

Il ruolo dell'acciaio nella rivoluzione industriale

La situazione europea all'inizio del XVIII secolo

All'inizio del XVIII secolo si può notare, in tutto il contesto europeo, una apparente immobilità in campo siderurgico, specialmente se si confrontano i sistemi industriali dei paesi continentali con quello britannico. La produzione di acciaio nel continente si basa sui due stadi classici: ottenimento di ghisa nei primordiali altoforni e sua successiva conversione e il processo a basso fuoco, anche se la produttività è inferiore rispetto al processo all'altoforno. Tra i vari paesi europei si possono notare lievi differenze nella situazione industriale.

In Francia l'utilizzo dell'acciaio è molto limitato, anche nelle città, nell'ambito di un mercato estremamente disperso. La stessa classe dirigente è poco interessata a incrementare il livello tecnologico, in quanto la richiesta di prodotti siderurgici è relativamente scarsa.

In Belgio, diversamente da quanto avveniva in Francia, predominano gli stabilimenti autonomi caratterizzati da una spiccata vocazione industriale; la produzione è ben superiore alle richieste del mercato interno, quindi i prodotti belgi (principalmente chiodi e armi) vengono esportati in tutt'Europa, scontrandosi però con le politiche protezionistiche dell'epoca.

In Svezia l'abbondanza di minerale di ferro, di foreste e la notevole disponi-

bilità di corsi d'acqua favoriscono la nascita di una siderurgia molto moderna, in grado di fornire artiglierie in lega ferrosa alle principali potenze navali europee (1000-2000 t).

Anche in Russia l'abbondanza di risorse naturali, specialmente nella regione degli Urali, permette la nascita di un'industria siderurgica su basi piuttosto ampie: la struttura produttiva è articolata in una serie di impianti di dimensioni modeste, soprattutto per quanto riguarda gli altoforni, mentre i processi di affinazione e laminazione sono abbastanza moderni, grazie soprattutto all'afflusso di tecnici stranieri. È interessante segnalare che intorno al 1780 l'industria siderurgica russa produce circa 110000t di ghisa, il triplo di quella inglese; tale situazione verrà in seguito completamente capovolta, in seguito ad una serie di innovazioni tecniche venute alla luce per l'ingegno dei tecnici inglesi.

È però l'Inghilterra il paese in cui si sente maggiormente la spinta verso l'incremento della produzione in campo siderurgico. La certezza della proprietà della terra, sancita dagli Enclosures Acts (1700-1810), e lo sviluppo del capitalismo nelle campagne inglesi favoriscono un notevole incremento dei consumi dei prodotti ferrosi; inoltre l'introduzione di utensili in acciaio è alla base di una crescita della produttività del settore agricolo, a causa dell'impiego di at-

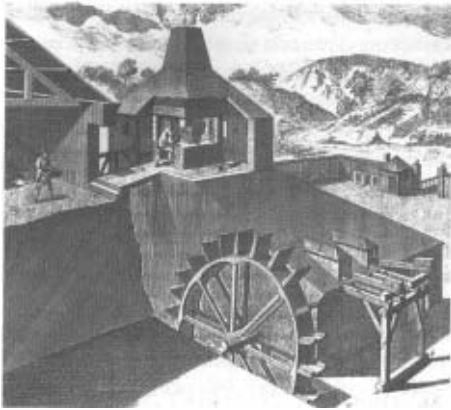


Fig. 1 - Carica di coke e minerale dalla sommità di un altoforno alimentato con ruota idraulica

Periodo	Ghisa	Acciaio
1720		22
1735	18	22
1760		25
1788	69	60
1796	127	110
1806	263	235
1825		580
1830		630
1840	956	1155
1850	2747	2250

Tab. 1 - Produzione di acciaio e ghisa in Inghilterra dal 1720 al 1850 (migliaia di tonnellate)

trezzi più efficienti rispetto a quelli in legno. Tuttavia la domanda, continuamente crescente, non può essere soddisfatta e si scontra con i limiti imposti dalla ridotta disponibilità di combustibile a basso costo, indispensabile per alimentare il ciclo indiretto.

La carenza di combustibile deriva in primo luogo dall'impossibilità di impiegare il carbone fossile, in quanto caratterizzato da un eccessivo contenuto di elementi nocivi (primo fra tutti lo zolfo). Inoltre il progressivo esaurimento delle risorse boschive facilmente sfruttabili ha indotto la promulgazione di leggi per la protezione degli alberi e delle foreste, messe seriamente a repentaglio dalle ferriere e dalle fonderie.

Dopo vari tentativi di utilizzo del carbon fossile, il primo che ne ha resa possibile l'applicazione nei processi siderurgici è stato Abraham Darby I, mediante la trasformazione in coke.

Inizialmente ha utilizzato questo combustibile nel processo di produzione del rame e del piombo e poi, nel 1709, lo ha impiegato per la riduzione del minerale di ferro. Abraham Darby intuisce che è necessario eliminare dai carboni fossili tutti gli elementi volatili, per poter utilizzare tale combustibile negli altoforni; la cokizzazione permette di eliminare una sufficiente parte dello zolfo, rendendo il combustibile utilizzabile in campo siderurgico.

Presumibilmente Darby produce il coke utilizzando una tecnica analoga a quella impiegata per il carbone di legna: il carbone fossile viene coperto con la terra dopo aver innescato la combustione di una porzione del materiale. Il calore sviluppato distilla il carbon fossile non consumato dalla combustione, che in questo modo viene depurato dallo zolfo. Tale processo viene realizzato all'interno di strutture murarie dove viene caricato il materiale da distillare.

L'iniziale processo di cokizzazione non è in grado di soddisfare completamente il fabbisogno di carbone di origine vegetale; inoltre il coke deve presentare anche alcune particolari caratteristiche, non facili da ottenere: deve essere poroso, sufficientemente compatto e in grado di sopportare il peso di tutta la carica. Dopo diverse sperimentazioni viene messo a punto un carbon coke ottimale per le applicazioni nel campo siderurgico, con la possibilità di introdurre nel forno una maggiore quantità di minerale di carica, senza pericoli di frantumazione (Fig.1).¹

L'utilizzo del coke ha anche permesso di innalzare la temperatura di esercizio, grazie all'aumento del punto di iniezione, garantendo una maggiore fluidità della ghisa liquida. Una tale innovazione garantisce quel forte aumento nella produzione di ghisa che consentirà di realizzare un significativo incremento nella quantità di acciaio prodotto (tabella 1).²

Le innovazioni tecnologiche

L'incremento della produzione di ghisa negli altoforni si accompagna sia all'ideazione di impianti che consentono di convertire in modo più efficiente la ghisa in acciaio sia a nuovi processi di affinazione, quali la tecnica di carburazione al crogiolo per migliorare la resistenza finale del manufatto siderurgico.

Benjamin Huntsman, un orologiaio di Doncaster, mette a punto nel 1748 un sistema per produrre acciai a struttura quasi completamente perlitica, con contenuto di carbonio dello 0.5-0.7%; que-

sti materiali garantiscono una durezza elevata e costituiscono la soluzione ottimale per la produzione di componenti sollecitati superficialmente, quali per esempio i coltelli ma anche gli ingranaggi e gli elementi di giunzione.

È singolare ma significativo osservare che il contesto inglese tenda a rifiutare il prodotto di Huntsman, rallentando il miglioramento delle prestazioni dei componenti meccanici.

D'altra parte, una tale situazione si spiega col fatto che i deformatori plastici britannici non sono dotati delle competenze e dei mezzi impiantistici per deformare un acciaio ad alto tenore di carbonio. Al contrario, questo prodotto viene immediatamente apprezzato dai francesi che, grazie alle competenze mutate dai laminatori valloni, vi vedono un materiale estremamente utile per accrescere l'efficienza dei propri utensili e della componentistica meccanica.

Per diverso tempo, almeno fino all'introduzione del convertitore, tale tecnica rimarrà l'unica in grado di fornire acciai ad alta resistenza.

Successivamente, l'insufflazione di aria attraverso l'utilizzo di macchine a vapore (1776) permette di penetrare a maggiori profondità lungo la sezione trasversale dell'altoforno, consentendo quindi di aumentarne il diametro, e di conseguenza la produttività, senza ridurre l'efficienza di combustione; si svincola inoltre l'ubicazione degli impianti dalla localizzazione dei corsi d'acqua, fino ad allora necessari per azionare le giranti idrauliche collegate alle soffiatrici. Nel 1784 Henry Cort mette a punto un

nuovo impianto per trasformare in acciaio la ghisa prodotta dall'altoforno: il forno a pudellare (Figg.2-3)³ (dall'inglese 'to puddle', impastare).

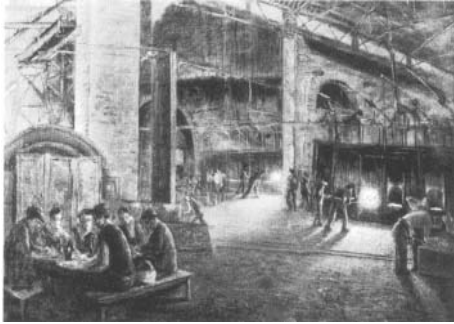


Fig.2 - Rappresentazione di una squadra di pudellatori impegnati a mantenere agitato il bagno

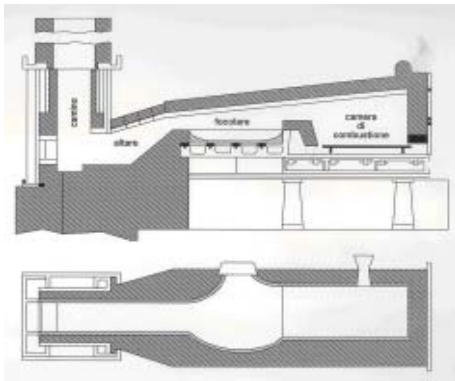


Fig.3 - Pianta e sezione schematica di un forno a pudellare

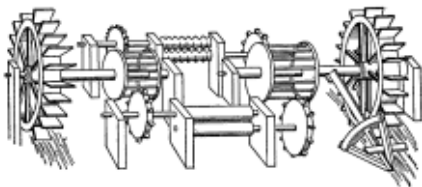


Fig.4 - Rappresentazione di un rudimentale laminatoio e di una cesoia, entrambi mossi da ruote idrauliche

In questo forno la decarburazione della ghisa viene condotta per mezzo di una lunga fiamma ossidante che attraversa il catino. Le temperature raggiunte sono sempre al di sotto della temperatura di fusione e, per questa ragione, il metallo all'interno del forno si trova sempre allo stato pastoso, richiedendo quindi una vigorosa agitazione.

Un'altra parte molto originale dell'invenzione di Cort è l'affiancamento di un laminatoio al forno a riverbero (Fig.4),⁴ che consente di realizzare una vasta gamma di prodotti quali travi, barre e rotaie.

Con la laminazione si producono semilavorati con struttura fibrosa costituita da strati di acciaio poveri in carbonio alternati ad altri più ricchi di tale elemento, il tutto frammisto a scorie.

Gli acciai prodotti con tale tecnica presentano una microstruttura bandiforme, sufficientemente libera dalla presenza di scorie e in grado di sopportare l'applicazione di carichi ingenti, pur presentando notevoli differenze nella proprietà tra la direzione longitudinale e quella trasversale. La maggiore disponibilità di materiali siderurgici caratterizzati da migliori proprietà meccanico-strutturali contribuisce ad ampliarne l'impiego: dalle strumentazioni agricole e dalla fabbricazione di chiodi per i cantieri navali, alla costruzione di macchine tessili e a vapore fino ad arrivare, nel 1779, alla realizzazione del primo ponte in ghisa nella località chiamata in seguito Ironbridge (Fig.5).⁶ A questo si affianca la costruzione delle prime strade ferrate nelle miniere di carbone,

precorritrici di quel sistema ferroviario che, accanto alle navi a vapore, da lì a qualche decennio avrebbe cambiato il sistema delle comunicazioni in tutto il mondo (Fig.6).⁷

Tuttavia per avere un'idea concreta di quanto fosse arretrata e primordiale la situazione della produzione del ferro e dell'acciaio alla metà del XIX° secolo, basti ricordare che “il celebre industriale Alfred Krupp di Essen sorprende l'intero mondo siderurgico inglese, quanto mai all'avanguardia, esponendo un lingotto del peso di 2150 kg alla famosa esposizione mondiale di Londra nel 1851”⁵; si scoprì poi che l'aveva realizzato colando in una sola lingottiera il prodotto di una numerosa batteria di crogioli.

Per molti anni non vengono introdotte significative innovazioni ma la continua e crescente domanda di prodotti siderurgici con maggiore resistenza meccanica porta, nel 1856, Henry Bessemer a ideare una tecnica alternativa alla produzione dell'acciaio.

Egli propone un sistema per ottenere “ferro malleabile e acciaio senza combustibile”, che suscita un tale scalpore da arrivare alla pubblicazione integrale del brevetto sul “Times”, a testimonianza di quanto l'opinione pubblica fosse estremamente sensibile alle innovazioni in campo siderurgico.

Il processo consiste sostanzialmente nell'insufflare aria dal fondo di un convertitore (Fig.7), sfruttando il calore prodotto dai processi di ossidazione per mantenere fluido il bagno metallico.



Fig 5 – Ponte in ghisa di Ironbridge (1779)



Fig.6 – Sviluppo del sistema ferroviario inglese tra il 1825 e il 1914

I primi tentativi di applicare il brevetto proposto da Bessemer risultano a dir poco disastrosi, tanto che l'inventore è costretto a riacquistarli rimettendoci una cospicua quantità di denaro. Ci vogliono quasi tre anni per mettere a punto il processo che Bessemer era riuscito a portare a compimento in maniera casuale, sperimentando una ghisa di

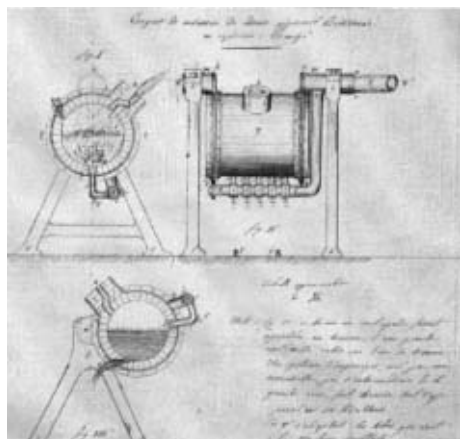


Fig.7 - Il convertitore Bessemer (1856)
in una illustrazione dell'epoca

provenienza svedese con elevato tenore di silicio e di manganese e povera di zolfo e fosforo.

Purtroppo tale processo presenta dei limiti:

- rifusione dei rottami;
- conversione delle ghise fosforose, dato il rivestimento acido.

Questo secondo inconveniente è superato con la messa a punto del convertitore basico Thomas (1877), che sostituisce il refrattario acido con uno basico con il vantaggio di sfruttare il potere termogeno del fosforo. Per poter effettuare la fusione dei rottami di ferro, che andavano accumulandosi in modo preoccupante, bisognerà però attendere la messa a punto di un processo altrettanto rivoluzionario, che per la prima volta ha reso possibile la rifusione di acciaio a basso carbonio: il Martin-Siemens.

La forte esigenza di poter riciclare i rottame conferma l'elevata quantità di prodotti siderurgici ormai circolanti nel

XIX secolo e la necessità di pervenire ad un'efficiente dismissal degli stessi. Anche il processo Martin-Siemens ha un inizio burrascoso e sono necessari diversi anni per la sua messa a punto: viene brevettato nel 1856 da Friedrich Siemens e viene descritto molto brevemente il processo di recupero del calore a mezzo di camere di rigenerazione, ponendo le basi per la costruzione di forni industriali funzionanti a temperatura assai elevata.

Data la favorevole situazione siderurgica Friedrich Siemens pensa subito di utilizzare il suo metodo per produrre acciaio allo stato fuso, costruendo il primo forno a Sheffield.

Purtroppo, durante questo tentativo, l'innalzamento della temperatura è tale che si ha la distruzione dell'intero forno; dopo vari insuccessi, Siemens si limita a rivolgere l'attenzione alla produzione del vetro. La notizia di quel primo maldestro tentativo arriva a due industriali francesi, i Martin, i quali, non riuscendo a raggiungere temperature tali da poter elaborare i loro acciai, chiedono consiglio a Siemens. Siemens segue la costruzione del forno, adottando nuovi refrattari, e circa un anno dopo (1864) Pierre Martin riesce a fondere l'acciaio in un forno con recuperatore di calore.

I primi impianti (Fig.8)⁸ prevedono quattro camere di recupero, così da permettere il preriscaldamento sia del gas di gasogeno che dell'aria comburente. Da una delle testate della camera vengono immesse, attraverso apposite aperture, l'aria comburente e il gas.

All'interno dello sviluppo produttivo si assiste alla convivenza di due precise linee di tendenza, destinate a confrontarsi lungo tutta l'evoluzione della società industriale: la difesa delle proprie tecnologie attraverso una rigida applicazione del segreto industriale e la propensione alla rapida e rigorosa circolazione delle idee. Se il primo approccio può essere facilmente riconosciuto come tipicamente britannico, il secondo appare più tipico del contesto illuminista, ambiente che a breve avrebbe prodotto l'Enciclopedia di Diderot e d'Alambert.

Lo sviluppo della siderurgia nella seconda metà del XIX secolo

In tutti i paesi europei lo sviluppo della siderurgia porta a notevoli cambiamenti nell'intero comparto industriale. In Francia l'avvio degli investimenti nella rete ferroviaria conferisce un nuovo impulso alla produzione siderurgica (Fig. 9),⁹ che in questo periodo aumenta di circa 4 volte (passando da 340 a 1200 migliaia di tonnellate); inoltre i tradizionali altiforni a carbone di legna vengono sostituiti da quelli a coke, di dimensioni sempre maggiori.

Un tale sviluppo non può essere supportato in un'ottica autarchica e la migrazione di tecnici dalla Gran Bretagna continua quindi ad essere significativa. Nel 1860 viene stipulato un accordo doganale con la Gran Bretagna, volto a regolare il reciproco abbattimento dei dazi protettivi sui prodotti siderurgici; questo provvedimento permette di accelerare la modernizzazione della si-

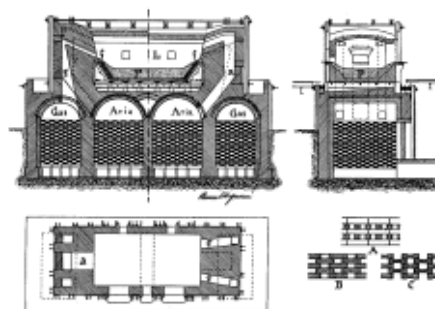


Fig. 8 - Viste e pianta di un sistema M.S



Fig. 9 - Sviluppo della rete ferroviaria francese nel periodo 1837-1857

derurgia francese, poiché gli imprenditori sono stimolati ad aggiornare le proprie tecnologie produttive.

L'introduzione del forno Martin-Siemens riscuote molto successo, grazie alla consistente presenza di rottame nel territorio francese; tale disponibilità è legata alla fragilità dei manufatti, in-dotta dalla presenza in lega di elementi

nocivi, contenuti nei minerali di partenza (in particolare il fosforo e lo zolfo).

Il 1880 rappresenta un punto di svolta per la siderurgia francese che, tornata a una politica di protezionismo, si consolida rispetto alla concorrenza europea e statunitense grazie anche alla diffusione del processo Thomas, che consente di utilizzare i vasti giacimenti di minerali di ferro ricco in fosforo presenti in Lorena. La produttività dei sistemi francesi diviene tanto significativa da portare alla costruzione di opere in acciaio in grado di suscitare un vasto scalpore a livello internazionale; l'esempio più emblematico è rappresentato dalla Tour Eiffel (Fig.10), costruita proprio in occasione dell'Esposizione Mondiale di Parigi del 1900. L'andamento altalenante

della congiuntura economica francese è legato alla crescente competitività delle altre realtà europee (Belgio, Germania, Svezia) e, soprattutto, ai nuovi ostacoli alle esportazioni oltreoceano, che vengono bloccate a causa della politica protezionistica del governo statunitense, che arresta l'importazione dei prodotti siderurgici europei (prime tra tutti le rotaie).

Le crescenti disponibilità di acciaio e ghisa, rese possibili dal potenziamento dei sistemi impiantistici, influenzeranno l'insorgere di quell'interessante fenomeno artistico che andrà sotto il nome di Art Nouveau e di Liberty, all'interno del quale il getto in ghisa ed il manufatto in ferro battuto, magari abbinato a leghe di rame, assumeranno particolare rilievo nella realizzazione dei componenti dell'arredo urbano.

La situazione nell'area tedesca è molto differente da quella francese: già negli anni Trenta del XIX° secolo la regione può vantare una tradizione di tutto rispetto in campo siderurgico nonostante essa, venuta alla luce solo pochi anni prima in occasione del Congresso di Vienna (1815), fosse ancora politicamente frammentata.

Le due regioni più 'avanzate' dal punto di vista tecnologico sono la Slesia e la Renania. In ogni caso, il passaggio ad una siderurgia di tipo moderno avviene grazie allo Zollverein ("Unione Doganale"), introdotto nel 1834 dai 38 stati della Confederazione Tedesca per garantire migliori flussi commerciali ed eliminare le competizioni interne allo Stato; questa azione, di carattere economico, si accoppia al notevole impulso



Fig.10 – Tour Eiffel, costruita in occasione dell'Esposizione Universale del 1900 e composta da 18038 travetti rivettati in acciaio

legato alla costruzione delle prime ferrovie che permette la nascita di nuove concentrazioni industriali in regioni come la Ruhr o in prossimità della città di Berlino, dove le comunicazioni sono più agevoli.

L'introduzione delle nuove tecnologie avviene a macchia di leopardo sul territorio della Confederazione e il processo di ammodernamento viene a svilupparsi, intorno al 1850, con la costruzione degli altiforni a coke nella regione della Ruhr. La produzione della ghisa mediante l'utilizzo del coke è un processo complementare all'impiego di materiali a basso costo ed esenti da dazi doganali provenienti dalla Gran Bretagna e dal Belgio; al contrario, prodotti come il ferro in barre e le rotaie sono ancora soggetti a pedaggio, allo scopo di mettere i prodotti tedeschi al riparo dalla concorrenza straniera.

Fino alla prima metà del XIX secolo la regione della Ruhr non ha una importanza rilevante all'interno della siderurgia tedesca, rappresentandone soltanto il 5% della produzione; anche in questa zona, comunque, la crescita della siderurgia è legata alle attività di affinazione e laminazione. Fin dal 1830 le miniere di carbone avevano cominciato a scavare soprattutto filoni utilizzabili per la cokefazione, con il carbone di legna completamente abbandonato già dal 1860; lo sviluppo della Ruhr viene accelerato dalla scoperta di giacimenti di siderite carbonifera nei pressi di Bochum.

Questi sviluppi hanno portato la Ruhr a raggiungere una quota di produzione

di ghisa, nel 1870, pari al 26% del totale; un'altra specialità della Ruhr è la produzione di acciai colati in forni a manica (*Schmelzofen*) o a crogiolo (*Tiegelofen*); solo l'introduzione del convertitore ha però permesso di assorbire l'enorme flusso di ghisa prodotto dagli altiforni a coke. Gli acciai prodotti al convertitore sono risultati eccellenti per la produzione di rotaie, grazie alla migliore qualità in termini di resistenza e durata.

Negli anni ottanta del XIX secolo la produzione siderurgica tedesca comincia ad essere talmente importante da garantire una spiccata vocazione alle esportazioni (anche se spesso sottocosto); la ricchezza di minerali di ferro ad alto contenuto di fosforo favorisce l'adozione del convertitore Thomas, mentre la limitata disponibilità di rottame rallenta la diffusione del processo Martin-Siemens.

La situazione italiana post-unificazione

A riprova di quanto lo sviluppo dell'industria siderurgica sia strettamente associato allo sviluppo dell'attività industriale, è facile osservare come il paese con la crescita economica inferiore sia anche quello in cui le innovazioni siderurgiche penetrano più lentamente. Il quadro siderurgico tracciato dalla Commissione Menabrea a seguito dell'unificazione mostra un quadro sconsolante, soprattutto se confrontato con il contesto europeo (Tabella 2).¹⁰ Il fatto più desolante è che, nemmeno all'alba del 1863, v'è traccia di quelle innovazioni siderurgiche che, come delineato nei

Paese	Produzione ghisa
Inghilterra	3.700
Stati Uniti	1.350
Francia	1.050
Prussia	526
Zollverein	510
Austria	360
Belgio	320
Russia	220
Regno d'Italia	30

Tab. 2 - Produzione di ghisa nei principali paesi (1863, migliaia di tonnellate)

contesti precedenti, appaiono il motore ed anche il frutto della Rivoluzione Industriale.

Conclusioni

Il quadro tracciato e l'evoluzione delineata mostrano come lo sviluppo dell'industria siderurgica sia stato un motore essenziale per la crescita e la diffusione di quel movimento destinato a cambiare il volto della società occidentale ed in particolare delle attività ingegneristiche: la Rivoluzione Industriale.¹¹

È doveroso notare come il notevole incremento nella produzione di ghisa e acciaio, verificatosi a metà dell'Ottocento, non sia stato accompagnato da considerevoli miglioramenti nelle conoscenze chimico-fisiche degli acciai, ma solamente da un opportuno e fortunato mix di intuizioni e di molteplici esperienze.

¹ *L'Encyclopédie*, voce "Forges", PL. 7, 2^e section, Fourneau à Fer, Charger.

² P. BAIROCH, *Rivoluzione industriale e sottosviluppo*, Torino, Einaudi, 1967, p.268.

³ Altiforni e acciaierie d'Italia 1897-1947, Genova, Ilva, 1948, p.180.

⁴ M. DAUMAS, *Histoire generale des techniques*, t.3, Parigi, Presses universitaires de France, 1968, p.160.

⁵ W. NICODEMI, *Siderurgia*, Processi e Impianti, Milano, A.I.M., 1994, p.14.

⁶ Fonte internet: www.mikejs.com.

⁷ M. GILBERT, *British History Atlas*, Londra, 1968, p.90.

⁸ Q. SESTINI, *La chimica per i meccanici e i metallurgi*, Brescia, Vannini, 1928, pp. 303-305.

⁹ M. DAUMAS, *Histoire generale des techniques*, t.3, Parigi, Presses universitaires de France, 1968, pp.408-409.

¹⁰ *Industria del ferro in Italia*, p.11.

¹¹ W. NICODEMI, *La Civiltà del Ferro, dalla preistoria al III Millennio*, Milano, Olivares, 2004.