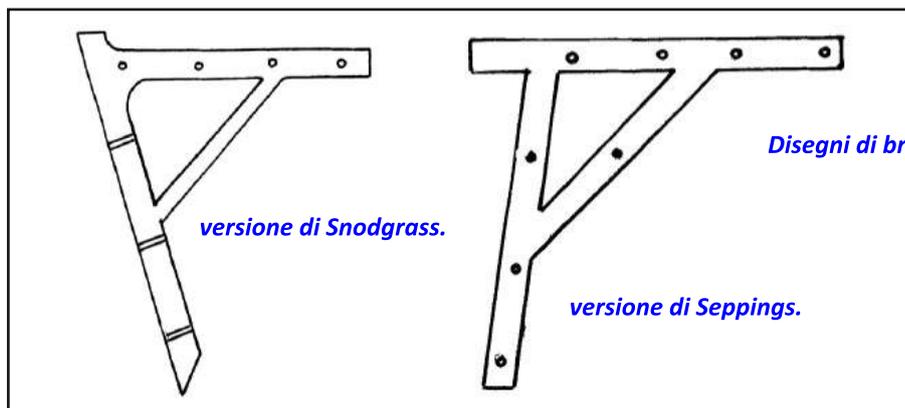
Quando poi venne costruito il canale di Birmingham, che rappresentava la via di trasporto dei prodotti delle miniere e dei lavorati, pensò di realizzare anche la chiatta in ferro Trial.

Da quel momento (intorno al 1790) fu talmente ossessionato dal ferro, per cui era soprannominato iron-mad (un pazzo di ferro), che volle realizzare in tale materiale qualunque cosa, dal telaio delle finestre, un obelisco, un pulpito ed altri accessori di una chiesa metodista e perfino delle scarpe in ferro che ovviamente non ebbero successo. Quando morì venne sepolto, per sua volontà, in una bara di ferro.

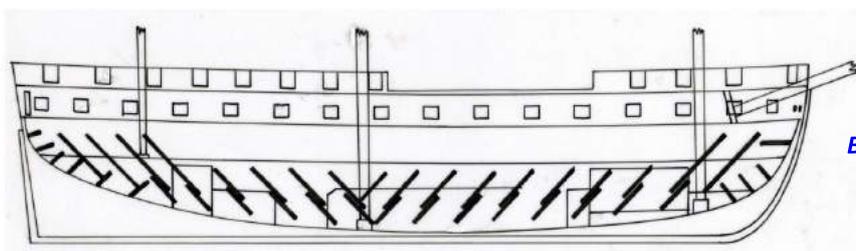
Con il progresso della siderurgia nel 1780 l'Inghilterra inserisce nelle sue navi braccioli, rinforzi e mensole in ferro scavalcando la Francia nell'innovazione delle sue navi. Ciò accadde per almeno tre motivi: la Francia era finanziariamente in crisi avendo sostenuto la causa americana (1775 - 1783); la Rivoluzione aveva rallentato lo sviluppo industriale e, infine, il processo di affinatura di Cort non fu introdotto in Francia prima del 1818.

Gabriel Snodgrass, ispettore della Compagnia delle Indie Orientali dal 1757 al 1794, risulta essere stato il primo inglese a proporre l'uso di braccioli in ferro sulle navi mercantili, probabilmente come sostituzione dei corrispondenti elementi in legno di difficile reperibilità. Il loro uso si estese ben presto ad altri costruttori navali visto che il Lloyd's Register li incluse nelle sue regole del 1814. In seguito anche la Royal Navy, più restia alle innovazioni, incominciò ad impiegarli sulle sue unità da guerra.

Fu Sir **Robert Seppings** (1767 - 1840), architetto navale, che nel periodo 1813-1832 fu responsabile della



rinforzi di estremità (simili a quelli applicati oggi sulle barche d'epoca).



Disegno del HMS "Unicorn" in cui si notano i rinforzi diagonali.

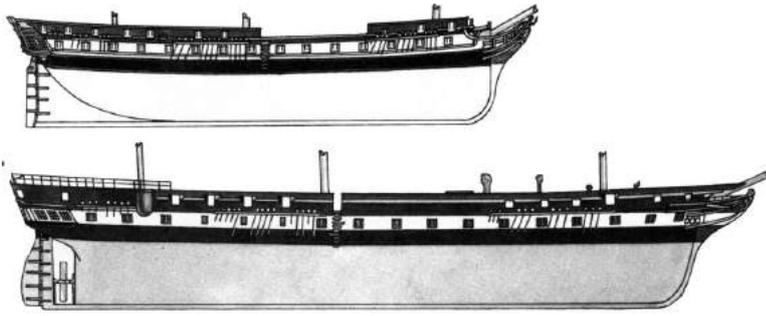
progettazione della marina militare inglese, a proporre l'uso pur trovando opposizione da parte delle autorità dell'epoca.

Egli introdusse diversi elementi di rinforzo in ferro, dai braccioli alle ghirlande, sia di navi già costruite sia di nuove unità. Inoltre si deve a lui l'impiego, intorno al 1830, di rinforzi diagonali dello scafo che permettevano un miglior ancoraggio del sartiame, una maggiore robustezza delle murate alle sollecitazioni determinate durante il cannoneggiamento e a una maggiore resistenza dello scafo in condizioni di mare particolarmente duro.

Un esempio di intervento di Seppings si trova sulla fregata da 46 cannoni HMS *Unicorn*, varata nel 1824 dal cantiere di Chatham nel sud est dell'Inghilterra, attualmente conservata a Dundee in Scozia. In verità già delle barre trasversali furono adottate per rinforzare nel 1805 una precedente nave di linea la HMS *Kent* da 74 cannoni, varata nel 1798 ma la soluzione di Seppings fu decisamente migliore in termini di distribuzione e qualità del metallo.



Braccioli in ferro dell'HMS "Unicorn".



Disegno dello scafo di una fregata convenzionale (in alto) comparato con uno scafo più lungo reso possibile dal sistema costruttivo di Seppings.

inserendo tutta una serie di rinforzi necessari a migliorare la resistenza di scafi sempre più grossi: dal 1815 al 1843 raddoppiarono le dimensioni medie delle navi in legno di oltre 1000 ton, principalmente quelle a vapore con propulsione a pale. L'ultima nave da guerra inglese interamente in legno, con rinforzi in ferro, la HMS *Victoria*, varata nel 1859 dopo tre anni dall'inizio della costruzione, era una nave di linea da 121 cannoni, lunga 79 m e larga 18 m, mista vela-vapore con propulsione ad elica e due fumaioli.

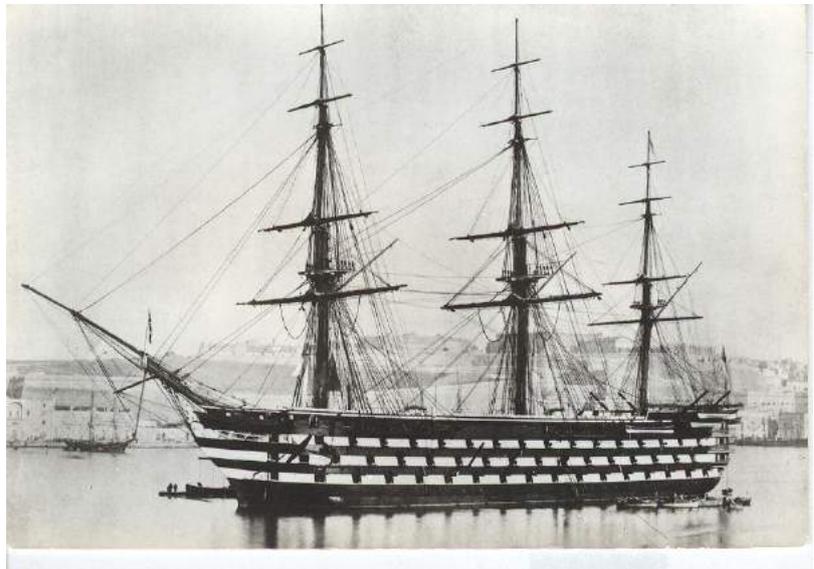
Nel Nord America, nel 19° secolo, la disponibilità di legno, anche con quelle particolari forme e dimensioni tipiche dei braccioli, consentì ai cantieri navali di costruire navi con pochi elementi di rinforzo in ferro come la *Charles Cooper*, un veliero per il trasporto passeggeri costruito nel 1856 e andato a fondo nel 1866.

Così, per i primi 50 anni del 19° secolo, i progressi nella costruzione di scafi in ferro furono portati avanti esclusivamente dai privati.

Ancora una volta è la Scozia con i suoi canali interni ad essere testimone di un nuovo battello in ferro.

Nel 1818, vicino Glasgow fu costruito il *Vulcan* di 61 piedi per la navigazione sui canali Forth and Clyde. Le lamiere con cui fu realizzato erano state ricavate da piastre di ferro lavorate per forgiatura e martellatura e unite con rivetti. Iniziò il suo servizio, trainato da cavalli, di trasporto passeggeri nei canali tra Edinburgo

e Glasgow. In seguito fu convertito per il trasporto merci e quindi venduto come rottame nel 1873. Più di 100 anni dopo, nel 1988, a Glasgow è stata eseguita una replica oggi esposta nel museo dell'Industria della città.



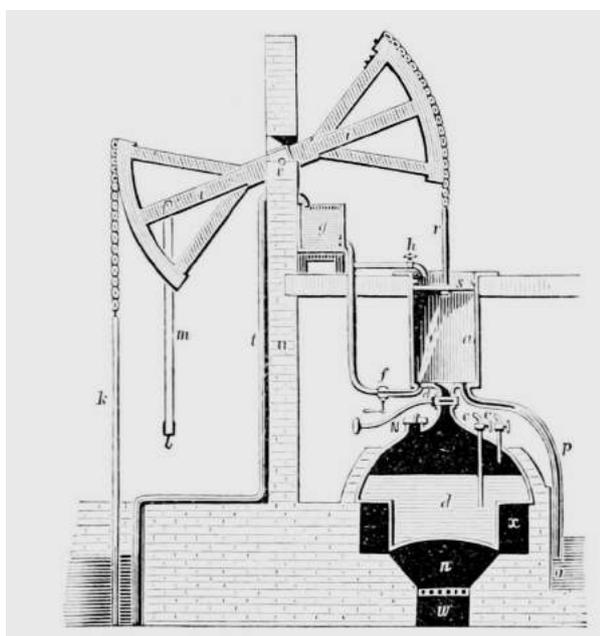
HMS "Victoria" a Malta nel 1869.



La storia delle tecnologie del ferro e dei loro attori si intreccia con quella del motore a vapore. Nel 1712 Thomas Newcomen (1664-1729), un venditore inglese di ferro nonché inventore, partendo dagli esperimenti del fisico e matematico francese Denis Papin, realizza la prima macchina a vapore con produzione di energia meccanica tramite pistone.

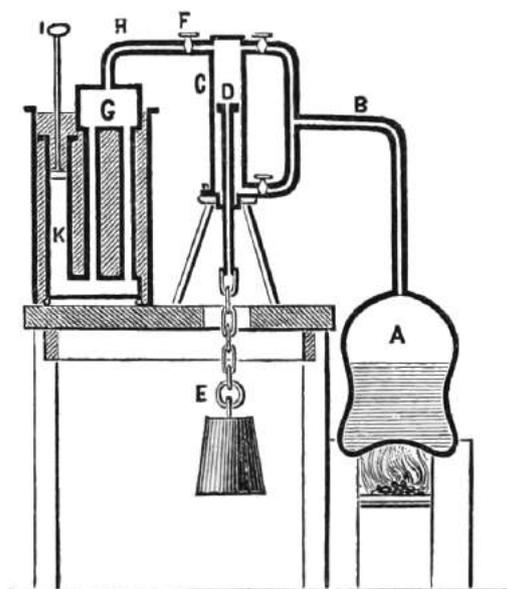
Pur essendo una macchina di scarsissima efficienza, fu impiegata per estrarre l'acqua dalle miniere per potere così scavare a maggiore profondità, in sostituzione dei tradizionali e costosi sistemi di pompaggio a mano o tramite secchi portati su dalla forza dei cavalli, ma anche per il sollevamento del minerale estratto.

Occorrerà attendere circa 60 anni per assistere alla nascita del motore a vapore di James Watt (1736 - 1819), uno scozzese costruttore di strumenti matematici che, volendo perfezionare il motore di Newcomen, tra il 1763 e il 1775, riuscì a costruire un nuovo e più efficiente motore a vapore (con un rendimento ben quattro volte superiore) per tutta una serie di elementi innovativi, dall'impiego di vapore a pressione superiore a quella atmosferica, un condensatore separato dal cilindro, necessario al raffreddamento del vapore, da un pistone scorrevole in un cilindro alesato (termine tecnico per indicare una lavorazione di precisione), utile a garantire una maggiore tenuta al vapore.



Macchina di Newcomen.

Schemi tratti da "Popular Science - 1877".



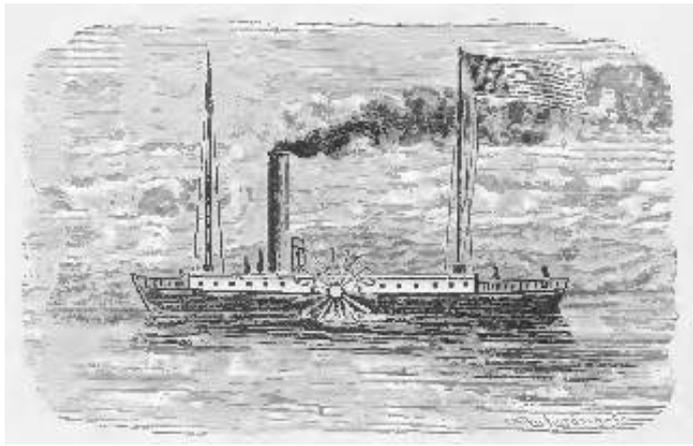
Macchina di Watt.

Popular Science (anche conosciuta come PopSci) è una rivista mensile americana, fondata nel 1872, che tratta articoli scientifici e tecnologici in maniera da essere compresi dal comune lettore. Attualmente è tradotta in 30 lingue e distribuita in 45 paesi. Tra le firme degli articoli anche prestigiosi scienziati: Charles Darwin, Louis Pasteur, Charles Sanders Peirce, Thomas Edison.

Inizialmente la nuova macchina fu impiegata dai proprietari delle miniere della Cornovaglia, in sostituzione delle vecchie Newcomen e ben presto entrò nelle industrie della carta, farina, cotone e ferro, nonché nelle distillerie, nei canali navigabili e negli acquedotti.

Contemporaneamente si stava sperimentando l'uso della propulsione a vapore per la navigazione nei canali. Molti tentativi fallirono fino a quando nel 1801, su iniziativa di Sir Thomas Dundas, responsabile della rete di canali Forth & Clyde, in territorio scozzese, fu costruita una imbarcazione su progetto di William Symington (1764 - 1831), ingegnere e inventore scozzese, dotata di una macchina a vapore con cilindro

verticale. L'imbarcazione, denominata *Charlotte Dundas*, in onore della figlia del Lord, percorse con successo un tratto del fiume Carron a circa sei nodi. Questo risultato, che rappresenta il primo effettivo esempio di imbarcazione a vapore, non ebbe seguito principalmente per la preoccupazione sui danni arrecati alle rive del canale dalle onde prodotte. Nel 1807, dall'altra sponda dell'Atlantico, la macchina a vapore di Watt trovò applicazione su una nave, il *Clermont*, costruita dall'americano Robert Fulton (1765 - 1815), che la fece navigare, completa di passeggeri, da New York City ad Albany, percorrendo una distanza di 300 miglia in 62 ore. La "Follia di Fulton", come era soprannominata, misurava 45 m di lunghezza, 4.3 m di larghezza e 19 m di altezza, dotata di un motore Boulton & Watt da 18 CV in grado di muovere due ruote a pale poste sui fianchi della nave, ciascuna del diametro di 4.8 m. La *Clermont* rappresenta la prima vera nave a motore navigante della storia, dopo che circa vent'anni di esperimenti, di cui il più importante fu quello dell'imbarcazione *Charlotte Dundas* e non meno di un secolo di ipotesi teoriche ne avevano anticipato la nascita.



Il "North River", più noto come "Clermont" di Robert Fulton.

Robert Fulton nei suoi 50 anni di vita diede prova di una spiccata inventiva tanto da progettare e realizzare, oltre al "Clermont", il "Nautilus", il primo sommergibile impiegabile della storia e il "Demologos", la prima nave da guerra a vapore a difesa di New York dalla Royal Navy durante la guerra anglo-americana del 1812.

Nel 1800 Watt si ritirò dall'attività dedicandosi completamente alla ricerca, brevettando altre numerose invenzioni tra cui il motore rotativo, il motore a doppio effetto e l'indicatore di vapore, con cui registrare la pressione del vapore all'interno del motore.

Gli è stata dedicata l'unità di misura della potenza elettrica e meccanica, il watt.

Il caso del motore a vapore di Watt è un esempio significativo dell'utilizzo di principi scientifici, ottenuto solo sulla base di risultati puramente empirici assai prima che Sadi Carnot studiasse il problema e potesse pubblicare nel 1824 le sue "Riflessioni sulla potenza motrice del fuoco".

Ricostruzione con materiali originali dell'officina di J. Watt al Museo della Scienza di Londra.

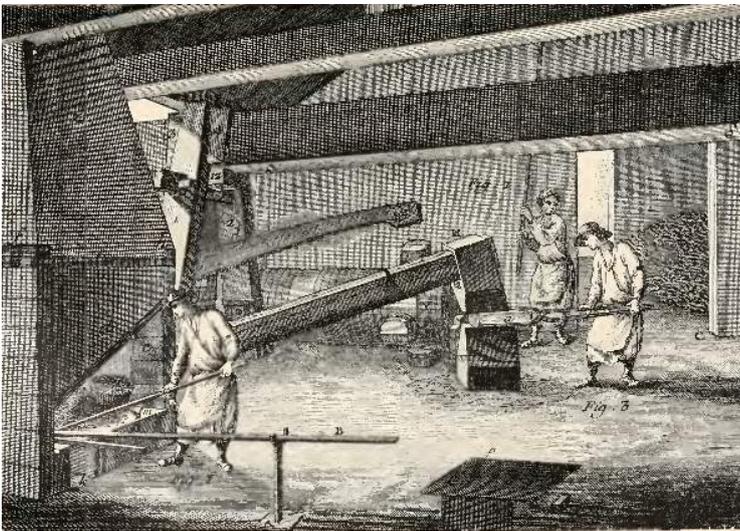


Una delle macchine di lavorazione che ha avuto grosso peso nella costruzione degli scafi in ferro è senz'altro il laminatoio.

Nel 1783 in Inghilterra il già citato Court introdusse, un anno prima del suo forno, in sostituzione del tradizionale sistema di martellatura, la laminazione a caldo dell'acciaio che impiegava due rulli cilindrici sovrapposti rotanti in senso contrario attraverso i quali passava la massa di ferro ancora incandescente, producendo per estrusione aste di varia forma e dimensione e le prime lamiere. Può sembrare strano, ma

niente fu fatto per incoraggiare la diffusione di queste nuove macchine di formatura tanto che si dovrà attendere il 1830 per trovarne larga applicazione, soprattutto per il rapido sviluppo delle reti ferroviarie che richiedevano binari di particolari forme e robustezza. Comunque le prime applicazioni furono le caldaie delle macchine a vapore di Watt che, a differenza di quelle di Newcomen in rame, dovevano essere preferibilmente in ferro per le maggiori pressioni del vapore.

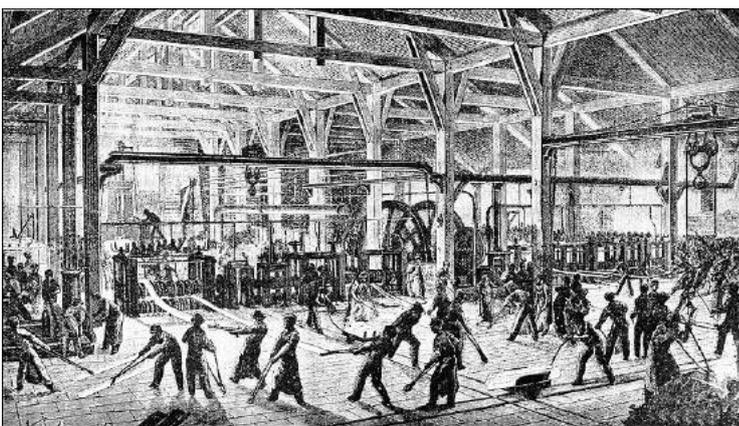
In effetti il laminatoio, di origine italiana (il più antico disegno di laminatoio che ci sia pervenuto è di Leonardo da Vinci), già esisteva per la laminazione e formatura di metalli non ferrosi, come il rame, il piombo, l'oro e l'argento. Il costante miglioramento produttivo, in termini di qualità e costi dell'acciaio determinò via via il tramonto delle piccole fornaci e delle piccole officine di forgiatura a vantaggio di alcuni grandi industriali come lo stesso John Wilkinson. La produzione del ferro cresceva di anno in anno: in Inghilterra raddoppiò dal 1796 al 1806, passando dalle circa 110.000 t alle 244.000 t. Il nuovo problema che dovevano affrontare i produttori era disporre di grandi energie per muovere le macchine. La forza motrice dell'acqua non bastava ad azionare i mantici insufflatori d'aria nelle fornaci e le nuove macchine di lavorazione. La soluzione fu trovata nella macchina a vapore.



Martellatura in un'officina di metà Settecento - Tavola da "Recueil de planches, sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques" - Diderot, Alembert - 1765.



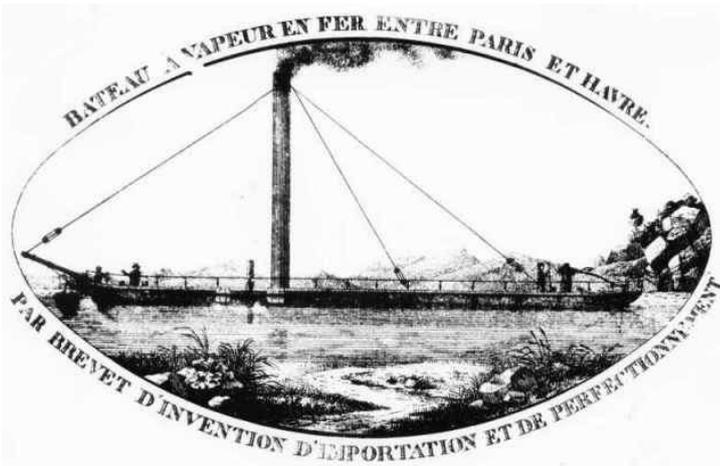
Il laminatoio in una illustrazione di Leonardo da Vinci.



Un'officina di laminazione del 1850.

Nel Regno di Napoli, fin dal 1808, fu attiva una importante attività siderurgica e già nel 1818 entrò in funzione un primo laminatoio per il ferro.

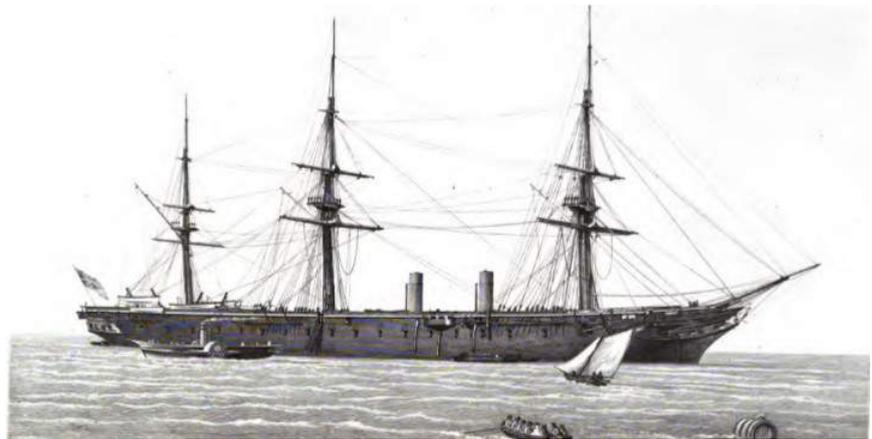
Lamiere e piastre sono prodotti in cui una dimensione, lo spessore, è molto inferiore alle altre due con la convenzione che la lamiera ha spessore non superiore a 5 mm.



"Aaron Manby" in una locandina dell'epoca.

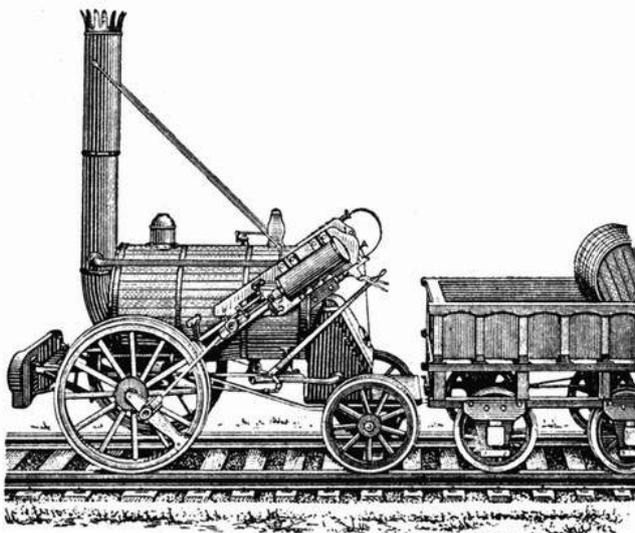
tipo oscillante brevettato dallo stesso costruttore, con un fumaiolo di 14 m, capace di azionare due ruote a pale laterali allo scafo lungo 32 m e largo circa 5 m (7 considerando i due propulsori). Nel viaggio inaugurale la nave raggiunse i 9 nodi mostrando di possedere buone qualità nautiche.

Nel maggio del 1822, al comando di Napier e come direttore di macchina il figlio di Manby, attraversò il Canale della Manica fino a Le Havre ad una media di 8 nodi con a bordo passeggeri e un carico di semi di lino e billette di ferro. Lungo la Senna arrivò a Parigi. Questo viaggio è ricordato come il primo viaggio per mare di una nave a vapore in ferro. Per qualche tempo fu impiegata per la navigazione passeggeri lungo la Senna per poi essere venduta alla "Compagnie des bateaux a vapeur en fer", che l'adibì a servizio passeggeri sulla Loira e nel 1855 fu demolita. Napier aveva concepito la nave come un primo passo verso una nave da guerra in ferro e in questo senso Aaron Manby potrebbe essere considerata un antenato



HMS "Warrior" - tav. tratta da un testo di W. Fairbairn

diretto della HMS *Warrior*, la prima corazzata in ferro con propulsione mista della Royal Navy, costruita nel 1860, l'anno della morte di Napier.



Nel 1825 George Stephenson (1781 - 1848) e suo figlio Robert (1803 - 1859) realizzano la prima locomotiva a vapore e pochi anni dopo nascono le prime ferrovie che preoccupano i proprietari dei canali del regno. Nel frattempo un certo sig.

Houston aveva fatto delle prove con una chiatte in ferro, molto più leggera di un'analogia in legno, che, trainata da due cavalli, poteva raggiungere i 9 - 10 nodi. I risultati stimolarono l'interesse dell'Amministrazione del canale Forth & Clyde tra Glasgow e Edimburgo tanto da commissionare

una ricerca all'architetto navale William Fairbairn (1789 - 1874), allo scopo di individuare le azioni più idonee per essere competitive con le ferrovie. Nel documento prodotto: "Remarks on Canal Steam Navigation" del 1831 tra le azioni proposte la più importante era quella di costruire battelli a vapore in ferro. Sulla spinta di tali raccomandazioni furono realizzati a Manchester 4 battelli a vapore di cui uno, utilizzato come esperimento, era a doppio scafo con una ruota a pale nel centro ed un secondo con una ruota interna all'opera morta in corrispondenza della poppa. Quest'ultimo battello, *Lord Dundas*, fu impiegato per il traffico commerciale per alcuni anni sul canale nell'area di Glasgow.

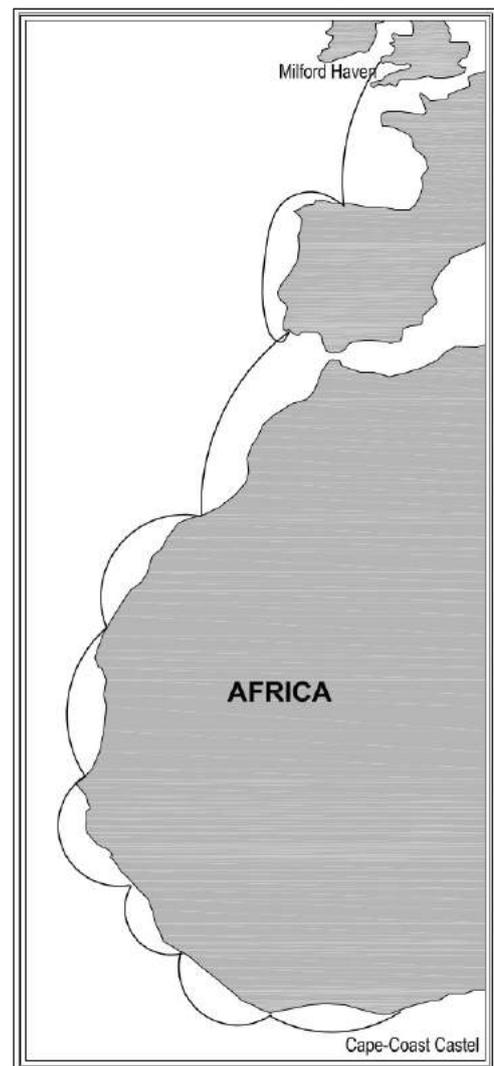


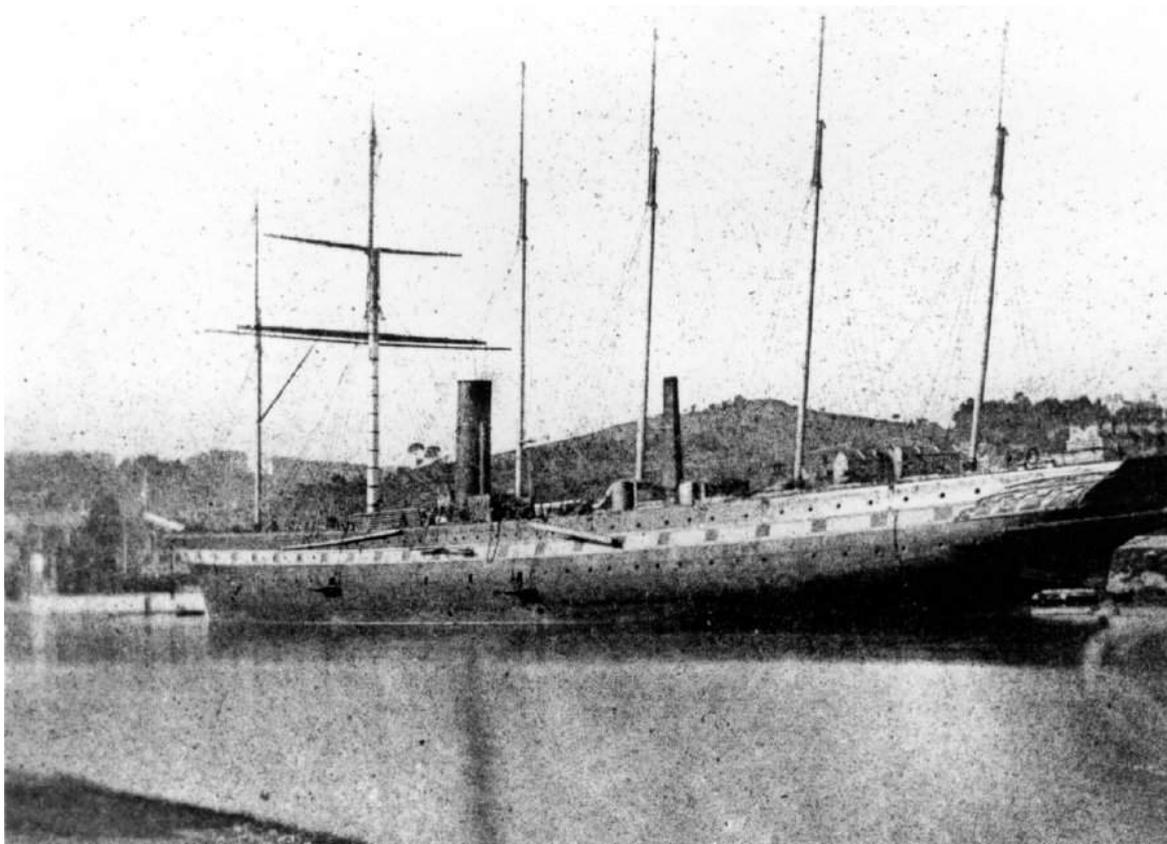
William Fairbairn (1789 - 1874), autore della prima monografia sulle navi in ferro del 1865, era un ingegnere meccanico, strutturista, uno dei primi a condurre indagini sistematiche sulle strutture, in particolare sulle sezioni delle travi, ideando la cosiddetta trave scatolata che applicò nei ponti e in molti progetti di imbarcazioni in ferro.

Fino al 1840 furono realizzate numerose imbarcazioni con scafo in ferro, tutte di privati per attività commerciali. Le marine militari non ebbero un ruolo diretto nello sviluppo di queste nuove costruzioni.

Senza togliere il merito ai piccoli e grandi costruttori navali, tra i più attivi innovatori, come erano chiamati coloro che si interessavano di opere in ferro, un ruolo importante lo ebbero i Laird, il cui capostipite William (1780-1841) nel 1824 costituì, insieme al figlio maggiore John, una società vicino Liverpool nel Nord West dell'Inghilterra, la William Laird & Son che inizialmente costruiva caldaie per i primi motori a vapore per poi trasformarsi in cantiere navale quando, nel 1828, ottenne la prima commessa di un battello in ferro, *Wye* di 60 piedi varato l'anno successivo, da impiegare sui laghi irlandesi.

La William Laird & Son si espande rapidamente: nel 1834 vara la *Garay Owen* di 263 ton, una delle prime navi dotata di paratie stagne; nel 1837 è la volta del battello a vapore con propulsione a pale *Rainbow* da 580 ton, progettato da W. Fairbairn. Tale nave ha importanza storica in quanto la sua costruzione convinse anni dopo, Isambard Kingdom Brunel, già progettista di una grande nave in legno, la *SS Great Western*, ad abbandonare il legno a favore del ferro. Nel 1839 il cantiere ebbe l'ordine di costruire sette navi in ferro dotate di piccoli cannoni per la Compagnia Britannica delle Indie Orientali a difesa dei propri interessi commerciali in Asia. L'anno dopo la consegna una delle navi, la *Nemesis*, fu danneggiata in seguito all'urto con uno scoglio alle isole Scilly. Giunta a Portsmouth fu riparata velocemente dando così dimostrazione della superiorità del ferro sul legno anche nell'attività di manutenzione (lunga e costosa

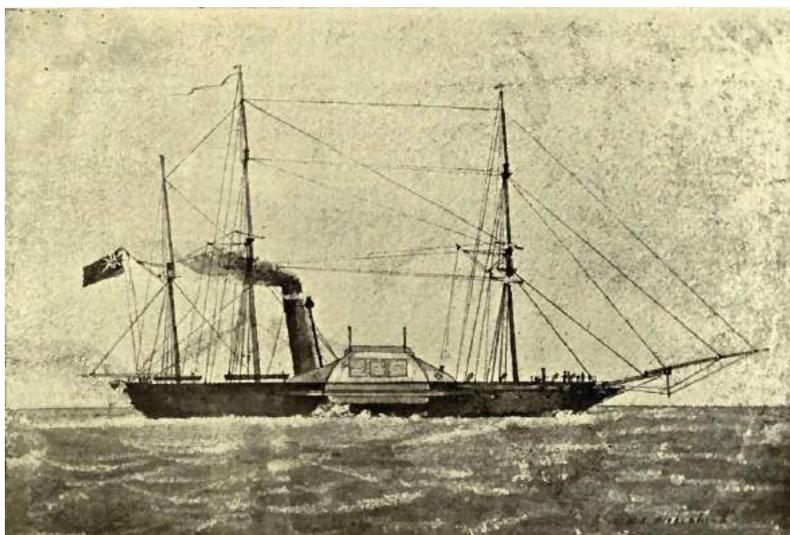




"SS Great Britain" - foto del 1844 (considerata la prima di una nave nella storia) eseguita dallo scienziato Henry Fox Talbot, pioniere della fotografia.

per le navi in legno). *Nemesis* e la sua nave sorella, la *Phlegethon* svolsero il loro compito di navi da guerra, seppure di modeste dimensioni, nella Guerra dell'Oppio nel 1842.

Il cantiere riuscì ad ottenere dall'Ammiragliato inglese l'ordine per la costruzione del primo battello postale in ferro. Fu così varato nel 1840 l' HMS *Dover* di 228 ton che assolse egregiamente il suo servizio per ben 30 anni. Il passo successivo avvenne quando il governo messicano, in conflitto con Francia e poi Stati Uniti, ordinò una nave da guerra con scafo in ferro. Nel 1842 fu varata la *Guadalupe* da 800 ton, equipaggiata di motore a vapore da 180 cv con ruota a pale, fornita complessivamente di sei piccoli cannoni. L'Ammiragliato inglese, impressionato positivamente, circa tre anni dopo fece costruire al cantiere Laird la



"Birkenhead" - l'unico disegno attualmente esistente

prima nave da guerra a vapore della Royal Navy, l'HMS *Birkenhead* di 64 m da 1400 ton con ruota a pale mossa da un motore a vapore da circa 500 cv. L'unità, che può considerarsi una delle prime navi in ferro a vapore della marina militare inglese, anche se adibita a servizio trasporto truppe, è ricordata per due avvenimenti, uno felicemente concluso per aver alato la *SS Great Britain* arenatasi su una spiaggia irlandese nel 1846 e l'altro, tragico, del suo naufragio in cui si distinse il coraggio dei suoi uomini nel salvataggio delle donne e bambini

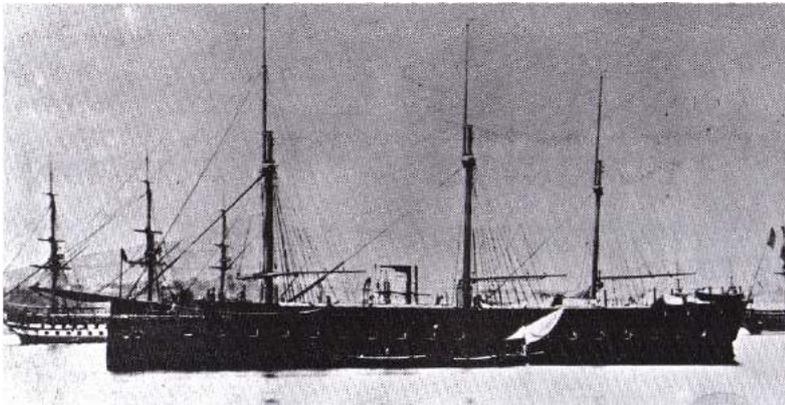
prima di tentare di salvare se stessi.

La presentazione del cantiere finisce qui. C'è solo da far osservare che negli anni a venire crebbe sempre di più: alla fine del 1850 impiegava 500 addetti e aveva varato fino ad allora 90 navi di cui ben 77 in ferro; nel 1903 si associa con Charles Cammell & Company per fondare la Cammell Laird attiva ancora oggi.

Nel 1843 avviene il varo del più grande scafo in ferro della prima metà dell'ottocento la SS *Great Britain* di 98 m di lunghezza, con propulsione mista vela-motore, progettata da Brunel. Un'opera di notevole impegno in danaro, realizzata in 4 anni che rappresenta la prima nave in ferro equipaggiata di eliche ad aver attraversato l'Atlantico.

Brunel 9 anni dopo intraprese la costruzione di una nuova più grande nave in ferro con propulsione mista, la SS *Great Eastern*, di ben 211 m, varata nel 1858. Nel 1859 la Francia varò la prima corazzata della storia, la *Gloire*, di 78 m e scafo in legno protetto da piastre di ferro di ben 12 cm di spessore idoneo a resistere al fuoco dei più potenti cannoni dell'epoca fino alla distanza di 20 m. Come tutte le imbarcazioni del tempo aveva propulsione mista, capace di raggiungere gli 11 nodi. Fu questo episodio che diede un forte scossone alla marina da guerra inglese che l'anno successivo, nel 1860, diede l'avvio alla costruzione della prima corazzata con scafo in ferro della storia, l'HMS *Warrior* di 121 m con murate protette da corazzatura mentre l'anno successivo andò in acqua la HMS *Black Prince*. Da quel momento i progressi in campo navale furono talmente rapidi che le due navi divennero obsolete in meno di 10 anni.

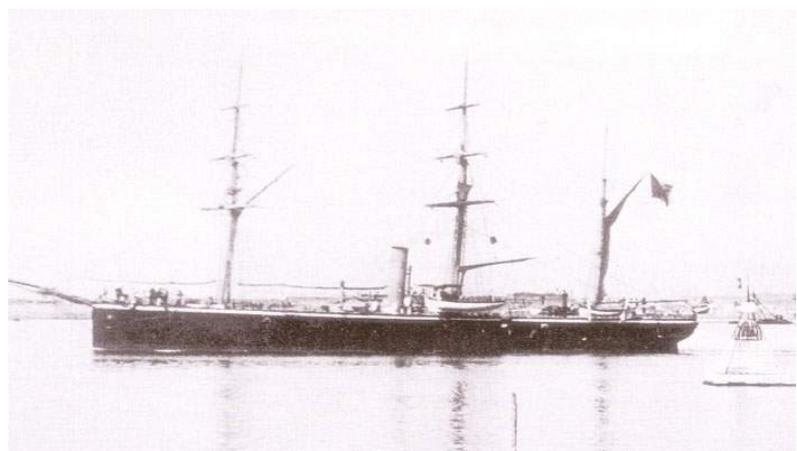
Dalla metà dell'800 anche tra le navi a vela incominciò a diffondersi la costruzione in ferro, con un passaggio intermedio, quello degli scafi compositi in cui il fasciame in legno veniva posato su una struttura in ferro. Principalmente furono i clipper ad adottare tale tecnologia e solo poche navi a vapore.



"Glorie" all'ancora nel 1860.

Il progettista della "Gloire", il francese Henri Dupuy de Lôme (1816 - 1885) nel 1840 andò in Inghilterra per studiarvi le tecniche di costruzione navale avendo l'occasione di osservare in dettaglio la "Great Britain" in costruzione a Bristol. Ritornato in patria 5 anni dopo inviò un rapporto al ministero della marina suggerendo la costruzione di una fregata ad elica e scafo in ferro protetto da una placcatura anch'essa in ferro.

Nel 1851 fu varata la prima nave a vapore in ferro costruita in Italia dal Cantiere Navale dei Fratelli Orlando, "Sicilia" e nel 1866 la prima nave militare in ferro, l'Avviso ad elica "Vedetta" (foto) di circa 56 m del Cantiere della Foce di Genova.



Se il principio di resistenza delle travi alle sollecitazioni fu scoperto da Galileo Galilei e dimostrato nel trattato "Due nuove scienze" del 1638, ancora nella seconda parte del Settecento le valutazioni sulla capacità di resistenza delle strutture di edifici, ponti, navi rimasero di tipo pratico. Malgrado i progressi teorici di Euler, di Coulomb, dei due fratelli Bernoulli, di d'Alembert e pochi altri, solo alcuni casi potevano essere affrontati e risolti con i modelli fisici e matematici allora teorizzati. Una forte motivazione allo studio della resistenza delle costruzioni e dei calcoli per la loro progettazione si ebbe con l'espansione delle ferrovie e la crescente richiesta di ponti in ferro.

Si incominciarono così ad eseguire esperimenti sulla resistenza dei materiali e delle costruzioni, perfezionando la teoria (conosciuta come teoria elastica) che studia il moto e la deformazione dei corpi solidi elastici sotto assegnate condizioni di carico.

Il primo importante passo avanti si ebbe con l'introduzione, nel 1807, da parte di Thomas Young (1773 - 1829), del rapporto tra sollecitazione e deformazione elastica dei materiali, noto come modulo di elasticità del materiale, ancora oggi alla base per ogni opera ingegneristica, con cui calcolare gli allungamenti o le sollecitazioni conoscendo le proprietà dei materiali, indipendentemente dalla forma degli elementi, così come si faceva prima di allora costringendo alla sperimentazione di ogni componente.

Si dovrà poi attendere il 1820, con i celebri lavori di Navier (1785 - 1836) e Cauchy (1789 - 1857), per disporre di risultati da cui Saint-Venant (1797-1886), intorno alla metà del 19° secolo, sviluppò una teoria generale capace di fornire soluzioni anche approssimate a molti problemi ingegneristici.

Il nuovo approccio allo studio delle strutture coinvolse anche le nascenti strutture in ferro delle navi. Così si cominciarono a studiare in maniera analitica le sollecitazioni che subiscono gli scafi. Si sapeva delle forti sollecitazioni sulle navi più grandi armate di grossi cannoni e più tardi, con la propulsione a vapore, di quelle indotte dall'elica alla poppa o lateralmente dalle ruote a pale, ma l'approccio al problema fu affrontato praticamente, come si è visto per Robert Seppings, irrobustendo alcune parti della struttura dello scafo con l'aggiunta di elementi in ferro.

Fu T. Young il primo a tentare di calcolare la distribuzione delle sollecitazioni in uno scafo di nave causate dalla distribuzione longitudinale delle forze agenti, assumendo lo scafo come una vera e propria trave soggetta a carichi distribuiti detta infatti, nel linguaggio tecnico, trave scafo.

Nel 1850, l'ingegnere britannico I. K. Brunel progettò la *Great Eastern*, la cui lunghezza era quasi il doppio di quelle di molte navi dell'epoca, applicando la teoria della trave scafo con cui valutò le sollecitazioni di flessione nelle piastre del ponte e del fondo con cui decidere gli spessori più adatti. Per trovare valutazioni più approfondite si dovrà attendere il 1874 con i lavori dell'architetto navale inglese William John (- 1890).